

**Mitteilungen der
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften
Band 33**

DIGITAL TOOLS, BIG DATA, MODELING AND SENSING METHODS FOR
SUSTAINABLE AND CLIMATE SMART CROP AND GRASSLAND SYSTEMS

64. Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Beiträge in ausschließlicher wissenschaftlicher
Verantwortung der jeweiligen Autoren

Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Präsident: Prof. Dr. H.-P. Kaul
Geschäftsführer: Assoc.-Prof. Dr. Reinhard Neugschwandtner

Geschäftsstelle:
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Institut für Pflanzenbau
Konrad Lorenz-Straße 24
A-3430 Tulln an der Donau
Österreich
Telefon: (+43) 1/47654-95117
E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at

64. Jahrestagung der
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

4. bis 6. Oktober 2023

Göttingen

**DIGITAL TOOLS, BIG DATA, MODELING AND
SENSING METHODS FOR SUSTAINABLE AND
CLIMATE SMART CROP AND GRASSLAND
SYSTEMS**

Kurzfassungen der Vorträge und Poster

Herausgeber:
H.-P. Kaul, R. Neugschwandtner
und L. Francke-Weltmann
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

**Verlag Liddy Halm
Göttingen 2023**

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Bibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISSN 0934-5116

Alle Rechte vorbehalten

Druck und Bindung: Liddy Halm Medienproduktion & Verlag, Brauweg 7,
37073 Göttingen

Inhaltsverzeichnis

Plenarvorträge

Eichelsbacher S., M. Zachow, S. Asseng: Potential der Indoor-Pflanzenproduktion.....	1
Bernardi, A.: Einsicht aus Daten – Entscheidungsunterstützung durch KI	5
Piepho, H.-P.: One, two, three: Portable sample size in agricultural research	9

Ernst-Klapp-Zukunftspreis

Hamidi, D.: Virtuelle Zäune für ein nachhaltiges Weidemanagement?	13
Hampf, A.: Sustainable intensification options for the Southern Amazon, Brazil, under current and future climate conditions.....	17
Mittermayer, M.: Sensor- und satellitengestützte Analyse der räumlichen Variabilität von Boden- und Pflanzenparametern sowie Konsequenzen für die pflanzenbauliche Nutzung	21
Palka, M., J. Eitzinger, A.M. Manschadi: Crop forecasts as support tool for adapting crop N management to a changing climate in Austria.....	25
Verma, S., S. Wolfram, J.-P. Salminen, F. Taube, C.S. Malisch: Harnessing the Untapped Potential of Underutilized Bioactive Forages for Methane Reduction in Animal Production	29

Parallelsektion Grassland

Macholdt, J., H.-P. Piepho: Long-term trends in yield variance of temperate managed grassland.....	33
Vogeler, I., F. Taube, C. Kluß, R. Loges: Auswirkungen der Grünlanderneuerung auf Ertrag und Kohlenstoffspeicherung - Experiment und Modellierung.....	35
Wild, M., M. Gauly, T. Zanon, J. Isselstein, M. Komainda: Bewegungsmuster und selektives Fressverhalten von ungehüteten Schafen und mögliche Konsequenzen für die botanische Zusammensetzung und die Nachhaltigkeit der Weidenutzung auf Alpweiden in Nord-Italien.....	37
Schuster, J., L. Hagn, M. Mittermayer, K.-J. Hülsbergen: Nachwirkungen von historischem Grünland auf Humusgehalte und Ertrag von Ackerschlägen in Süddeutschland.....	39
Voßkuhl, L., J. Bartsch, M. Müller, W. Burzik, R. Graß, M. Athmann: Agroforst: Wurzelwachstum und Regenwurmaktivität in einem Alley-Cropping-System aus Weiden im Kurzumtrieb und Grünland.....	41

Parallelsektion Nitrogen cycle

Komainda, M., A. Herrmann, J. Bukowiecki, F. Schwarz, M. Kayser, H. Kage, J. Isselstein: NIRS-gestützte Modellierung der N-Nachlieferung im Maisanbau...	43
Bukowiecki, J., M. Komainda, L. Ullrich, A. Herrmann, H. Kage: Standort- und Management-Effekte auf die Nettomineralisation.....	45
Brokötter, J., R. Finck, H. Kage, I. Kühling: Urease- und Nitrifikationsinhibitoren beim Einsatz synthetischer Stickstoffdünger im Getreideanbau: Was leisten sie wirklich?	47
Steuer-Schoo, B., H. Mielenz, M. Dieser, S. Zieseniß, J.-M. Greef: Eignung unterschiedlicher Frühindikatoren zur Abschätzung von Nitratfrachten im Ackerbau	49

Weckesser, F., M. Ahlbrecht, K.-J. Hülsbergen, F. Leßke: A DSS for the termination of legume-rich leys.....	51
Parallelsektion Nutrient management/Carbon cycle	
Marohn, C., A. Attia, A. de Kock, P. Horney, D. Daehmlow, P. Fussek, J. Strassemeyer, T. Feike: Designing a web application for climate-smart crop rotations integrating process-based plant-soil models and life cycle assessment	53
Koch, H.-J., D. Grunwald, L. Essich, I. Kühling, R. Ruser, H. Kage: Unterschiedliche N-Nachlieferung von Zwischenfrüchten zu Zuckerrüben und Mais?	55
Urbatzka, P., H. Heuwinkel, S. von Tucher: Einfluss von P-Recyclingdüngern auf den Ertrag und P-Gehalt von Silomais im ökologischen Landbau.....	57
Hoppe, J., A. Hupe, M. Athmann: Praxisforschungsnetzwerk Hessen – Fachgruppe Ackerbau, Zwischenfruchtumbruch und Stickstoffkreislauf	59
Bernschein, M., A. Weiss, M.D. Moll, R. Pude: Einfluss von mehrjährigen Kulturen auf den Humusgehalt im Hinblick auf Carbon-Farming.....	61
Parallelsektion Modelling	
Attia, A., C. Marohn, A. de Kock, J. Strassemeyer, T. Feike: Crop rotations for enhanced soil carbon sequestration — A modeling study in southwest Germany	63
Shawon, A.R., T. Kämper, L. Kottmann, F.J. Fromme, A. Zaar, B. Hackauf, T. Feike: Assessing the Climate Change Impacts on Rye Production in Europe and Canada	65
Rose, T., H. Kage: Trockenmassentranslokation in der Ertragsbildung von Winterweizen – Eine quantitative Betrachtung der Effekte von Genotyp, Management und Umwelt	67
Rezaei, E.E., B. Faye, H. Webber: Do the sources of input data and aggregation influence the significance of high-yielding traits in crop model simulations?	69
Kaim, A., B. Bartkowski, M. Gütschow, I. Heiß, J. Linde: Zukunftsperspektiven für deutsche Agrarlandschaften – Wie Modellierung dabei helfen kann, Zielkonflikte einer landwirtschaftlichen Transformation zu minimieren	71
Parallelsektion Soil management/Roots	
Kottmann, L., W. Burzik, T. Feike, D. Siekmann, J. Fromme, V. Kucherova, B. Hackauf: Das Gibberellin-sensitive Kurzstrohgen Ddw1 wirkt sich nicht negativ auf das Wurzelsystem von Winterroggen unter Feldbedingungen aus....	73
Neuhoff, D., J. Hett: Potentiale von PGPM - Anwendungen zur Steigerung der Produktivität im ökologischen Ackerbau der gemäßigten Breiten.....	75
Moitzi, G., J. Huber, P. Riegler-Nurscher, J. Karner, H.-P. Kaul, J. Prankl, H. Wagentristl: Soil roughness detection for controlling a power harrow.....	77
Kämper, T., L. Bülow, A. Bund, L. Hartl, V. Mohler, B. Hackauf, L. Kottmann: Einfluss von 1RS-Roggentranslokationen auf das Wurzelsystem und die Trockenstresstoleranz von Winterweizen	79
Reijneveld, J.A., M.J. van Oostrum, D. Boguschewski, O. Oenema: Understanding soil health through soil analyses	81

III

Parallelsektion Remote sensing

- Wijesingha, J., C. Hütt, F. Schmidt, R. Graß, M. Wachendorf: Comparison of UAV-borne photogrammetric and LiDAR point clouds for maize plant height estimation 83
- Krieger, J., E. Thiemt, H. Geringhausen: UAV-gestützte Bonitur der Blüte und Bestandeshöhe von Winterraps 85
- Weigelt, L., M. Wengert, M. Wachendorf, J. Wijesingha: Spatio-temporal variability of legume content in alfalfa-grass mixtures using UAV-borne images.. 87
- Koppensteiner, L.J. *et al.*: Estimating canopy parameters in wheat using canopy and bare soil spectra as well as radiative transfer model inversion..... 89
- Meziane, A., A. Rawat, V. Töpfer, A. Matros, G. Wehner, S. Hamburger, A. Linkies, A. Schmitt, T. Feike: Utilizing multispectral vegetative indices to predict spring barley yield using remote sensing under different drought conditions and sowing patterns 91

Parallelsektion Irrigation/Drought

- Ghazaryan, G., S. Ernst, F. Sempel, C. Nendel: Field-Level Irrigation Mapping With Integrated Use of Optical and Radar Time Series in Temperate Regions.... 93
- Hajjarpoor, A. *et al.*: Germany-wide suitability analysis of sorghum cultivation for climate change mitigation 95
- Riedesel, L., P. Horney, M. Möller, B. Golla, H.-P. Piepho, T. Kautz, T. Feike: Effect of timing and intensity of heat and drought stress on farm wheat yields in Germany 97
- Nendel, C. *et al.*: Zukünftige Flächenausweitung wird ein zunehmendes Dürrerisiko für Sojabohnen in Europa kompensieren 99
- Callau-Beyer, A., M.M. Mburu, Z.S. Safari, C.-F. Weßler, H. Stützel: Subsurface drip fertigation to achieve high yields with minimum nitrogen leaching losses ... 101

Parallelsektion Controlled and field experimentation, G×E×M

- Rezaei, E.E., K. Hey, S. Siebert: Contrasting historical and modern German wheat cultivars: Experimental evidence for distinct response to fertilization, plant protection and growth regulators 103
- Stepczynski, S., H. Böhm, S. Witten, J. Wiskandt, M.-T. Machner, K. Aulrich: Winterzwischenfruchtanbau mit Ganzpflanzennutzung als Vorfrucht zu Mais: Wickenarten in Reinsaat und im Gemenge mit Grünschnittroggen im Vergleich 105
- Kühling, I., I. Pahlmann, H. Kage: Standortspezifische Einflüsse von Zwischenfrüchten auf die optimale N-Düngung der 1. und 2. Folgekultur 107
- Wang, T.-C., L.-Y. Liu, K. Weiß, T.-W. Chen: Mechanism stimulating the preferential use of post-anthesis photo-assimilate for grain filling stage to improve yield stability in winter wheat 109
- Sabboura, D., D. Ma, M. Forchert, I. Karpinski, T. Feike: Spatiotemporal dynamics of the carbon footprint of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*) in Germany 111

Parallelsektion Adaptation to heat and drought

- Nguyen, T.H. *et al.*: Assessing the spatio-temporal tropospheric ozone impact on leaf growth and grain yield of wheat across Europe through crop modeling and remote sensing data 113

IV

Sabboura, D., R.R. Kandhimalla, E.S. El Habbasha, D. Gabriel, T. Kautz, S. Brunel-Muguet, T. Feike: Transgenerational effects of heat and drought stress on germination in oilseed rape	115
Tung, S.-Y. <i>et al.</i> : Drought avoidance strategy diverges among maize (<i>Zea mays</i> L.) varieties at early growth stages	117
Appiah, M., I. Abdulai, A. Schulman, M. Moshelion, E.S. Dewi, A. Daszkowska-Golec, G. Bracho-Mujica, R.P. Rötter: Generating high-throughput functional phenotyping data to support crop modelling in designing drought resilient crop cultivars	119
Meziane, A., A. R. Shawon, A. Attia, T. Feike: CERES-Barley calibration for ideotyping drought-tolerant spring barley under German growth conditions	121
Parallelsektion Crop protection/Biotic stress	
Fishkis, O., J. Weller, J. Strassemeyer, J. Lehmus, F. Pöllinger, H.-J. Koch: Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit von konventionellen und neuen Unkrautbekämpfungsverfahren in Zuckerrüben	123
Roß, C.A., H.-J. Koch, N. Stockfisch: Gerste als Begleitpflanze im Zuckerrübenanbau – Neue Anbausysteme etablieren, um neuen Herausforderungen zu begegnen.....	125
Arnhold, J., D. Grundwald, H.-J. Koch: Einfluss der Vorfrucht auf das Wurzelwachstum von Winterweizen	127
Lieb, R., B. Klocke, J. Schwarz, T. Feike: Potentials and challenges of pesticide-free cereal production – evidence from the NOcsPS field experiment in Dahnsdorf	129
Steinherr, L., T. Krachunova, A. Birkmann, D.I. Acosta Ortiz, R. Bloch, S.D. Bellingrath-Kimura: Unkrautregulierung im ökologischen Zuckerrübenanbau in der Uckermark – Erprobung und Bewertung des autonomen Feldroboters Uckerbot	131
Parallelsektion Biodiversity	
Reckling, M. <i>et al.</i> : Kichererbsen als Anpassung an den Klimawandel? Ergebnisse zum Ertragspotential und Herausforderungen aus einem Netzwerkversuch in Deutschland, Österreich und der Schweiz	133
Grimes, S.J., F. Longin, S. Graeff-Hönninger: Ertragspotential von Buchweizen (<i>Fagopyrum esculentum</i> MOENCH) unter den Bedingungen Südwestdeutschlands	135
Timaeus, J., O.D. Weedon, M.R. Finckh: Can plant traits explain the performance of an intercropping system? A wheat-pea field experiment	137
Kuhlmann, M., R. Weber, M. Frank: Digital-unterstützte Messung und Bewertung der Biodiversitätsleistung im Pflanzenbau	139
Hoffmann, J., T. Wahrenberg: Ackerbaulandschaften von 1992/93 zu 2019/20 – landwirtschaftliche Nutzungen, Kleinstrukturen und Arten – Analyse der Veränderungen und Empfehlungen für die Biodiversität	141
Parallelsektion Precision farming	
Federolf, C.-P., S. Reusch, A. Truszkowski-Graw, J. Jasper: Ertragskartierung aus Satellitenbildern	143

Hagn, L., F.-X. Maidl, K.-J. Hülsbergen: Sensorgestützte Analyse des räumlichen variablen Stickstoffdüngedarfs – Untersuchungen in einem Trinkwasserschutzgebiet	145
Olf, H.-W.: Erfahrungen beim Einsatz des Stenon FarmLab zur Erfassung der pflanzenverfügbaren P-, K- und Mg-Gehalte sowie der pH-Werte von Böden auf Praxisflächen und in Dauerversuchen	147
Dobers, E.S.: Standortkarten für den ortsspezifischen Pflanzenbau durch Fusion von fehlerbehafteten, unvollständigen oder mehrdeutigen Geodaten	149
Donauer, J., M. Lipp, H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Validierung des Sickerwassermodells BOWAM an Lysimeterversuchen und Integration in ein praxisnahes, webbasiertes Nährstoffmanagementsystem	151
Poster - Themenbereich 1: Grassland	
Komainda, M., K. Obermeyer, J. Molkentin, M. Kayser, J. Isselstein: Feststellung des Weidefutteranteils in der Ration anhand der Fettsäuren in Kuhmilch	153
Mačuhová, J., T. Wiesel, M. Kirschner, Z. Pfeiffer, S. Thurner: Detektion von Rehkitzen vor dem Mähen in Grünland- und Futterbauflächen - Überprüfung von drei Methoden.....	155
Maxa, J., D. Nicklas, J. Robert, S. Steuer, S. Thurner: Entwicklung und Test eines Lokalisierungssystems für Rinder im Stall und auf der Weide	157
Grumme, A.L., B. Dietel, H. Falk, G. Trei, I. Schleip: Regulierungsmaßnahmen der Graukresse (<i>Berteroa incana</i>) im trockenheitsgefährdeten Grünland	159
Westphal, J., C. Ertel, I. Schleip: Sumpfschachtelhalm durch intensive Beweidung zurückdrängen?.....	161
Komainda, M., J. Isselstein: Räumliche Variabilität von Bodenkohlenstoff in heterogenem Weideland	163
Wolter, S., L. Tendler, J. Kühne, R. Well, R. Fuß, J.-M. Greef: Gärreststrategien zur Optimierung von Nährstoffeffizienz, Wasser - und Klimaschutz im Pflanzenbau (RESOURCE).....	165
Wolf, M., H. Laser: Impacts of soil compaction by heavy grassland technology on dry matter yields simulated in a plot trial with varying grassland management ..	167
Peters, T., C. Kluß, I. Vogeler, F. Fenger, F. Taube: GrasProg: Pasture Model for Predicting Daily Pasture Growth in Intensive Grassland Production Systems in Northwest Europe.....	169
Weggler, K. J. Messner: Proteinerträge von Gräser-Leguminosen Mischbeständen bei standardisierter oder reduzierter N-Düngung	171
Thielecke, D., J. Isselstein, M. Komainda: Potentielle neue Graslandarten Multispezies für multifunktionales Grünland: Bewertung alternativer Futterkräuter für die Pferdeernährung	173
Dirkse, A., D. Klöckner, G. Conter, C. Felten, P. Aebischer, B. Reidy: Theoretische Graswachstumsmodellierungen und ihre praktische Anwendung: Fallbeispiel Luxemburg	175
Kaim, A., T.M. Schmitt, S.H. Annuth, M. Hänsel, T. Koellner: N-Düngung im Grünland: Schlaggenaue Ermittlung durch agentenbasierte Modellierung.....	177

Poster - Themenbereich 2: Nitrogen cycle

Krug, L., J. Rücknagel, J. Macholdt: Standortdifferenzierte Bewertung und Anrechnung von Nitrifikationsinhibitoren als Klimaschutzmaßnahme im Pflanzenbau (NitriKlim).....	179
Heshmati, S., E. Memic, J. Hartung, S. Graeff-Hönninger: Impact of site-specific nitrogen management on productivity, nitrogen use efficiency, and economic aspects in winter wheat	181
Gummert, A., M. Dieser, H. Mielenz, A.-K. Otte, S. Zieseniß, J.-M. Greef, B. Stever-Schoo: Demonstrationsvorhaben „Multiparametrisches Monitoring von Nitratfrachten in der Landwirtschaft (MoNi)“ – Ergebnisse aus dem Testgebiet Ilmena.....	183
Otte, A.-K., M. Dieser, A. Gummert, H. Mielenz, S. Zieseniß, J.-M. Greef, B. Stever-Schoo: Demonstrationsvorhaben Multiparametrisches Monitoring von Nitratfrachten in der Landwirtschaft (MoNi) – Ergebnisse aus dem Testgebiet Wagrien (Schleswig-Holstein).....	185
Hohenester, I., M. Strenner, J. Ludwig, K.-J. Hülsbergen, L. Chmelikova: Untersuchung der N-Mineralisation aus Komposten im Ökolandbau mithilfe von Sensoren	187
Schwarz, F., M. Kayser, A. Herrmann, J. Isselstein, M. Komainda: Die Untersuchung von N-Effizienz in Silomais unter Zuhilfenahme von Chlorophyllwerten.....	189
Safari, Z.S., M.M. Mburu, A. Callau-Beyer, C.-F. Weßler, H. Stützel: Control of quality formation of cauliflower (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i> L.) by subsurface drip fertigation	191
Pamperin, H., J. Rücknagel, J. Macholdt: Einfluss von inhibiertem Ammoniumsulfat-Harnstoff auf die Stickstoffnutzungseffizienz sowie Lachgasemissionen am Standort Merbitz	193
Zimmermann, T., A. Mayr, M. Eichlseder, J. Pfenning: Welcher Teil eines Eissalates (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>capitata</i>) eignet sich für sensorische Nitratbestimmung?	195
Finck, R., G. Schulte auf´m Erley, H. Kage: Standortdifferenzierte Bewertung von Nitrifikationsinhibitoren als Klimaschutzmaßnahme im Pflanzenbau (NitriKlim) .	197
Amann, M., K.-J. Hülsbergen, V. Flaig, I. Kühling, H. Kage, L. Chmelikova: Intensitäts- und Standortdifferenziertes Klimaschutzpotential von Leguminosen in Anbausystemen mit N-effizienter Düngung (ISLAND) - Standort Süd	199
Flaig, V., H. Kage, L. Chmelikova, M. Amann, K.-J. Hülsbergen, I. Kühling: Intensitäts- und Standortdifferenziertes Klimaschutzpotential von Leguminosen in Anbausystemen mit N-effizienter Düngung (ISLAND) – Standort Nord.....	201
Englert, P., A. Apostolakis, H. Schröer, C. Markwitz, A. Knohl, K. Dittert, S. Siebert, A. Meijide: Spatial and temporal variability of nitrous oxide fluxes in a German crop rotation	203
Koppensteiner, L.J., H.-P. Kaul, H.-P. Piepho, N. Barta, P. Euteneuer, J. Bernas, A. Klimek-Kopyra, A. Gronauer, R.W. Neugschwandtner: Growth analysis of autumn- and spring-sown wheat with varying nitrogen fertilization rates.....	205

VII

Bernas, J., T. Bernasová, P. Konvalina, J. Moudrý, L.J. Koppensteiner, H.-P. Kaul, P. Euteneuer, G. Moitzi, R.W. Neugschwandtner: Environmental design of nitrogen application rate for wheat from the LCA perspective.....	207
Zieseniß, S., M. Dieser, H. Mielenz, A. Gummert, A.-K. Otte, J.-M. Greef, B. Stever-Schoo: Stickstoffnutzungseffizienz in der ackerbaulichen Praxis unter den geänderten Düngeregelungen.....	209
Mittermayer, M., J. Donauer, F.-X. Maidl, S. Kimmelman, K.-J. Hülsbergen: Wirkungen unterschiedlicher Düngesysteme auf den Ertrag und die Stickstoffeffizienz – Ergebnisse des digisens-Dauerfeldexperiments.....	211
Gutser, K., J. Bachinger: Durch bioökonomische Mehrfachnutzung verschiedener Pflanzenbestandteile (Blatt, Stängel) der Luzerne zu einer ökologisierten Produktionsstrategie mit verbesserter N-Lieferung in der Fruchtfolge.....	213
Demie, D.T., M. Paul, S. Hadir, T. Gaiser, T.F. Döring, D. Wallach, S.J. Seidel: Modeling crop growth and performance in cereal/legume mixture	215
Poster - Themenbereich 3: Nutrient management/Carbon cycle	
Jaufmann, E., H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Einfluss von Pflanzenkohle in Kombination mit Rindergülle und Mineraldüngerstickstoff auf den Ertrag von Silomais und Winterweizen	217
Lee, S., F. Abele, P.M. Nkebiwe, S. Graeff-Hönninger, S. Munz: Quantifying the effect of phosphorus on leaf area and growth of maize	219
Federolf, C.-P., A. Truszkowski-Graw, J. Jasper, S. Reusch: Variable Grunddüngung basierend auf dem Nährstoffzug.....	221
Ning, F., P.M. Nkebiwe, S. Munz, S. Graeff-Hönninger: Effects of phosphate fertilizer type and soil liming on shoot growth, P uptake, and yield of two maize cultivars	223
Crispim Massuela, D., S. Munz, J. Hartung, P.M. Nkebiwe, S. Graeff-Hönninger: Nährstoffstress in Medizinisches Cannabis während der Blütezeit - Auswirkungen verschiedener organischer und mineralischer Düngemittel auf Biomasse, CBD-Ertrag und Nährstoffnutzungseffizienz	225
Hubert, C., A. Langen, K. Luhmer, M.D. Moll, R. Pude: Einfluss von Stickstoff und Zink auf den Gehalt an ätherischen Ölen in verschiedenen Mentha-Genotypen	227
Winkhart, F., E. Jaufmann, H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Einfluss von Pflanzenkohle auf Ammoniakemissionen nach Gülleausbringung	229
Lutze, J.-P., F. Gaida: A Collaborative Software Architecture for Data Analysis and Exploration in Plant Science.....	231
Poster - Themenbereich 4: Modelling	
Großmann, F., T. Rose, H. Kage: Zuckerrübe der Zukunft: Modell- und datenbasierte Ertragsszenarien für eine klimaangepasste Selektion der Züchtung (Beets4Future)	233
Terrel Gutierrez, M., S. Graeff-Hönninger: Using the CROPGRO Chickpea Model to predict phenology and yield of various chickpea cultivars grown in South-western Germany	235
Jacobs, A.: Ursachen der Sink-Limitierung bei der Ertragsbildung von Zuckerrüben – Projektionen für zukünftige Anbaubedingungen.....	237

VIII

Viswanathan, M., A. Meziane, P. Horney, M. Quade, A.R. Shawon, T. Feike: Accounting for soil input uncertainty in large-scale crop model simulations for winter oilseed rape in Germany.....	239
Bittner, M., L. Riedesel, T. Feike: A meta-analysis of projected mid-century wheat and maize yields in Germany	241
Pfenning, J., T. Zimmermann: Datenerhebung zu Sorte, Pflanztermin und N-Kopfdüngung zur Modellierung von Wachstum und Entwicklung des Weißkohlanbaus (<i>Brassica oleracea</i> convar. <i>capitata</i> var. <i>alba</i>) auf der Filderebene	243
Donat, M., J. Geistert, K. Grahmann, S.D. Bellingrath-Kimura: Multi-year yield map generator – An open source software tool for modeling multi-year yield maps	245
Ma, D., L. Riedesel, C. Lichthardt, D. Rentel, F. Laidig, H.-P. Piepho, T. Feike: Sensitivity analysis of wheat carbon footprints in Germany.....	247
Villar Alegria, E.: Improving experimental design for plant competition studies using Functional Structural Plant Models - Showcase in wheat canopies	249
Harfouch, M., A. Jacobs, H.-J. Koch, C. Hoffmann, C. Kenter, C. Nendel: Projections of sugar yields in Germany, Europe and world-wide from sugar beet under changing climate	251
Jorzig, C., A.R. Shawon, E. Memic, A.R. Dominic, A. de Kock, J. Strassemeyer, B. Golla, T. Feike: Assessment of climate change impact on mid-century wheat production in Germany using multi-model-ensembles.....	253
Forchert, M., D. Sabboura, A.R. Shawon, A. Meziane, T. Feike: Adapting the DSSAT-CROPGRO model for narrow-leaved lupin (<i>Lupinus angustifolius</i>).....	255
Trenz, J., E. Memic, S. Graeff-Hönninger: Impact of soil input data on crop growth modelling	257
Poster - Themenbereich 5: Soil management/Roots	
Schober, T., T. True, A. Präger, S. Graeff-Hönninger: Einfluss verschiedener Pflanzsubstrate auf Bewurzelungsgeschwindigkeit und Bewurzelungserfolg bei der Stecklingskultivierung von <i>Cannabis sativa</i> L.....	259
Wagner, S., L. Reinelt, A. Don, L. Kottmann: Einfluss von erhöhten CO ₂ -Konzentrationen auf das Wurzelsystem von Winterweizen	261
Moll, M.D., J. Hackling, R. Pude: Quantifizierung der Mykorrhizierung von <i>Miscanthus</i> unter verschiedenen Temperaturszenarien	263
Apostolakis, A., P. Englert, S. Siebert, A. Meijide: Trade-offs between yield, soil organic matter and greenhouse gases in a paired reduced-tillage and reduced-rain field trial	265
Kirchgesser, J., M. Kavka, M. Hazarika, K. Stetter, S. Bachmann-Pfabe, K.J. Dehmer, R. Uptmoor: Root-system architecture and P-acquisition efficiency of two contrasting potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) genotypes in various P-environments.....	267
Lehmann, A., S. Graeff-Hönninger: Bodenlockern mit Pflanzen - Theorie und Praxis in der Landwirtschaft und beim Bau	269
Grundwald, D., H.-J. Koch: Auswirkungen verschiedener Zwischenfrüchte auf Feinwurzeln und Wachstum nachfolgender Zuckerrübe	271

IX

Mburu, M.M., C.-F. Weßler, Z.S. Safari, A. Callau-Beyer, H. Stützel: Root Behaviour of Red Cabbage (<i>Brassica oleracea</i>) under Subsurface Drip Fertigation under Field Conditions.....	273
Ellersiek, N., H.-W. Olf: Einfluss des pH-Werts auf die Ammoniakemissionen oberflächlich ausgebrachter Gülle in Inkubationsbehältern	275
Poster - Themenbereich 6: Remote sensing	
Quade, M., P. Borrmann, S. Preidl, A. Attia, T. Feike: Remote sensing data assimilation for in-season wheat yield predictions.....	277
Lottes, P. D. Laufer, C. Kenter: Drohnenbasierte Bonituren in Sortenversuchen mit Zuckerrüben	279
Schlich, I., T. Severin, K. Velten: Anwendung von künstlichen neuronalen Netze zur Rebzeilenerkennung für eine Positionsoptimierung von Sprühdrohnen	281
Wengert, M., H.-P. Piepho, T. Astor, R. Graß, J. Wijesingha, M. Wachendorf: Assessing Spatial Variability in Silvoarable Agroforestry Systems Using UAV-Borne Remote Sensing	283
Löwe, D., S. Warnemünde, J. Brassac, A. Stahl, H. Gerighausen: UAV-basierte Phänotypisierung von Rapshybriden unter Einsatz von multivariater Statistik und Verfahren des maschinellen Lernens	285
Flores, L., B. Bookhagen, J.A. Oviedo-Reyes, T. Smith, C. Nendel, G. Ghazaryan: Potential of Sentinel-1 time series for the assessment of maize and wheat phenology	287
Lieb, R., M. Hachicha, T. Feike: Utilizing multispectral data to help explain yield effects in pesticide-free vs. conventional and organic wheat and rye.....	289
Abbasi, N., H. Nouri, C. Opp, Siebert: Actual Evapotranspiration Estimation in Croplands Using Remote Sensing	291
Abbasi, N., S. Siebert, M. Weller, E.E. Rezaei: Global Crop-Specific Drought Hazard Monitoring over Rainfed Areas	293
Arnhold, N., S. Posch, M. Lorenzen, R. Lieb, I. Schlich, T. Feike: Anwendung von Deep Learning zur Detektion von Pflanzenaustrittspunkten in Saatbettbildern ..	295
Bald, J., R. Rettig, D. Richard, C. Anshah, T. Jarmer, D. Trautz: Detektion von Mehltau (<i>Erysiphe beate</i>) bei Runkelrüben (<i>Beta vulgaris</i> spp. <i>Vulgaris</i> var. <i>crassa</i>) mittels multispektraler Drohnen Daten	297
Bauer, C., M. Strathmann, M. Weis, K. Möller: Das neue Bild vom Schlag – Einsatz von unbemannten Flugsystemen (Drohnen) im Feldversuchswesen	299
Schmitz, S., A. Fricke, H. Stützel: Stomatal conductance and transpiration prediction through remote measurements.....	301
Main-Knorn, M., C. Nendel, G. Ghazaryan: Advancements in Crop Phenology Assessment with Multiscale Remote Sensing Data.....	303
Poster - Themenbereich 7: Irrigation/Drought	
Eltigani, A., A. Hajjarpoor, T. Feike, L. Kottmann: Sorghum phenotyping for carbon sequestration under optimum irrigation and drought stress conditions...	305
Zhu, W., S. Siebert: Detecting the inter-annual variability in irrigation extent across Europe	307
Neukam, D., H. Kage: Optimale Bewässerungsintensität – Schritte zu einer modellgestützten Ableitung	309

Moll, M.D., N. Paul, J. Elfers, R. Pude: Einfluss der Wassertemperatur in Deep Water Culture auf Vitalität und Ertrag von <i>Lactus sativa</i> var. <i>crispa</i>	311
Weßler, C.-F., M.M. Mburu, Z.S. Safari, A.C. Callau-Beyer, H. Stützel: Influence of sub-surface drip fertigation on growth processes of red cabbage (<i>Brassica olearacea</i>)	313
Poster - Themenbereich 8: Controlled and field experimentation, GxExM	
Graß, R., F. Schmidt, P. Urbatzka, H. Böhm, M. Wachendorf: Optimierung von Unkrautregulierung und Bodenschutz in Anbausystemen für Silomais: Unkrautwirkung	315
Honsdorf, N., K. Pronkow, H. Kage: Crop rotational position affects water uptake, canopy temperature and yield in wheat.....	317
Bönecke, E., S. Sorge, S. Vogel, I. Schröter, A. Liftenegger, E. Kramer, R. Rühlmann: Comparison of three liming management strategies on crop yields and economic indicators.....	319
Geistert, J., M. Halwani, J. Bachinger: Implementierung eines webbasierten Fruchtfolgeplanungsinstruments im ökologischen Landbau (ROTOR).....	321
Kunz, K., J. Macholdt: Factoring out breeding progress: an approach to long-term fertilization trials.....	323
Kunz, K., P. Fuchs, J. Macholdt: LTE hub Halle - Agricultural long-term experiments	325
Urbatzka, P., G. Salzeder, A. Castell: Ansprüche von Backweizen nach verschiedenen legumen Vorfrüchten im ökologischen Landbau	327
Pronkow, K., N. Honsdorf, H. Kage: The Influence of Pre-Crop on Yield, Radiation Use Efficiency, Canopy Temperature and Root Health in Winter Wheat	329
Kämpfer, T., T. Feike, A.R. Shawon, F.J. Fromme, A. Zaar, B. Hackauf, L. Kottmann: Einfluss des Kurzstrohgens Ddw1 auf das Wurzelsystem und die Trockenstresstoleranz von Winterroggen.....	331
Jorzig, C., A.R. Shawon, A.R. Dominic, A. de Kock, J. Strassemeyer, B. Golla, T. Feike: Elucidating the importance of genotype selection in climate change adaptation of wheat in Germany using multi-model-ensembles	333
Halwani, M., K. Gutzer, J. Bachinger: Einfluss von winterharten Zwischenfrüchten auf die Ertragsleistung von Körnermais und Körnerhirse in Nordostdeutschland .	335
Mabrouk, M., T.-W. Chen: Coordination and Independence of Plastic Responses to Light and Temperature in Winter Wheat: Opportunities for Optimizing Plasticity Combinations in Breeding Programs.....	337
Graß, R., F. Schmidt, P. Urbatzka, H. Böhm, M. Wachendorf: Optimierung von Unkrautregulierung und Bodenschutz in Anbausystemen für Silomais: Auswirkungen auf den Ertrag	339
Sabir, K., T.-W. Chen, H. Stützel: Reaction variability of the spike yield components to light fluctuations during defined developmental sub-phases in winter wheat	341
Poster - Themenbereich 9: Adaptation to heat and drought	
Baatz, R. C. Krugmann, O. Wold, M. Berg-Mohnicke, C. Nendel: A Regional Drought Early Warning System	343

Riedesel, L., M. Möller, H.-P. Piepho, D. Rentel, C. Lichthardt, B. Golla, T. Kautz, T. Feike: Site conditions determine yield effects of heat and drought stress in wheat and rye.....	345
Rothardt, S., H. Kage: Der Effekt von Residuen-Management auf N-Verluste in Winterkulturen während der Auswaschungsperiode und nach Frühjahrstrockenheit.....	347
Memic, E., J. Trenz, S. Heshmati, S. Graeff: Comparison of simulated crop model-based soil water with soil water sensor measurements – impact of “correct” soil water parametrization on biomass simulation in winter wheat	349
Uhlig, K., J. Rücknagel, J. Macholdt: Heat emission from high voltage direct current (HVDC) underground cables affects crop plants – results from 4 growth phases (GP)	351
Poster - Themenbereich 10: Crop protection/Biotic stress	
Obermeyer, K., M. Kayser: Kalibrierung eines Rising-Plate-Meters zur Ertragsschätzung in Nordwestdeutschland unter Praxisbedingungen.....	353
Winterling, A., J. Tanz, P. Urbatzka: Wirksamkeit einer Elektronenbehandlung des Saatguts gegen Anthraknose bei Weißer Lupine	355
Winterling, A., A. Ostermeyer, P. Urbatzka: Verträglichkeit der Ackerbohne mit legumen Zwischenfrüchten bei bodenbürtigen Krankheiten.....	357
Otto, D., S. Graeff-Hönninger, S. Munz: Influence of sowing pattern on morphology, yield formation and weed suppression in pesticide-free cropping systems with silage maize and soybean	359
Wieters, B., N. Stockfisch: FlowerBeet: Blühstreifen im Zuckerrübenanbau zur Nützlingsförderung und biologischen Bekämpfung von Blattläusen	361
Poster - Themenbereich 11: Biodiversity	
Neugschwandtner, R.W., H.-P. Kaul, G. Moitzi, A. Klimek-Kopyra, T. Losak, H. Wagentristl: Eine niedrige Stickstoffdüngungsmenge in Hafer-Erbsen-Gemengen beeinträchtigt nicht die N ₂ -Fixierung.....	363
Urbatzka, P., G. Salzedo: Einfluss von Saatzeitpunkt und Art verschiedener Futterleguminosen auf den Besatz mit Ampfer im ökologischen Landbau	365
Urbatzka, P., C. Polkowski, J. Tanz, N. Weiher, T.F. Döring: Einfluss diverser Mischungen und reduzierter Nutzungstermine auf den Kleeertrag im ökologischen Landbau	367
Lechner, L., E.S. Dobers: Zeitlicher Verlauf der Biomasse-Bildung von Hanf als Winterzwischenfrucht und der Nmin-Gehalte auf heterogenen Standorten in Mecklenburg-Vorpommern im Anbaujahr 2022/2023.....	369
Voßkuhl, L., M. Müller, M. Athmann, R. Graß: Agroforst: Kornertrag und Bestandesentwicklung von Sommerweizen in einem Agroforst-System mit Weiden im Kurzumtrieb	371
Voßkuhl, L., M. Müller, W. Burzik, R. Graß, M. Athmann: Agroforst: Neuanlage eines Agroforstexperiments - Alley-Cropping mit Walnuss, Haselnuss und Johannisbeere.....	373
Kheir, A., M. Langhof, J.-M. Greef, A.R. Dominic, J. Strassemeyer, T. Feike: Entwicklung eines schlagspezifischen Entscheidungsunterstützungssystems für Agroforstsysteme zur Bewertung und Erschließung von Klimaschutzpotentialen	375

XII

Altstadt, M., A. Upenov, E. Baibagyshov, D. Trautz, T. Jarmer, H. Kage, I. Kühling: Ackerflächen als Sekundärhabitat für bedrohte endemische Pflanzenarten in Zentralasien?	377
Lesser, L., S. Graeff-Hönninger: MULTIpurpose-Pflanze Hanf: GEWinnung von BioMasse, Lignin und Plattformchemikalien zur Herstellung biopolymerer Werkstoffe (MULTIHEMP).....	379
Böhm, H., F. Höppner, H. Holzgreve, D. Wiedow, S. Roux: Gemengeanbau von Mais und Andenlupine für die Bioenergieerzeugung	381
Kretschmer, L., J.-M. Greef, L. Kottmann: Effekt von erhöhten CO ₂ -Konzentrationen auf morphologische Merkmale verschiedener Winterweizengenotypen	383
Fuchs, M., S. Graeff-Hönninger: Vergleich elf verschiedener Möhrensorten hinsichtlich ihres marktfähigen Ertrages und ihrer BRIX-Werte.....	385
Kretschmer, L., L. Waßmann, J. Krößmann, B. Rodemann, A. Serfling, L. Kottmann: Phänotypische und genetische Determinanten für die Anpassung von Winterweizen an steigenden CO ₂ -Konzentrationen am Beispiel von Braunrost und Ährenfusarium (WheatFACE)	387
Abele, E., S. Graeff-Hönninger: Steckbrief zum Sommerkürbis <i>Cucurbita pepo</i> „Tondo chiaro di Nizza“	389
Salama, H.S.A., M.H. Abdel-Moneim: Intercropping as a way of agricultural intensification maximizes productivity and land use efficiency	391
Kemetter, J., H. Wagentristl, H.-P. Kaul, R. Neugschwandtner: Flower Power am Feld: Käferbohne, Mais und Buchweizen – ein Ensemble mit Mehrwert für den Pflanzenbau	393
Präger, A., S. Graeff-Hönninger: Evaluierung des Blütenertrags zweier Phytocannabinoid-reicher Cannabis-Genotypen unter Freilandbedingungen und des Potenzials schrittweiser Gewinnung von Terpenen und CBD mittels Mikrowellen-unterstützter Hydrodestillation	395
Höppner, F., D. Wiedow, S. Roux: Gemengeanbau von Mais mit Andenlupine – Ganzpflanzensilierung und Biogasausbeute	397
Reichel, P., S. Munz, S. Graeff-Hönninger: Influence of Pruning, Topping and Defoliation on Morphology of <i>Cannabis sativa</i> L.	399
Urbatzka, P., G. Salzedo: Einfluss des Mischungspartners auf Ertrag und Qualität von Wintererbsen im ökologischen Landbau	401
Poster - Themenbereich 12: Precision farming	
Strathmann, M., C. Bauer, L. Puck, N. Spielbauer, G. Heppner, R. Mink, M. Roth, K. Möller: BoniKI – KI-basiertes Bonitursystem für eine pflanzengenaue und autonome Bonitur	403
Reuter, T., C. Scholz, D. Trautz: Flächeneinteilung von Maisflächen für den hybriden Einsatz von autonomen Feldrobotern und personengesteuerten Traktoren	405
Weier, B.K., E.S. Dobers: Standortspezifische Aussaat von Mais mit Hilfe von Schrägluftbildern und der Integration des Normalized Green Red Difference Index (NGRDI).....	407

XIII

Frank, M., T. Koppenhagen, R. Weber, J. Braun: Nachhaltigerer kleinstrukturierter Ackerbau durch Einsatz digitaler Entscheidungshilfen – Lektionen aus dem baden-württemberger Experimentierfeld „DiWenkLa“	409
Reuter, T., K. Nahrstedt, T. Jarmer, D. Trautz: Einteilung von Teilflächen der Nachkultur anhand von NDVI-Karten aus Klee grasbeständen für zwei ökologisch bewirtschaftete Flächen.....	411
Richard, D., J. Bald, R. Rettig, C. Ansah, T. Jarmer, D. Trautz: Evaluierung der Hackeffizienz beim Sojaanbau anhand von UAV-RGB-Bildern.....	413
Nachtweide, P., J. Bauer, J. Kierdorf, L. Chong, R. Roscher, R. Bayati, F. Kurth, T.F. Döring, A. Hamm, S.J. Seidel: Classical, audio- image- and video-based pollinator identification and quantification to evaluate biodiversity in agroecosystems	415
Wölfinger, M., P. Ströde, T. Kleinebecker, A. Gattinger: Schonstreifen für Pflanzenvielfalt	417
Podcast	
Cornelsen, H., N. Wrage-Mönnig: Mikroplastik und Gras – Was ist hier das richtige Maß?.....	419
Autorenverzeichnis	421

Potential der Indoor-Pflanzenproduktion

Sebastian Eichelsbacher, Maximilian Zachow und Senthold Asseng

Technische Universität München, TUM School of Life Sciences, Department of Life Science Engineering, HEF World Agricultural Systems Center, Freising, Deutschland.
E-Mail: senthold.asseng@tum.de

Einleitung

Die steigende Lebensmittelnachfrage einer wachsenden globalen Bevölkerung (Roser et al., 2013) steht im Konflikt mit den Auswirkungen des Klimawandels und den negativen Folgen der intensiven Lebensmittelproduktion auf die Umwelt (IPCC 2019). Wenngleich die Landwirtschaft zu etwa einem Viertel der globalen Treibhausgasemissionen beiträgt (Rosenzweig et al. 2020) muss sie bis 2050 den Nahrungsmittelbedarf von 10+ Milliarden Menschen decken (Ray et al., 2013). In einigen Regionen kann die Nachfrage bereits heute nicht erfüllt werden (Godfray et al., 2010).

Die Getreideproduktion nimmt mit 738 Millionen Hektar und einem durchschnittlichen Ertrag von 4.1 t/ha einen der größten Anteile der globalen Nahrungsmittelproduktion ein (FAOStat, 2023). Dabei werden in konventionellen Anbausystemen Pestizide und Herbizide routinemäßig eingesetzt, sodass ein erheblicher Teil in die Umwelt gelangt und Boden- und Wassersysteme gefährden (Ippolito et al. 2015) oder die Artenvielfalt zurückdrängen (Green et al. 2005). Die intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung führt auch zu einer übermäßigen Nutzung von Süßwasserressourcen, was in manchen Regionen die begrenzten Wasserverfügbarkeiten unter Druck setzt (West et al. 2014).

In dieser Hinsicht stellt die vertikale Landwirtschaft eine Alternative zum Anbau von Feldfrüchten dar. Durch die Verwendung einer LED-Beleuchtung können optimierte Anbaubedingungen für die Pflanzen in vertikal geschichteten Ebenen bereitgestellt werden. Dies umfasst neben dem Licht auch die Steuerung aller weiterer Wachstumsfaktoren einschließlich Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO₂-Konzentration, Belüftung, Wasser oder Nährstoffe. Die Produktion findet in einem vollständig, von den natürlichen Einflüssen, abgegrenzten Gebäude statt (Kozai, 2019). Die Anlagen ermöglichen die Produktion hochwertiger Lebensmittel in urbanen Zentren, nahe beim Verbraucher, ohne das schädliche Pestizide und Herbizide angewendet werden. Der Wasserverbrauch lässt sich stark reduzieren, da nahezu 99% des Wassers wiedergewonnen wird und im Kreislauf des Systems verbleibt (Pinstrup-Andersen 2018). Blattgemüse, Tomaten oder Gewürzpflanzen werden bereits in den ersten kommerziellen, vertikalen Farmen produziert (SharathKumar et al., 2020, van Delden 2021). Obwohl die vertikale Landwirtschaft einen hohen Energiebedarf hat, ist sie energieeffizienter und produktiver als die meisten Gewächshäuser (Graamans et al. 2018). Die Getreideproduktion in vertikalen Farmen ist durch die hohen Anschaffungskosten der Technik und den Energiekosten jedoch deutlich teurer als die Produktion im konventionellen Feldanbau (Asseng et al., 2020). Die finanziellen Auswirkungen von Umweltschäden durch die konventionellen Anbauverfahren werden aber im Freilandanbau nicht eingepreist (Scialabba et al., 2015).

Die Potenziale der vertikalen Landwirtschaft mit Blick auf die Ertragsleistung und die zu lösenden Herausforderungen in der Nahrungsmittelproduktion sind die Grundlage für unsere Forschung. Wir müssen eine größere Menge an Nahrungsmitteln auf weniger Fläche und auf eine nachhaltigere Weise produzieren. Dafür arbeiten wir an den Antworten für die Frage: Was sind die Grenzen des Ertrags von Weizen unter abiotisch uneingeschränkten Wachstumsbedingungen?

Material und Methoden

Wir haben bereits eine Reihe von Indoor-Weizenanbauversuchen durchgeführt. In den Experimenten verwenden wir die Zwergweizensorte Apogee, die ursprünglich von der NASA für Weltraumexpeditionen gezüchtet wurde. Unsere Forschungsanlage befindet sich im Gewächshauslaborzentrum Dürnast (GHL) an der TUM und besteht aus drei begehbaren Wachstumskammern. Diese ermöglichen die präzise Steuerung von Lichtintensität, Lichtspektrum, Photoperiode, relative Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit mittels einem programmierbaren Logik-Controller. Die Nährstoffversorgung erfolgt durch ein automatisiertes Bewässerungssystem (Ebb-Flut- und Hydroponik-Systeme). Die Klimakammern sind mit Pflanztischen und höhenverstellbaren LED-Paneele ausgestattet, in einer Kammer wird ein zweischichtiges Regalsystem genutzt. Jede Ebene in den Wachstumskammern hat eine Fläche von 4-5 m², sodass eine innenliegende Fläche von 1 m² unter Ausschluss der Randeffekte geerntet werden kann (Rebetzke et al. 2014). In weiteren Klimaschränken kann zusätzlich die CO₂-Konzentration und die Wurzeltemperatur kontrolliert werden. Insgesamt stehen uns in unserem Labor 20-24 m² zur Kultivierung des Indoor-Weizens zur Verfügung. Wir führen regelmäßig Biomasseanalysen und Datenerfassungen mittels einem LI-COR Photosynthesemesssystem durch. Verschiedene Sensoren und Kamerasysteme nehmen in regelmäßigen Abständen automatisiert Datenpunkte auf. Zu den wichtigen Forschungsparameter gehören Entwicklungsstadien, Biomasseentwicklungen, Nebentriebe, der Kornertrag in kg/m² sowie die Dauer von der Aussaat bis zur Ernte. Der Weizen wird je nach Versuch in Steinwolle, organischen Anzuchtsubstraten oder Perlit kultiviert. Die Saattiefe liegt dabei zwischen 850 und 2500 Körnern pro m². Die Pflanzen werden mit Nährlösungen versorgt, wie sie beispielsweise von Bugbee & Salisbury (1988) publiziert wurde.

Ergebnisse und Diskussion

In einer Modellierungsstudie wurde berechnet, dass der Weizenanbau in einer vertikalen Farm auf der gleichen Fläche eine 6000-mal höhere Produktivität als der weltweite Durchschnitt erreichen könnte (Asseng et al., 2020). Diese enorme potenzielle Produktivität von 19.400 t/ha/Jahr wurde auf der Grundlage der Ergebnisse von NASA-Experimenten auf kleinen Parzellen geschätzt und mittels Wachstumsmodellen auf ein Hektar Land in einer vertikalen Farm mit 100 Schichten übertragen (Asseng et al., 2020). Wenn ein solches Potenzial tatsächlich erreicht werden könnte, würde bis zu 6000-mal weniger Land benötigt, um die gleiche Menge an Lebensmitteln zu produzieren (ungeachtet der derzeit sehr hohen Energiekosten). Selbst wenn nur ein Teil dieses Landes durch vertikalen Anbau eingespart wird, könnte Land für andere Zwecke freigesetzt werden. Aktuelles Ackerland könnte für weniger intensive, nachhaltigere und biodiversere Landwirtschaft oder andere gesellschaftliche Nutzungen verwendet werden wie beispielsweise der Aufforstung (Curtis et al., 2018).

Erste Ergebnisse aus unseren Versuchen in den Klimakammern zeigen, dass die simulierten Erträge aus Asseng et al. (2020) tendenziell erreicht werden können, auch wenn die Höchsterträge noch produziert werden müssen. Der Wachstumszyklus kann durch Temperatur und Lichtintensität kurzgehalten werden. Abbildung 1a) zeigt, wie innerhalb von 35 Tagen die maximale Wuchshöhe von 45-50 cm erreicht wird und 8-10 Wochen nach der Aussaat bereits geerntet wird. Auf einer Schicht sind damit 5-6 Ernten pro Jahr möglich. Die Biomasseentwicklung kann durch Tiefenkameras erfasst werden (Abbildung 1b), was die Potenziale einer datengetriebenen Steuerung von Indoor-Farmen unterstreicht. Die Kornerträge liegen mit $0.9-1 \text{ kg/m}^2$ in ähnlicher Höhe wie die Weizenenerträge in den fruchtbarsten Anbaugebieten von Europa ($9-10 \text{ t/ha}$), wenngleich die Homogenität der Bestände weiter verbessert werden muss (Abbildung 1c). Die Abbildung 1d) zeigt einen dichten Pflanzenbestand bei hoher Lichtintensität.

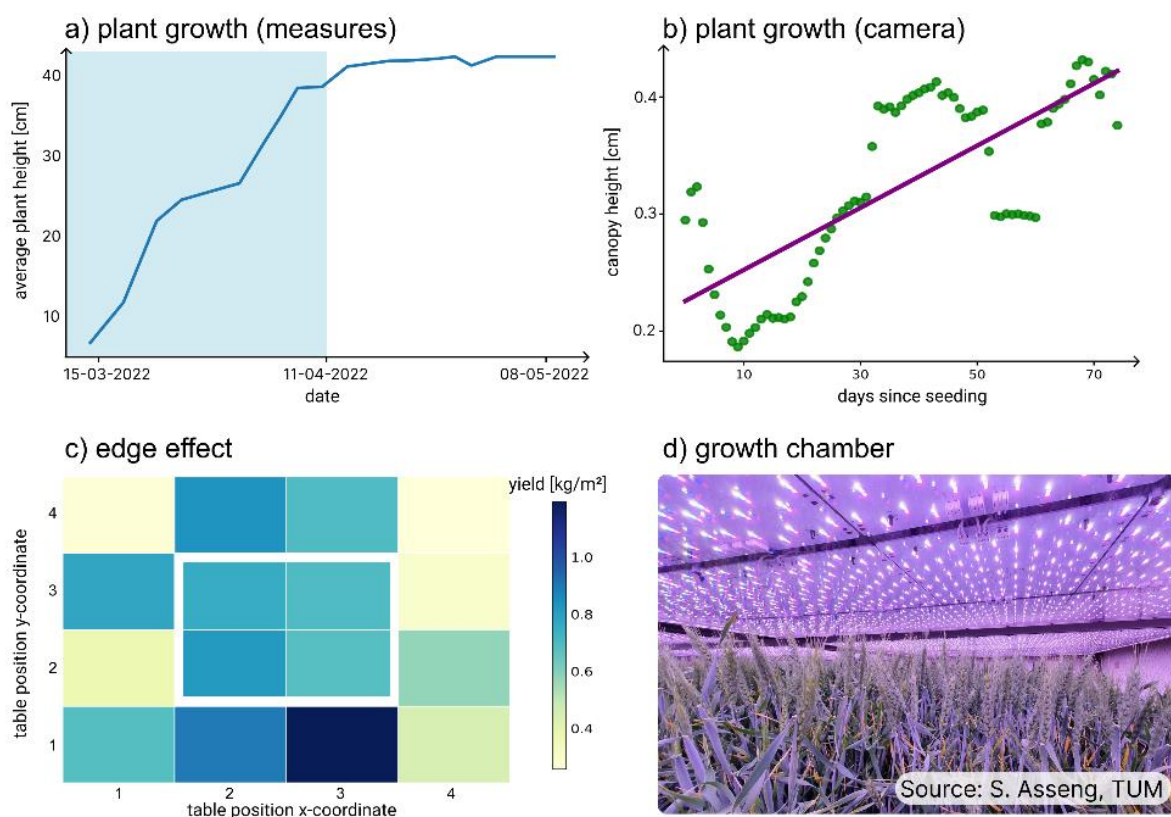


Abb. 1: Ergebnisse unserer ersten Wachstumskammer-Experimente mit Apogee-Weizen. a) Die gemessene Pflanzenhöhe zeigt ein schnelles Wachstum (blauer Hintergrund) bis zum Beginn der Kornfüllung nach 35 Tagen (weißer Hintergrund). Nach rund 70 Tagen erfolgt die Ernte. b) Geschätztes Pflanzenwachstum basierend auf Daten einer Kamera, die stündlich 3D-Bilder von über dem Bestand aufnimmt. c) Räumliche Verteilung der Ernte mit Randeffekten und einem zentralen homogenen Erntegebiet, das skalierbar ist. d) Bild unserer begehbaren Wachstumskammer mit 3-Kanal Hochintensitäts-LEDs.

Die ersten Ergebnisse motivieren uns die experimentelle Validierung der Vorarbeiten von Asseng et al. (2020) und Bugbee & Salisbury (1988) fortzuführen. Auf Grundlage der Ergebnisse sehen wir ein enormes Potenzial, die vertikale Landwirtschaft hinsichtlich der Ertragsmenge und -qualität zu optimieren und dabei beispielsweise den energieintensiven Lichtbedarf der Pflanzen zu reduzieren und die Ressourcennutzung durch gezielte interdisziplinäre Forschung und Technologieentwicklung zu verbessern. Die Forschung kann als wissenschaftliche

Grundlage einen wichtigen Beitrag zum Erreichen der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen liefern, insbesondere dem Ziel 2 "Kein Hunger" (UN, 2015).

Literatur

- Asseng, S., Guarin, J. R., Raman, M., Monje, O., Kiss, G., Despommier, D. D., Meggers, F. M., & Gauthier, P. P. G. (2020). Wheat yield potential in controlled-environment vertical farms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117*(32), 19131–19135. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002655117>
- Bugbee, B. G., & Salisbury, F. B. (1988). Exploring the limits of crop productivity. I. Photosynthetic efficiency of wheat in high irradiance environments. *Plant Physiology*, *88*(3), 869–878. <https://doi.org/10.1104/pp.88.3.869>
- Curtis, P. G., Slay, C. M., Harris, N. L., Tyukavina, A., & Hansen, M. C. (2018). Classifying drivers of global forest loss. *Science (New York, N.Y.)*, *361*(6407), 1108–1111. <https://doi.org/10.1126/science.aau3445>
- FAOStat. (2023). *FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Graamans, L., Baeza, E., Dobbelsteen, A. V. D., Tsafaras, I., & Stanghellini, C. (2018). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems*, *160*, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.003>
- Green, R. E., Cornell, S. J., Scharlemann, J. P. W., & Balmford, A. (2005). Farming and the Fate of Wild Nature. *Science*, *307*(5709), 550–555. <https://doi.org/10.1126/science.1106049>
- IPCC (2019) Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SPM Approved draft).
- Ippolito, A., Kattwinkel, M., Rasmussen, J. J., Schäfer, R. B., Fornaroli, R., & Liess, M. (2015). Modeling global distribution of agricultural insecticides in surface waters. *Environmental Pollution*, *198*, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.016>
- Kozai, T. (2019). Towards sustainable plant factories with artificial lighting (PFALs) for achieving SDGs. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *12*(5), Article 5. <https://doi.org/10.25165/ijabe.v12i5.5177>
- Pinstrup-Andersen, P. (2018). Is it time to take vertical indoor farming seriously? *Global Food Security*, *17*, 233–235. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.09.002>
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PLOS ONE*, *8*(6), e66428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>
- Rebetzke, G. J., Fischer, R. T. A., van Herwaarden, A. F., Bonnett, D. G., Chenu, K., Rattey, A. R., & Fettel, N. A. (2014). Plot size matters: Interference from intergenotypic competition in plant phenotyping studies. *Functional Plant Biology: FPB*, *41*(2), 107–118. <https://doi.org/10.1071/FP13177>
- Rosenzweig, C., Mbow, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E. T., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M. G., Sapkota, T., Tubiello, F. N., Xu, Y., Mencos Contreras, E., & Portugal-Pereira, J. (2020). Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nature Food*, *1*(2), 94–97. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0031-z>
- Roser, M., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E., & Rodés-Guirao, L. (2013). World Population Growth. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/world-population-growth>
- Scialabba, N. E.-H., Baldock, C., Burks, E., & Hardwicke, R. (2015). *Natural Capital Impacts in Agriculture*. <https://www.fao.org/nr/sustainability/natural-capital>
- SharathKumar, M., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. M. (2020). Vertical Farming: Moving from Genetic to Environmental Modification. *Trends in Plant Science*, *25*(8), 724–727. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.05.012>
- UN. (2015). *THE 17 GOALS | Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/goals>
- van Delden, S. H., SharathKumar, M., Butturini, M., Graamans, L. J. A., Heuvelink, E., Kacira, M., Kaiser, E., Klamer, R. S., Klerkx, L., Kootstra, G., Loeber, A., Schouten, R. E., Stanghellini, C., van Ieperen, W., Verdonk, J. C., Viallet-Chabrand, S., Woltering, E. J., van de Zedde, R., Zhang, Y., & Marcelis, L. F. M. (2021). Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems. *Nature Food*, *2*(12), Article 12. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00402-w>
- West, P. C., Gerber, J. S., Engstrom, P. M., Mueller, N. D., Brauman, K. A., Carlson, K. M., Cassidy, E. S., Johnston, M., MacDonald, G. K., Ray, D. K., & Siebert, S. (2014). Leverage points for improving global food security and the environment. *Science (New York, N.Y.)*, *345*(6194), 325–328. <https://doi.org/10.1126/science.1246067>

Einsicht aus Daten – Entscheidungsunterstützung durch KI

Ansgar Bernardi

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI), Kaiserslautern.
E-Mail: ansgar.bernardi@dfki.de

Kurzfassung des Vortrags

Die fortwährenden Bemühungen um ökonomische Verbesserungen der landwirtschaftlichen Produktion bei gleichzeitig wachsenden Anforderungen an Umweltschutz und Ressourceneffizienz erfordern eine möglichst präzise, auf individuelle Standorteigenschaften oder gar einzelne Pflanzen ausgerichtete Optimierung landwirtschaftlicher Maßnahmen im Pflanzenbau. Ziel ist, durch Berücksichtigung möglichst vieler Einflussfaktoren letztlich exakt die Maßnahmen zu treffen, die für ein optimales Pflanzenwachstum und einen optimalen Ertrag notwendig sind. Als Grundlage für ein in ökonomischem und ökologischem Sinn optimales Smart Farming sind detaillierte Daten und deren zielgerichtete Auswertung unabdingbar.

Die zunehmende Digitalisierung der Landwirtschaft erlaubt andererseits die präzise Erfassung vielfältiger Details der landwirtschaftlichen Produktion. Sensoren erfassen Eigenschaften des Bodens, des Wetters, des Pflanzenwachstums. Drohnen, Luftbilder und Satelliten liefern multispektrale Aufnahmen in vielfältiger Detailtiefe und Auflösung. Spezielle Sensorik erlaubt die laufende Analyse von Stoffströmen – etwa die laufende Messung von Nährstoffgehalten während der Gülleausbringung oder die Bestimmung von Produkteigenschaften während der Ernte. Messungen in der Produktionskette dienen der Sicherung der Qualität, der Einhaltung von Kühlketten, oder der Überwachung von Transportwegen und Verarbeitungsschritten.

Die Künstliche Intelligenz (KI) bietet vielfältige Ansatzpunkte, die Digitalisierung und damit ein Smart Farming und Digital Farming zu unterstützen. Der Weg zu mehr Umweltschonung, höherer Ressourceneffizienz, Transparenz und sozialer Akzeptanz, sowie mehr nachhaltiger Wirtschaftlichkeit beginnt mit der Messung mit Sensoren und deren Beschreibung. Die Kommunikation in offenen, kooperativen Produktionsketten nutzt Intelligente Netze und verteilte Datenarchitekturen sowie gemeinsame Vokabularien und Ontologien. Mustererkennung und Reasoning auch unter Unsicherheit helfen bei Interpretation und Analyse der gewonnenen Daten und der daraus abzuleitenden Entscheidungsunterstützung. Maschinelles Lernen unterstützt darüberhinaus den langfristigen Wissensaufbau. Robotik schließlich hilft bei der Automatisierung landwirtschaftlicher Arbeitsschritte.

Durch die Kombination von Daten aus verschiedenen Quellen ergeben sich vielversprechende Möglichkeiten, steuernd auf die landwirtschaftliche Produktion einzuwirken und/oder längerfristig zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. Während traditionelle Regelkreise und Steuerungssysteme in der Regel mit vorgegebenen Modellierungen arbeiten und entsprechend in Aufbau und Wartung aufwändig sind, versprechen aktuell lernende Systeme auf Basis künstlicher neuronaler Netze ganz neue Potentiale.

Im Prinzip liegt die Stärke der Neuronalen Netze in der Fähigkeit, auch in sehr hoch dimensionalen Datenräumen Muster zu erlernen und Klassifikationen durchzuführen. Damit können solche Systeme etwa schwer identifizierbare Elemente in Bildern zuverlässig erkennen (und so z.B. im Kamerabild Nutzpflanzen von Unkraut unterscheiden) oder Zusammenhänge in vielfach miteinander verwobenen Einflussfaktoren einer Anbausituation entdecken, die so bisher nicht zu klären waren.

Die Entwicklung künstlicher neuronaler Netze geht bereits auf die Anfangszeiten der Informatik zurück – motiviert durch die Funktion der biologischen Nervenzelle hat Rosenblatt (1958) das Perceptron und sein Trainingsverfahren bereits 1957 entwickelt. Der entscheidende Durchbruch kam jedoch erst in den letzten Jahren, befördert durch die Kombination von Fortschritten im Wissen um Netzwerkarchitekturen und Trainingsverfahren, leistungsfähiger GPU-Programmierung und mit der Verfügbarkeit großer Mengen an Trainingsdaten im Internet.

Als im März 2016 ein auf Neuronalen Netzen und „eigenständigem“ Reinforcement Learning basierendes System das bis dahin als extrem schwierig angesehene Strategiespiel Go gewann (Deepmind, 2021), erhielten die künstlichen neuronalen Netze mit einem Schlag hohe öffentliche Aufmerksamkeit. Seitdem sind wir Teil einer atemberaubenden Entwicklung. Lernende Systeme sind heute in Bildverarbeitung, Identifizierung von Objekten oder Stoffströmen, Analyse komplexer Interaktionen unterschiedlicher Datenquellen, oder in der Steuerung komplexer Prozesse oder autonomer Fahrzeuge allgegenwärtig

Die spezielle Ausprägung dieser Ansätze in so genannten Transformer Networks und deren Einsatz zu Aufbau und Nutzung großer Sprachmodelle, die auch generativ betrieben werden können, hat seit Beginn dieses Jahres dramatische Aufmerksamkeit erfahren: Die öffentliche Bereitstellung des Systems ChatGPT (OpenAI, 2022) lässt aktuell allgemein erkennen, welchen Grad von natürlichsprachlicher Dialogfähigkeit und infolgedessen welche faszinierenden Möglichkeiten des interaktiven Zugriffs auf digitale Wissensbestände denkbar sind – aber auch, welche Fallstricke in der aktuellen Technik und in der gesellschaftlichen Akzeptanz lauern.

Forschungs- und Entwicklungsprojekte, aber auch erste marktgängige Systeme nutzen Kombinationen von KI-Technologien – von formaler Wissensrepräsentation bis zu neuronalen Netzen – für eine effektive Entscheidungsunterstützung: Ausgehend von der automatischen Verarbeitung der jeweils verfügbaren Daten werden mögliche Handlungen (des Menschen oder der Maschine) empfohlen und umgesetzt. So können etwa Dünger oder Pflanzenschutzmittel standortspezifisch und zum Bedarf der einzelnen Pflanze passend ausgebracht werden; Chatbots führen Beratungsdialoge zur Vermeidung von unerwünschten Resistenzen; jeder einzelne Baum einer Obstplantage wird zum eigenständigen Individuum mit je eigenen Bedürfnissen; oder eine Präzisionshacke mit angeschlossener Kamera kann im Feld automatisch und umweltschonend Unkraut mechanisch entfernen.

Die Integration von Daten aus unterschiedlichen Quellen bringt neue Erkenntnisse. So kann etwa die Verbindung großräumiger Fernerkundung (durch Satellitendaten, oder durch Überfliegung) mit lokalen Details (zum Beispiel auch durch die

Auswertung von Meldungen der Bevölkerung in den sozialen Medien) eine präzise und zeitnahe Bewertung von groß- und kleinräumigen Ereignissen unterstützen – wie etwa bei der Einschätzung von Hochwasserfolgen (Bischke et al, 2017), aber auch etwa beim regionalen Monitoring von Pflanzenschädlingen.

Entscheidend für eine erfolgreiche Lösungsentwicklung ist die Verfügbarkeit geeigneter Daten. Auch lernende Systeme können in die aus der Statistik bekannten Fallen tappen: Wenn Trainingsdaten z.B. einen verborgenen Bias enthalten, wird das lernende System höchstwahrscheinlich nicht das erhoffte Verhalten erlernen!

Das Erschließen und Integrieren der notwendigen Daten(-quellen) ist eine organisatorische und wissenschaftlich-technische Herausforderung: Es gilt einerseits, die technischen Schwierigkeiten bei der dynamischen Integration diverser Datenquellen und -systeme, deren Abgleich und deren laufende Wartung zu bewältigen. Andererseits müssen in der Regel vielfältige Interessen aller Beteiligten miteinander abgestimmt werden. Nicht zuletzt ist eine faire Verteilung von Aufwand und Gewinn zwischen allen Beteiligten entscheidend für erfolgreiche Geschäftsmodelle.

Gerade in landwirtschaftlichen Anwendungen ist die Beschaffung geeigneter Daten oft nicht einfach: Pflanzenbauliche Experimente beispielsweise generieren oft nur wenige Datensätze pro Plot und Vegetationsperiode! Eine Kopplung von computergenerierten Simulationsdaten (auf Basis programmierter Systeme, die bisheriges Wissen umsetzen) für ein „Basistraining“ mit der anschließenden Verwendung einiger weniger betriebsspezifischer Datensätze für ein anpassendes Trainieren (so genanntes Transfer Learning) bietet hier erfolgversprechende Hilfestellung (Berger et al, 2020; Münzberg et al, 2022).

Die technischen Möglichkeiten des Edge Computing – das Ausführen der Datenauswertung auf geeigneter Hardware direkt vor Ort bei der Datenaufnahme – versprechen innovative Lösungen im Agrarbereich und bieten neue Geschäftsmodelle: Aufwändig trainierte Modelle können auf kostengünstige Hardware geladen werden, die beispielsweise auf der jeweiligen Landmaschine montiert ist und dann direkt eine Pflanze erkennt und die Hacke steuert. So kann letztlich landwirtschaftlich relevantes Wissen im trainierten Modul technisch verkörpert und als Ware oder Dienstleistung verkauft oder vermietet werden!

Das aktuell laufende Projekt Agri-GAIA (Agri-GAIA, 2022) entwickelt – in Anbindung an die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz initiierte und geförderte europäische Datenaustausch-Infrastruktur GAIA-X (Gaia-X, 2022) – ein KI-Ökosystem für die Landwirtschaft, das neben dem Austausch geeigneter Datensätze auch das Trainieren relevanter Neuronaler Netze und das Deployment der Lösung auf Edge-Systemen durchgängig unterstützen wird.

Zusammenfassend ist festzuhalten:

- ❖ Maschinelles Lernen mit Neuronalen Netzen erlaubt Mustererkennung in hochdimensionalen Daten
- ❖ Wertvolle Entscheidungsunterstützung (Diagnosen, Prognosen) wird durch Integration vielfältiger Daten möglich
 - Global (Satelliten, Drohnen)

- Lokal (betriebliche Daten, Feld, Edge-Anwendung)
- Individuell (Tier, Herde, Baum)
- ❖ Brauchbare Datengrundlage ist organisatorische und wissenschaftlich-technische Herausforderung
- ❖ Die neuen Möglichkeiten bieten Gelegenheiten für neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen

Als Literatur sei (Dörr und Nachtmann, 2022) empfohlen.

Literatur

- Agri-GAIA (2022): Agri-GAIA: Ein agrarwirtschaftliches KI-Ökosystem für die Agrar- und Ernährungswirtschaft. Projektwebseite, URL <https://www.agri-gaia.de>, retrieved 20.10.22.
- Berger, T., Bernardi, A., Martini, M., Münzberg, A., Parussis, J., Troost, C. (2020): Combining Machine Learning and Simulation Modelling for Better Predictions of Crop Yield and Farmer Income. In: Van Griensven, A., Nossent, J., Ames, D. (Eds.): Proceedings of the 10th International Congress on Environmental Modelling and Software Brussels, Belgium, <https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2020/>.
- Bischke, B., Bhardwaj, P., Gautam, A., Helber, P., Borth, D., & Dengel, A. (2017): Detection of Flooding Events in Social Multimedia and Satellite Imagery using Deep Neural Networks. In MediaEval (2017, September).
- Deepmind (2021): Deepmind's AlphaGo. <https://deepmind.com/research/case-studies/alphago-the-story-so-far>, retrieved 11.3.21.
- Dörr J. and Nachtmann M. (eds): Handbook Digital Farming. Digital Transformation for Sustainable Agriculture. Springer 2022. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-64378-5>.
- Gaia-X (2023): Gaia-X Home. URL <https://www.data-infrastructure.eu/>, retrieved 27.06.2023.
- Muenzberg, A., Troost, C., Martini, M., Mendoza, F., Srivastava, R., Berger, T., Seuring, L., Reinosch, N., Streck, T., Bernardi, A. (2022): Machine Learning on Simulated and Real Farm Data based on an Ontology-Controlled Data Infrastructure. In A. Martin, K. Hinkelmann, H.-G. Fill, A. Gerber, D. Lenat, R. Stolle, F. van Harmelen (Eds.), Proceedings of the AAAI2022 Spring Symposium on Machine Learning and Knowledge Engineering for Hybrid Intelligence (AAAI-MAKE 2022), Stanford University, Palo Alto, California, USA, March 21–23, 2022.
- OpenAI (2022): Introducing ChatGPT. URL <https://openai.com/blog/chatgpt>, 30.11.2022. retrieved 02.07.2023
- Rosenblatt, F (1958): "The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain", Psychological review, 65(6), p.386, 1958.

One, two, three: Portable sample size in agricultural research

Hans-Peter Piepho

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart, Germany.
E-Mail: piepho@uni-hohenheim.de

Introduction

One of the most common questions in the design of experiments and observational studies is: how many replications or samples do I need? Answers to this key question are well established, and good software tools are available as well. At the same time this important topic is treated only tangentially in many textbooks, and often times the material is somewhat dispersed throughout the text. This makes it difficult to recommend a single source to practitioners wanting quick advice and having little time to delve into the underlying mathematical theory. Also, decisions on sample size require prior information on variance, which researchers may sometimes find hard to come by, but only if such prior information is furnished can the sample size question be settled. This may require rough estimates to be derived on the spot, and good illustrations with real examples for this in the agricultural sciences remain sparse. Moreover, much of the material on sample size calculation focuses on significance testing, whereas one may also determine sample size based on considerations of precision alone, without having a specific significance test in mind. The purpose of this talk, therefore, is to provide a compact overview of the most basic procedures and the underlying key concepts, showing how they are all intimately related and giving particular emphasis to procedures based solely on precision requirements. Several practical examples are used for illustration. While sample size calculations are usually implemented using statistical software, we here emphasize the utility of simple equations that allow a quick determination of appropriate sample size. Bob Wheeler (*Technometrics*, 1974, 1975) denoted such equations as "portable in the sense that one can use [them] in the midst of a consultation with no tools other than perhaps a pocket calculator." This was written before personal computers but we think the term "portable" is still very apt for this type of equation. If we factor in the availability of portable computers and phones, as well as of free software and programming environments, portability comes within reach even for more advanced methods.

The term sample size is mostly synonymous with the term replication. The latter term is mainly used in reference to randomized experiments, whereas the former is used more broadly, also in reference to observational studies and surveys. In this talk, I mostly use the term sample size, but occasionally use the terms replication or replicate when the context is a designed experiment. In surveys, units in the sample are randomly selected from a well-defined parent population. In designed experiment, treatments are randomly allocated to experimental units. Random sampling in surveys and randomization in designed experiments are the prerequisites underlying all methods for statistical inference and for determining sample size.

The focus of the talk will be on basic methods for determining sample size for paired mean comparisons. This is by far the most relevant case in practice. The common theme will be that all methods available for this purpose are very closely linked and all of them can be cast in terms of a specification for the standard error of a difference (*SED*). These close links can be translated into what we have called the 1-

2-3 rule (Piepho et al. 2022). In the second part of the talk (not covered in this extended abstract), I will sketch approaches that make use of statistical packages for generalized linear mixed models and allow great versatility in terms of the kinds of study design and analysis model being used. In using these tools, the same 1-2-3 rule can be used, i.e. all specification of precision requirement can still be made in terms of an *SED*.

Comparing two means

In comparative studies and experiments the objective is usually a pairwise comparison of means. Thus, we are interested in estimating a difference $\delta = \mu_1 - \mu_2$, where μ_1 and μ_2 are the means to be compared. Here, we consider the case where the observations of both groups are independent. In this case, the variance of a difference between two sample means $\bar{y}_{1\bullet}$ and $\bar{y}_{2\bullet}$ equals $\text{var}(\bar{y}_{1\bullet} - \bar{y}_{2\bullet}) = n_1^{-1}\sigma_1^2 + n_2^{-1}\sigma_2^2$, where n_1 and n_2 are the sample sizes and σ_1^2 and σ_2^2 are the variances in the two groups. If we assume homogeneity of variance, this simplifies to $\text{var}(\bar{y}_{1\bullet} - \bar{y}_{2\bullet}) = (n_1^{-1} + n_2^{-1})\sigma^2$, where σ^2 is the common variance. Further, if the sample size is the same (n) in each group, which is the optimal allocation under homogeneity of variance, this further simplifies to $\text{var}(\bar{y}_{1\bullet} - \bar{y}_{2\bullet}) = 2n^{-1}\sigma^2$. Here, we make this assumption for simplicity. Note that the variance is just twice the variance of a sample mean. Further, we assume approximate normality of the response or sufficient sample size for the central limit theorem to ensure approximate normality of treatment means.

Precision requirement specified in terms of standard error of a difference: The

SED of two sample means equals
$$SED = \sqrt{\frac{2\sigma^2}{n}} \quad (1)$$

The equation (23) may be solved for n to yield
$$n = \frac{2\sigma^2}{SED^2} \quad (2)$$

Example: Researchers conducted a feeding experiment to assess the effect of supplemental vitamin A on the growth of Holstein heifers. There was a control group and a treatment group, both composed of 14 animals. The allocation of treatments to animals followed a completely randomized design. One of the response variables was weight gain (lb.). The pooled sample variance was $s^2 = 2199 \text{ lb.}^2$, and treatment means were in the order of 200 lb. Suppose a follow-up experiment is designed to compare the control to a new treatment with an improved formulation of the vitamin A supplementation with an *SED* of 20 lb. Setting $\sigma^2 = 2199 \text{ lb.}^2$ based on the prior experiment, the required sample size is $n = \frac{2\sigma^2}{SED^2} = \frac{2 \times 2199}{20^2} = 11$

Precision requirement specified in terms of allowable deviation of estimate of difference from its true parameter value: The sample size required per treatment to ensure with probability $1 - \alpha$ that the deviation of the estimated difference from the

true difference is no larger than τ_δ is
$$n = \frac{2\sigma^2 z_{1-\alpha/2}^2}{\tau_\delta^2} \quad (3)$$

For α is 5%, this is approximately
$$n \approx \frac{8\sigma^2}{\tau_\delta^2} \quad (4)$$

Example (cont'd): Suppose we are prepared to allow a deviation of $\tau_\delta = 20 \text{ lb.}$ Thus,

using $\sigma^2 = 2199$ we require $n \approx \frac{8\sigma^2}{\tau_\delta^2} = \frac{8 \times 2199}{20^2} = 43.98 \Rightarrow 44$

This is four times the sample size required to achieve an SED of 20 lb. The precision achieved here is $SED = 10$ lb., which is half the desired τ_δ .

Precision requirement specified in terms of allowable half width of a confidence interval for a difference: A confidence interval for δ with $(1-\alpha) \times 100\%$

coverage probability can be computed as $\bar{y}_{1\bullet} - \bar{y}_{2\bullet} \pm t_{w;1-\alpha/2} \sqrt{\frac{2s^2}{n}}$, (5)

where $t_{w;1-\alpha/2}$ is the $(1-\alpha/2) \times 100\%$ quantile of the t -distribution with $w = 2(n-1)$ degrees of freedom and s^2 is the pooled sample variance, estimating the population variance σ^2 . The exact method to determine the sample size for the confidence interval of a difference requires numerical methods as implemented in software packages. Here, we consider an approximate method. The half width of the interval is

$HW = t_{w;1-\alpha/2} \sqrt{\frac{2s^2}{n}}$. It is worth pointing out that this HW is equal to the least significant difference (LSD) for the same α as significance level, a point which we will come back to in the next section. The approximation replaces $t_{w;1-\alpha/2}$ with $z_{1-\alpha/2}$ and s^2 with

σ^2 , yielding a expected half width (EHW) of $EHW \approx z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{2\sigma^2}{n}}$, (6)

which we may also regard as the expected LSD ($ELSD$). Then solving for n yields

$n \approx \frac{2\sigma^2 z_{1-\alpha/2}^2}{EHW^2}$ (7)

This equation is seen to be equivalent to (3) when replacing τ_δ with EHW . This approximate solution will tend to yield somewhat smaller sample sizes than the exact numerical solution.

Example (cont'd): Suppose we want to achieve $EHW = 20$ lb. with $\alpha = 5\%$. This requires $n \approx \frac{2\sigma^2 z_{1-\alpha/2}^2}{EHW^2} \approx \frac{2 \times 2199 \times 2^2}{20^2} = 43.98 \Rightarrow 44$

which is the same sample size as required to achieve an allowable deviation of $\tau_\delta = 20$ lb., and also leads to $SED = 10$ lb., half the desired EHW .

Precision requirement specified in terms of difference to be detected by a t -test:

A t -test may be used to test the null hypothesis $H_0 : \delta = 0$ against the alternative

$H_A : \delta \neq 0$. The t -statistic for this test is $t = \frac{\bar{y}_{1\bullet} - \bar{y}_{2\bullet}}{\sqrt{2s^2/n}}$ (8)

This has a central t -distribution on $w = 2(n-1)$ degrees of freedom under $H_0 : \delta = 0$ and a non-central t -distribution under the alternative $H_A : \delta \neq 0$. There are two error rates to consider with a significance test, i.e. α , the probability to falsely reject H_0 when it is true, and β , the probability to erroneously accept H_0 when it is false. The complement of the latter, $1-\beta$, is the power of the test, i.e., the probability to correctly reject H_0 when it is false. To plan sample size, we need to make a choice

for the desired values of both α and β . Moreover, a prior information on the variance σ^2 is needed, as well as a specification of the smallest relevant value of the difference δ that we want to be able to detect with the test. These choices then determine the required sample size. An approximate portable approximation to the

$$\text{required sample size is obtained as } n \approx \frac{2\sigma^2(z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta})^2}{\delta^2} \quad (9)$$

where $z_{1-\alpha/2}$ is as defined before and $z_{1-\beta}$ is the $(1-\beta)\times 100\%$ quantile of the standard normal distribution.

Example (cont'd): A difference of $\delta = 20$ lb. is to be detected at $\alpha = 5\%$ with a power of 90%. This can be achieved with an approximate sample size of

$$n \approx \frac{21\sigma^2}{\delta^2} = \frac{21 \times 2199}{20^2} = 115.4 \Rightarrow 116$$

As expected, this sample size is larger still than when we required $EHW = 20$ lb. or $\tau_\delta = 20$ lb. The precision attained here is better as well, amounting to $SED \approx 6$ lb.

Summary and the 1-2-3 rule

All procedures for pairwise comparisons reviewed above involve the SED . This important fact can be exploited to convert all procedures into simple rules in terms of the choice of SED . Thus, for achieving a desired value of τ_δ , EHW or $ELSD$, we

$$\text{need to choose } SED = \frac{\tau_\delta}{z_{1-\alpha/2}} = \frac{EHW}{z_{1-\alpha/2}} = \frac{ELSD}{z_{1-\alpha/2}}. \quad (10)$$

It is also seen that in practice, the three precision measures τ_δ , EHW or $ELSD$ are exchangeable, despite differences in their derivation. For detecting a minimal effect

$$\text{size } \delta, \text{ we need to choose } SED = \frac{\delta}{z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta}} \quad (11)$$

This latter fact leads to the rule of thumb that SED should be no larger than $|\delta|/3$, corresponding to an approximate power of $1-\beta = 0.85$ at $\alpha = 5\%$ because $z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta} \approx 3$. By comparison, using $z_{1-\alpha/2} \approx 2$ for $\alpha = 5\%$ in eq. (10) yields the rule that SED should be no larger than $\tau_\delta/2 = EHW/2 = ELSD/2$. We can turn this around and first compute the SED for a given design to evaluate its precision. Then $2 \times SED$ is the allowable deviation τ_δ (EHW , $ELSD$) the design permits to control. Similarly, $3 \times SED$ is the smallest absolute difference $|\delta|$ the design can detect. Because of the divisors and multipliers involved (1 for SED itself, 2 for τ_δ , EHW or $ELSD$, and 3 for δ), we refer to this set of portable equations and rules as the *1-2-3 rule for a difference*.

Literature

Piepho, H.P., Gabriel, D., Hartung, J., Büchse, A., Grosse, M., Kurz, S., Laidig, F., Michel, V., Proctor, I., Sedlmeier, J.E., Toppel, K., Wittenburg, D. (2022): One, two, three: Portable sample size in agricultural research. *Journal of Agricultural Science* **160**, 459-482. (Note: The text for this extended abstract is excerpted from the paper above)

Virtuelle Zäune für ein nachhaltiges Weidemanagement?

D. Hamidi

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Graslandwissenschaft, Georg-August-Universität Göttingen, 37075 Göttingen, Deutschland, E-mail: dina.hamidi@uni-goettingen.de

Einleitung

Die Nutzung von Grünland durch Weidetiere ist die ursprünglichste Form der Landnutzung. Die durch den Pastoralismus entstandenen offenen Landschaften tragen zu einer weiten Bandbreite an Ökosystemleistungen bei (Dean et al., 2021). Naturnahes Grünland benötigt zu seinem Erhalt grasende Tiere, da es bei Nutzungsaufgabe zu einer fortschreitenden Verbuschung kommen würde (Queiroz et al., 2014). Die angemessene Nutzung des Grasaufwuchses ohne Über- oder Unterweidung war einfacher, bevor Hirten durch Zäune ersetzt wurden (Anderson, 2007), da die Tiere und ihre Interaktion mit der Grasnarbe von den Hirten kontinuierlich überwacht wurden. Mit den üblichen Zauntechniken ist eine optimale Weidenutzung schwierig, da die räumliche und zeitliche Kontrolle der Tiere begrenzt ist (Stevens et al., 2021). Infolgedessen führt beispielsweise Überweidung von Weideflächen (insbesondere in ariden Gebieten) zu Bodenerosion, geringerem Kohlenstoffeintrag und erhöhter Mineralisierung von organischem Kohlenstoff im Boden (Breidenbach et al., 2022). Für ein nachhaltiges Weidemanagement ist es unabdingbar, die wechselseitige Beziehung Weidetier – Grasnarbe zu berücksichtigen und durch optimale räumliche und zeitliche Allokation der Weidetiere an die Grasnarbe auf die Gegebenheiten flexibel reagieren zu können. Dies ist mit bisher genutzten Weidetechnologien nur begrenzt möglich. Der seit Jahrzehnten anhaltende Rückgang der Beweidung ist möglicherweise nicht zuletzt auf den technologischen Stillstand im Hinblick auf die verfügbare Weidetechnologie zurückzuführen. Darüber hinaus ist das Tiermonitoring auf der Weide nur begrenzt möglich aufgrund des hohen zeitlichen Aufwandes und des Fehlens adäquater technischer Lösungen, die im Stallbereich bereits selbstverständlich eingesetzt werden können. Virtuelle Zäunungshalsbänder können dazu beitragen Flächen zu bewirtschaften, die bisher nicht bewirtschaftet werden konnten (Umstatter 2011) und ermöglichen die eindeutige Identifizierung des Einzeltieres was optimal ist für einen Monitoring Ansatz. In einem 2020 durchgeführten Versuch konnten keine negativen Auswirkungen von virtuellen Zäunen auf die natürlichen Verhaltensweisen von Fleckvieh Färsen festgestellt werden (Hamidi et al., 2022) was den Weg ebnet für weitergehende Untersuchungen.

In der vorliegenden Arbeit werden (i) die Eignung von GPS-Daten der virtuellen Zäunungshalsbänder zum Tiermonitoring und (ii) der Zusammenhang zwischen aktiver Zeit auf der Weide mit drohnenbasierten Bewertungen des Grasaufwuchses auf einem Polygonraster validiert als Voraussetzungen für die Entwicklung eines nachhaltigen Weidesystems 4.0 auf Grundlage einer Rasteranalyse (GridGrazing).

Material und Methoden

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf einen im Jahr 2021 auf dem Versuchsgut der Universität Göttingen in Relliehausen (Niedersachsen) durchgeführten Rotationsweideversuch mit virtuellen Zäunen. Insgesamt 32 Fleckvieh Färsen wurden mit virtuellen Zäunungs- (VF) Halsbändern der Firma

Nofence ausgestattet und in vier Gruppen à acht Tiere unterteilt. Bei zwei Gruppen wurde die VF-funktion aktiviert während bei zwei Gruppen lediglich die GPS-Daten der VF- Halsbänder genutzt wurden, welche minütliche Informationen liefern. Jede Gruppe wurde einer 2 ha großen Fläche zugeteilt, die in vier gleichgroße Paddocks unterteilt wurde. Die Beweidungsdauer je Paddock waren 3-4 Tage. Die Zeit auf dem ersten Paddock sowie die Tage des Umtriebes wurden als Gewöhnungsperiode der Tiere an die neue Umgebung angesehen und fließen nicht in die Datenanalyse ein. Jeweils vor und nach jeder Beweidung wurden compressed sward height (CSH) - Messungen und unmanned-aerial-vehicle (UAV) Überflüge mit einer Phantom 4 Obsidian Drohne zur Bestimmung der vorhandenen Biomasse (Kalkulation der Differenz zwischen beiden Terminen je Paddock nach Hoffmeister et al. (2010)) durchgeführt. Zusätzlich wurden an 6 Tagen jeweils 2 Stunden lang Tierbeobachtungen durchgeführt. Für jede Minute wurde der Wert Liegen bzw. nicht Liegen aus den Beobachtungsdaten extrahiert. Anhand dieser Daten wurde, die durch die automatische Batteriesparfunktion der virtuellen Zäunungshalsbänder aufgenommene Liegezeit mit Hilfe einer Confusion Matrix validiert um dann als nicht mit Fressen assoziierte Zeit entfernt werden zu können. Die verbleibende aktive Zeit aller Tiere je Paddock wurde einem Polygonraster (2,5 m * 2,5 m) räumlich zugeordnet. Dasselbe Polygonraster wurde für die Berechnung der UAV-basierten Veränderungen des Futterangebotes genutzt. Mit Hilfe eines Random-Forest-Modells wurde der Zusammenhang zwischen Tier- und Grasnarbenbasierten Messungen untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Confusion Matrix zeigen eine Präzision von 92%, eine Wiedererkennung von 78% und eine Genauigkeit von 91% (insgesamt 5.270 Datenpunkte) für die Validierung der von den VF-Halsbändern erkannten Liegezeit mit Hilfe der beobachteten Liegezeit. Diese Ergebnisse sind etwas niedriger als von Accelerometern erkannte Liegezeiten in der Literatur, sowie auch aus eigenen Datenanalysen (nicht gezeigt), jedoch deutlich höher, als vergleichbare Untersuchungen mit herkömmlichen GPS-Halsbändern, wo es Schwierigkeiten gibt, Stehen von Liegen zu unterscheiden (Ungar et al., 2011). Ein zusätzlicher Vorteil der Nutzung von GPS ist die Kenntnis über den Aufenthaltsort der Tiere, was sich beispielsweise als hilfreich erweisen dürfte beim Auffinden verletzter Tiere in unübersichtlichem Gelände. Zusätzlich ist es möglich die Laufdistanzen der Tiere zu berechnen und räumliche Analysen, wie beispielsweise Absonderung von der Herde durchzuführen.

Ein signifikanter Effekt der berechneten Biomasseveränderungen (UAV) auf die Paddock-basierte, manuell ermittelte Biomasseveränderung konnte nachgewiesen werden ($F_{1, 29} = 21.3$, $p = 0.0001$). Das Modell hat einen RMSE von 47,1 und $R^2_c = 0,51$. Insgesamt ergeben sich aus den UAV Daten Biomasseveränderungen von 0.4 t DM je Paddock. Mit 14.3 kg DM je Tag und Tier erscheinen diese Werte sehr hoch. Diese müssen um die aufgenommenen Futterverluste (nicht gezeigt) um 50 % korrigiert werden, woraus sich passende Werte zu vergleichbaren Studien ergeben (Bergruber, 1977). Der visuelle Vergleich der aktiven Zeit je Rasterzelle mit den UAV-basierten Veränderungen der Biomasse über die Zeit auf dem Paddock zeigen deutlich ähnliche Muster (Abbildung 1). Die enge Beziehung Weidetier – Grasnarbe wird sichtbar in der aktiven Zeit je Rasterzelle und der Biomasseveränderung.

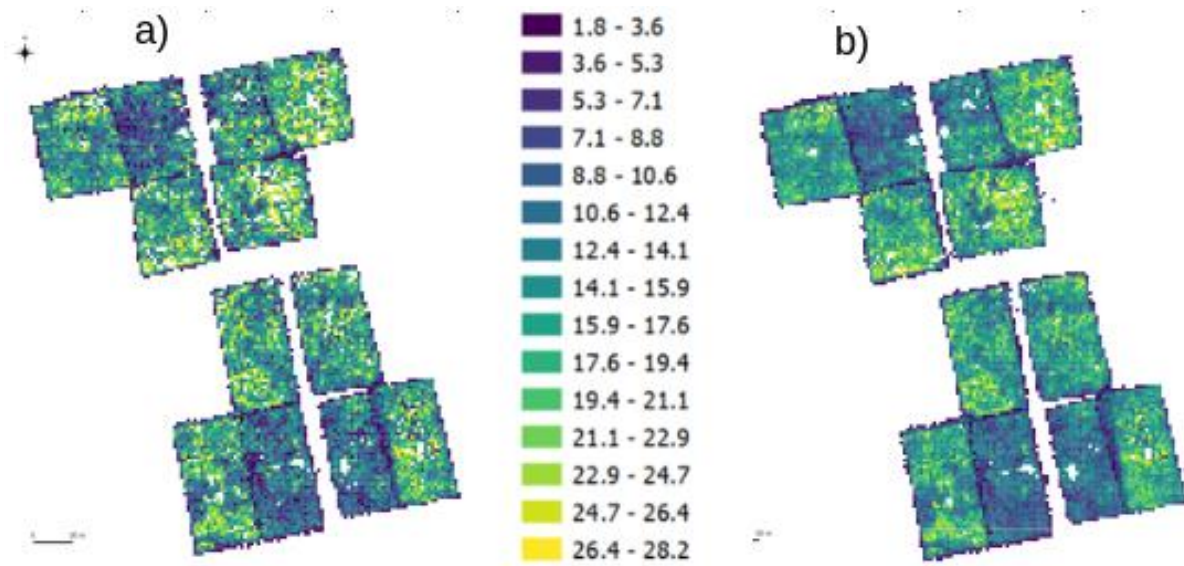


Abb. 1: a) Aktive Zeit (min.) aller Tiere je Rasterzelle (2,5m * 2,5 m) aus den GPS-Daten der virtuellen Zäunungshalsbänder. b) UAV based prediction der aktiven Zeit je Rasterzelle

Die Auswertung des Random-Forest-Modells mit den Testdaten ergibt eine RMSE von 5,59 min und ein r^2 von 0,43. Die Standardabweichungen von RMSE und r^2 betragen 0,19 min und 0,3. UAV-Daten sind nötig, um einen IST-Zustand der Weideflächen aufzunehmen. Die Entwicklungen des Futterangebotes auf der Weide kann darauf aufbauend in einem gewissen Maße *ceteris paribus* aus den Aktivitätsdaten der Tiere berechnet werden. Dieses Vorgehen würde eine deutliche Vereinfachung und Erhöhung der räumlichen Kontinuität gegenüber dem bisherigen Vorgehen bedeuten und liefert weitere Argumente für den Einsatz von VF-Halsbändern. Die Möglichkeiten zur frühzeitigen Erkennung von Bodenschadigungen durch erhöhete Tieraufenthaltszeiten sollten in hohem Maße gegeben sein.

GridGrazing, bei der die einzelne Rasterzelle für Weidenutzungsanalysen verwendet wird und eine kontinuierliche Tieruberwachung möglich ist, sollte die Basis für ein fein abgestuftes, nachhaltiges Weide- und Tiermanagement losgelöst von bodengebundenen Zaunsystemen und Futtermessungen bilden können. Tier- und Weideuberwachung sowie Zunung in den VF-Halsbändern zu vereinen um schnell und flexibel reagieren zu können, erscheint als ganzheitlicher Ansatz. Mit Hilfe der Zunungsfunktion der VF-Halsbänder könnte auf vorhergehende Analysen aufbauend beispielsweise mit der Auszunung von iberweideten Bereichen reagiert werden, aber auch die Identifizierung von verhaltensauffälligen Tieren anhand von Abweichungen zum individuellen Mittelwert sollte möglich sein.

Weitere Forschung ist notwendig, um die Anwendbarkeit der Ergebnisse dieser Studie auf praktische Weidesysteme zu untersuchen.

Literatur

- Anderson, D. M. 2007. Virtual fencing past, present and future. *Rangeland Journal* 29, 6578. doi: 10.1071/RJ06036
- Berngruber, K., 1977. Untersuchung zur Färsenmast auf Weiden unter besonderer Berücksichtigung der Futterqualität und der Futteraufnahme. Sonderdruck aus "Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch", 54.Jahrg., Heft 7/1977
- Breidenbach, A., Schleuss, P.M., Liu, S. et al., 2022. Microbial functional changes mark irreversible course of Tibetan grassland degradation. *Nature Communications* 13, 2681. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30047-7>
- G. Dean, M.G. Rivera-Ferre, Marti Rosas-Casals, F. Lopez-i-Gelats. 2021. Nature's contribution to people as a framework for examining socioecological systems: The case of pastoral systems, *Ecosystem Services*, Volume 49, 101265.
- Hamidi, D., Grinnell, N. A., Komainda, M., Riesch, F., Horn, J., Ammer, S., Traulsen, I., Palme, R., Hamidi, M., Isselstein, J., 2022. Heifers don't care: no evidence of negative impact on animal welfare of growing heifers when using virtual fences compared to physical fences for grazing. *Animal*, 16(9), 100614. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100614>.
- Hoffmeister, D., Bolten, A., Curdt, C., Waldhoff, G., Bareth, G., 2010. High-resolution Crop Surface Models (CSM) and Crop Volume Models (CVM) on field level by terrestrial laser scanning. In: Guo, H., Wang, C. (Eds.), *SPIE Proceedings of the Sixth International Symposium on Digital Earth*.
- Queiroz, C., Beilin R., Folke, C., Lindborg, R., 2014. Farmland abandonment: Threat or opportunity for biodiversity conservation? *Frontiers in Ecology and the Environment* 12: 288-296. DOI:10.1890/120348
- Stevens, D.R., Thompson, B.R., Johnson, P., Welten, B., Meenken, E., Bryant, J., 2021. Integrating Digital Technologies to Aid Grassland Productivity and Sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5, 602350. doi:10.3389/fsufs.2021.602350.
- Umstatter, C., 2011. The evolution of virtual fences: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.10.005>
- Ungar, E. D., Schoenbaum, I., Henkin, Z., Dolev, A., Yehuda, Y., Brosh, A., 2011. Inference of the Activity Timeline of Cattle Foraging on a Mediterranean Woodland Using GPS and Pedometry. *Sensors* 11, 362–383

Sustainable intensification options for the Southern Amazon, Brazil, under current and future climate conditions

Anna Hampf^{1,2}

¹ Potsdam-Institute for Climate Impact Research (PIK) e.V., Potsdam;

² Research carried out while employed at Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF) e.V., Müncheberg. E-Mail: anna.hampf@pik-potsdam.de

Introduction

The Southern Amazon is Brazil's largest domestic producer of cotton, maize and soybean, but it is also a hotspot of deforestation, accounting for ~70% of the total deforested area in the Legal Amazon. While deforestation rates declined in 2004-2012, they reached a new peak in 2022 with ~12,500km² of natural vegetation converted into pasture or cropland (INPE, 2023). Deforestation has been identified as a main driver of changes in the local climate, causing e.g. a lengthening of the dry season, increased summer temperatures and changes in the temporal and spatial distribution of rainfalls (Arvor et al., 2014; Boisier et al., 2015; Fu et al., 2013; Nobre et al., 2016). These changes in climatic conditions are in turn jeopardizing local crop production with substantial yield reductions and increased yield variability expected to occur in the next decades (Brumatti et al., 2020; Hampf et al., 2020; Justino et al., 2013; Pires et al., 2016).

One way of reconciling nature conservation and agricultural production is sustainable intensification, which aims to increase yields on existing cropland while maintaining or enhancing the environment. By estimating the difference between potential and actual crop yields, yield gap analysis can help to identify those regions with the largest sustainable intensification potential. However, yield gap estimates for the Southern Amazon are scarce, and are often limited to water and nutrient limitations. Other important biophysical factors, such as pathogens and animal pests (P&A) and the underlying socioeconomic conditions, are neglected in current yield gap analysis. In addition, predictions of future yield trajectories focus mainly on either climate change or technological development, but approaches that consider both drivers are lacking. By tackling these research gaps, the thesis aims to identify opportunities for the sustainable intensification of the Southern Amazon.

The specific objectives of this thesis are to i) quantify yield gaps due to water and nutrient limitations for individual crops and at the cropping system level, ii) assess the impact of socioeconomic constraints on farmers' crop yields, land use decisions and revenues, iii) map the spatial distribution of pathogens and animal pests and quantify related yield losses, iv) discuss the potential of deep learning technologies for yield loss reductions, v) assess the impact of climate change and technological development on the future productivity of double-cropping systems in the Southern Amazon.

Material and methods

The thesis followed an interdisciplinary and methodologically diverse approach. First, potential, water-limited and actual soybean, maize and cotton yields were simulated with the process-based MModel for Nitrogen and Carbon in Agro-ecosystems (MONICA, Nendel et al. (2011)) in response to different climatic conditions, soil types, sowing dates, crop rotation schemes and fertilisation rates. In addition to yield gaps of individual crops, biophysical yield gaps were also estimated at the cropping

system level, since soybean, maize and cotton are often grown in rotation. Second, these simulated yields were fed into an agent-based model that captures farmers' decision making. The impact of socio-economic constraints (machinery, labour, rural credit and technological innovations) on crop yields, land use and revenues were assessed in the form of a full factorial design in which each factor was set to a baseline and unconstrained level. Third, the spatial distribution of the most common P&A affecting soybean and maize production was assessed by making use of crowdsourced data collected with a smartphone application. This application uses a machine learning approach to automatically identify plant diseases and was distributed and advertised among farmer organizations during a three-month field study. Fourth, a survey was implemented in an expert version of this application to obtain location-specific yield loss estimates for a wide variety of P&A. Fifth, the impact of climate change on the productivity of double-cropping systems was simulated throughout the study area up to the year 2040, using two different high-resolution climate projections as an input. Sowing dates were determined in relation to the onset of the rainy season to explore future scenarios and to account for spatial-temporal variability in the Southern Amazon. Finally, a novel approach of forecasting technology-driven yield increases based on biophysical yield maxima (BYM) was developed to account for gains in breeding and crop management improvements.

Results and discussion

The results of this thesis indicate (objective i) that biophysical yield gaps due to water and nutrient limitations account for one-quarter of potential yields, and are particularly high among second season crops (e.g. maize and cotton), whereas soybean yield gaps are rather low (Hampf et al., 2018). Besides water and nutrient management, the temporal arrangement of crops and an appropriate choice of sowing dates were identified as effective strategies to minimise yield gaps. Simulated yield gaps at the cropping system level are lowest when late-maturing soybean cultivars are combined with maize and cotton planted at late sowing dates. This finding reinforces the importance of considering the entire cropping system, rather than single crops, in regions where multiple cropping is a common practice.

Agent-based simulations reveal (objective ii) that a removal of the most pressing socio-economic constraints contributed only slightly to a reduction of yield gaps, but leads, instead, to an expansion of cropland and a shift from food crops to cash crops. These findings emphasise the need to link socio-economic incentives to the compliance with environmental regulations (e.g. the Forest Code) or the implementation of sustainable agricultural practices. Otherwise, there is a high risk that socio-economic incentives could lead to a further conversion of natural vegetation to cropland, given the abundant land resources and low adherence to environmental regulations in the Southern Amazon.

An analysis of the large crowdsourced data (78,000 images of P&A and ~2,400 expert judgements on yield losses due to P&A) collected between November 2016 and May 2020 suggests (objective iii) that soybean and maize yield losses due to P&A are relatively low in the Southern Amazon (12% and 16%, respectively; Hampf et al., 2021). Nonetheless, these percentage yield losses translate into absolute yield losses of ~3.75 million tonnes of each soybean and maize, which corresponds to economic losses of ~2 billion US dollars per cropping season. These yield and economic losses occur despite the intensive use of pesticides in the study area (>200 million litre pesticides). Enhancing the adoption of integrated pest management

(IPM), a holistic approach to combat P&A, through targeted public policies and governmental funding agencies could help to minimise biotic yield losses while maintaining environmental quality.

The thesis also reveals (objective v) that convolutional neural networks (ConvNets) can be turned into a valuable decision-making support tool for farmers when trained on a large and verified database of P&A. The implementation of ConvNets into smartphones brings deep learning technologies into the reach of millions of farmers, who often have no access to agronomic advice or lack the financial means to access it. By providing advice on how to prevent and control P&A, such a tool can help farmers to reduce pesticide applications or substitute them with non-chemical methods, as well as to minimise associated yield losses.

Finally, crop growth simulations indicate (objective iv) that maize and cotton yields are likely to decrease by 28% and 17%, respectively, up to the year 2040, whereas soybean yields are likely to remain unchanged (*Fig. 1*) (Hampf et al., 2020). The decline in second season crop productivity can be traced to a future reduction in precipitation and increase in temperatures. In addition, the onset dates of the rainy season are likely to be delayed under future climate conditions. Opportunities to mitigate risks of climate change on crop production in the Southern Amazon include a shift from rainfed to (partially) irrigated production, the use of more drought-resistant crops and the adoption of climate-friendly and climate-resilient cropping systems, such as integrated crop-livestock-forestry systems.

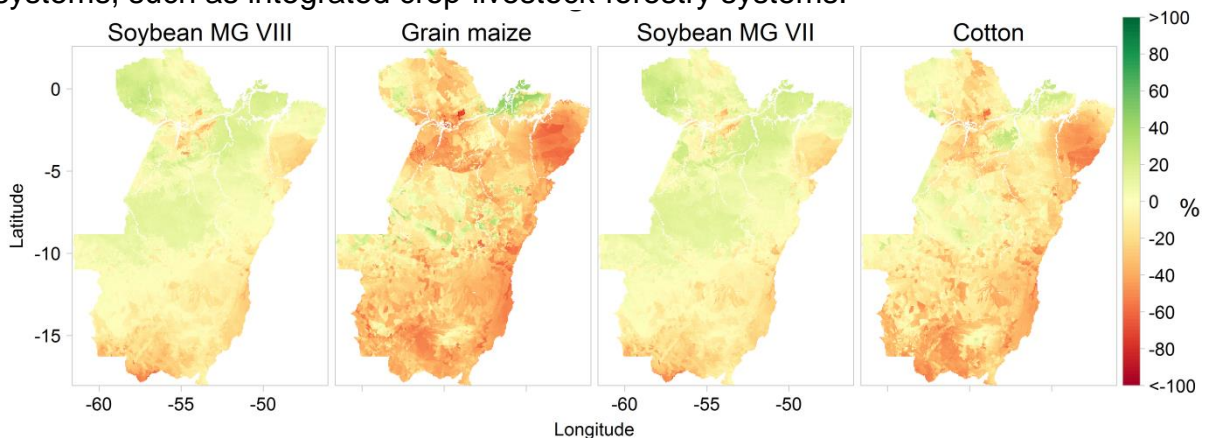


Figure 1: Simulated soybean MG VIII, grain maize, soybean MG VII and cotton yield change (%) in Mato Grosso and Pará, Brazil, due to climate change between 2015-19 and 2035-40, using WRF and STAR climate projections based on IPCC SRES A1B scenario.

Another important finding from the thesis is that the BYM of all crops is lower in the northern part of the study area than in the southern part. This finding emphasises that a further northward expansion of croplands results in lower potential yields. In addition, the northern part of the study area is still largely covered by rainforest and hence plays a key role in carbon storage and in sustaining regional climate and rainfall. The unique value of the Amazonian rainforest in terms of biodiversity and climate stands in extreme contrast to the low potential an agricultural exploitation of this area could provide.

Finally, the estimation of technology trends suggests that advances in genetics and crop management are likely to offset the negative effects of climate change by increasing soybean yields by 40% and maize and cotton yields by 68% and 59%, respectively (Hampf et al., 2020). Hence, double cropping systems in the Southern Amazon may remain viable from an agronomic perspective even under climate change scenarios. From an economic perspective, however, a simulated reduction of

gross margins of 69% up to the year 2040 compared to current levels, indicates that farmers could lose one of their most important comparative advantages, namely the possibility of harvesting two crops per season (Carauta et al., 2021).

It can be concluded from the thesis that the sustainable intensification of the Southern Amazon can only be achieved through a bundle of complementary strategies, which include an improved nutrient and water management; appropriate cultivar–sowing date choices; optimized temporal arrangement of crops in double-cropping systems; the linkage of socio-economic incentives to the compliance with environmental regulations; increased financial incentives for sustainable agricultural practices; the promotion of integrated pest management; the development and spread of deep learning technologies for the agricultural sector; and the adaptation of double cropping systems to climate change through. It is essential to accompany these measures with effective control mechanisms of legal and illegal deforestation through actions such as an enforcement of the Brazilian legal framework for forest protection and voluntary zero-deforestation commitments from the private sector. Together, these strategies can help to preserve the Amazon as an important supplier of food products for a growing world population (SDG 2), a unique biodiversity hotspot (SDG 15) and an important vegetative carbon sink to mitigate climate change (SDG 13).

References

- Arvor, D., Dubreuil, V., Ronchail, J., Simões, M., & Funatsu, B. M. (2014). Spatial patterns of rainfall regimes related to levels of double cropping agriculture systems in Mato Grosso (Brazil). *International Journal of Climatology*, *34*(8), 2622-2633. doi:10.1002/joc.3863
- Boisier, J. P., Ciais, P., Ducharme, A., & Guimberteau, M. (2015). Projected strengthening of Amazonian dry season by constrained climate model simulations. *Nature Climate Change*, *5*(7), 656-660. doi:10.1038/nclimate2658
- Brumatti, L. M., Pires, G. F., & Santos, A. B. (2020). Challenges to the Adaptation of Double Cropping Agricultural Systems in Brazil under Changes in Climate and Land Cover. *Atmosphere*, *11*(12). doi:10.3390/atmos11121310
- Carauta, M., Parussis, J., Hampf, A., Libera, A., & Berger, T. (2021). No more double cropping in Mato Grosso, Brazil? Evaluating the potential impact of climate change on the profitability of farm systems. *Agricultural Systems*, *190*. doi:10.1016/j.agsy.2021.103104
- Fu, R., Yin, L., Li, W., Arias, P. A., Dickinson, R. E., Huang, L., . . . Myneni, R. B. (2013). Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *110*(45), 18110-18115. doi:10.1073/pnas.1302584110
- Hampf, A. C., Carauta, M., Latynskiy, E., Libera, A. A. D., Monteiro, L., Sentelhas, P., . . . Nendel, C. (2018). The biophysical and socio-economic dimension of yield gaps in the southern Amazon – A bio-economic modelling approach. *Agricultural Systems*, *165*, 1-13. doi:10.1016/j.agsy.2018.05.009
- Hampf, A. C., Nendel, C., Strey, S., & Strey, R. (2021). Biotic yield losses in the Southern Amazon, Brazil: Making use of smartphone-assisted plant disease diagnosis data. *Front. Plant Sci. - Technical Advances in Plant Science*. doi:10.3389/fpls.2021.621168
- Hampf, A. C., Stella, T., Berg-Mohnicke, M., Kawohl, T., Kilian, M., & Nendel, C. (2020). Future yields of double-cropping systems in the Southern Amazon, Brazil, under climate change and technological development. *Agricultural Systems*, *177*. doi:10.1016/j.agsy.2019.102707
- INPE. (2020). *PRODES Taxas anuais de desmatamento na Amazonia Legal - 1988 até 2022*. Retrieved from: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>
- Justino, F., Oliveira, E. C., Rodrigues, R. d. Á., Gonçalves, P. H. L., Souza, P. J. O. P., Stordal, F., . . . Costa, L. C. (2013). Mean and Interannual Variability of Maize and Soybean in Brazil under Global Warming Conditions. *American Journal of Climate Change*, *02*(04), 237-253. doi:10.4236/ajcc.2013.24024
- Nendel, C., Berg, M., Kersebaum, K. C., Mirschel, W., Specka, X., Wegehenkel, M., . . . Wieland, R. (2011). The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling*, *222*(9), 1614-1625. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.02.018
- Nobre, C. A., Sampaio, G., Borma, L. S., Castilla-Rubio, J. C., Silva, J. S., & Cardoso, M. (2016). Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *113*(39), 10759-10768. doi:10.1073/pnas.1605516113
- Pires, G. F., Abrahão, G. M., Brumatti, L. M., Oliveira, L. J. C., Costa, M. H., Liddicoat, S., . . . Ladle, R. J. (2016). Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, *228-229*, 286-298. doi:10.1016/j.agrformet.2016.07.005

Sensor- und satellitengestützte Analyse der räumlichen Variabilität von Boden- und Pflanzenparametern sowie Konsequenzen für die pflanzenbauliche Nutzung

Martin Mittermayer

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-Straße 2, 85354 Freising. E-mail: martin.mittermayer@tum.de

Einleitung

Ackerbaulich genutzte Böden zeigen je nach Standort eine mehr oder weniger große Variabilität von Bodeneigenschaften wie beispielsweise der Bodentextur oder der Wasser- und Nährstoffspeicherefähigkeit. Mit den kleinräumig wechselnden Bodeneigenschaften variieren die Ertragspotenziale, die Biomasse- und Ertragsbildung sowie die N-Aufnahme von Pflanzenbeständen in Ackerflächen (Mittermayer et al. 2021).

In dieser Arbeit werden Ergebnisse der Anwendung verschiedener digitaler Systeme zur räumlich hoch auflösenden Erfassung der Pflanzenparameter Ertrag und N-Entzug parallel und im Vergleich zu ground-truth-Daten dargestellt, um die Eignung, Genauigkeit, den Fehlerbereich der Systeme unter wechselnden Bedingungen systematisch zu untersuchen. Zur Aufklärung der Ursachen der Ertragsvariabilität werden zahlreiche Bodenparameter (z.B. C_{org} - und N_t -Gehalte) teilflächenspezifisch analysiert. Auf dieser Datengrundlage werden teilflächenspezifische Stickstoffbilanzen berechnet. Die berechneten Stickstoffsalden werden zu gemessenen Nitratvorräten (in Bodenprofilen bis zu 3 Meter Tiefe) in Beziehung gesetzt.

Die Forschungsarbeiten sollen ein besseres Verständnis über die bodenbedingten Ursachen der räumlichen Variabilität der Erträge, N-Entzüge und N-Salden ermöglichen. Anhand der Untersuchungsergebnisse werden Relevanz, Aufwand und Nutzen der teilflächenspezifischen N-Bilanzierung bewertet und Schlussfolgerungen zu den Anwendungsgebieten im Pflanzenbau gezogen.

Material und Methoden

Als Untersuchungsobjekte wurden 18 Ackerschläge in unterschiedlichen Boden-Klimaräumen Süddeutschlands ausgewählt, die sich hinsichtlich der Schlaggröße, der Bodeneigenschaften (z.B. Bodentextur und Wasserspeicherefähigkeit), den klimatischen Bedingungen und der langjährigen Nutzung (Fruchtfolge, organische und/oder mineralische Düngung) unterscheiden. Beispielhaft werden Ergebnisse eines Ackerschlagel dargestellt. Zur Aufklärung und Interpretation von Ursachen der räumlich differenzierten Erträge und N-Entzüge wurden georeferenzierte Humus-, Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalte sowie der pH-Wert und die Bodentextur genutzt. Es wurden teilflächenspezifische N-Bilanzen auf Basis unterschiedlicher Eingangsdaten, Methoden und Technologien berechnet: (a) traktormontierte Sensormessung, Vegetationsindices und Ertrags- und N-Entzugs-Algorithmen, (b) Satellitendaten und Modell PROMET und (c) digitale Mährescherertragsaufnahme. Um die in unterschiedlicher Auflösung und Anzahl ermittelten Eingangsdaten auswerten und in Beziehung setzen zu können, wurde das geostatistische Interpolationsverfahren Kriging genutzt. Die Daten wurden auf Raster gleicher

Auflösung (10 m x 10 m) und mit gleichen Rasterelementen übertragen (Oliver und Webster 2015).

Anschließend wurden die Beziehungen zwischen den Pflanzen-, Boden- und Stickstoffparametern durch Korrelationsanalysen untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Auf allen 18 Untersuchungsflächen wurde eine hohe räumliche Variabilität der Erträge, N-Entzüge, N-Salden und Nitratvorräte im Boden festgestellt. Mit der teilflächenspezifischen N-Bilanzierung wurden Zonen mit hohem N-Verlustpotenzial (N-Salden bis über 100 kg ha⁻¹) identifiziert, auch wenn im Schlagmittel die N-Bilanzen nahezu ausgeglichen waren (0-20 kg ha⁻¹) (Mittermayer et al. 2022).

Durch die Anwendung digitaler Technologien können N-Verlustpotenziale auf Teilflächen aufgedeckt werden, die bei schlageinheitlicher N-Bilanzierung verdeckt bleiben. Beispielhaft ist der 5,1 ha große Ackerschlag „Pöschelfeld“ in der Untersuchungsregion Burghausen (Boden-Klimaraum „Bayerisches Voralpenland“) dargestellt (Abb. 1 und 2, Tab. 1). Beim Vergleich zwischen den ground-truth-Daten (bestimmt durch Biomasseschnitte auf georeferenzierten Testflächen) und den digitalen Systemen wurde mit dem traktormontierten Multispektralsensor und Algorithmen die höchsten Korrelationen ermittelt (bis zu $r = 0,67$).

Tab. 1: Korrelationsmatrix (r) basierend auf die 10 x 10 m Raster (Beispielschlag Pöschelfeld)

r	Ertrag (Satellit)	C_{org}	N_t	Nitrat 0-2.5 m	Nitrat 1-2.5 m
Ertrag (Satellit)	1	0.74	0.63	-0.36	-0.36
Ertrag (Sensor)	0.39	0.72	0.62	-0.65	-0.49
N-Saldo (Sensor)	-0.39	-0.70	-0.62	0.65	0.49
C_{org}			0.94	-0.71	-0.60

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff im Boden ist auf allen Untersuchungsschlägen eng miteinander korreliert (bis zu $r = 0,97$) und am stärksten positiv mit dem Ertrag und N-Entzug (bis zu $r = 0,74$) und negativ mit dem N-Saldo (bis zu $r = -0,70$) korreliert (Tab. 1). Bei dem Vergleich zwischen den digitalen Systemen wurden zwischen den sensor- und satellitengestützten Methoden die engsten Beziehungen gefunden. Die gemessenen Nitratgehalte im Boden (bestimmt mit Tiefbohrungen) stehen in enger Beziehung zu den berechneten N-Salden (Schuster et al. 2022).

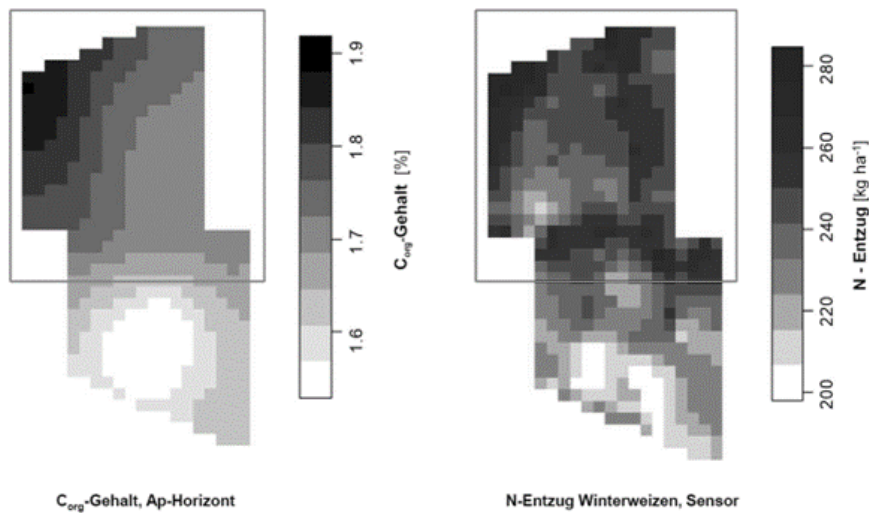


Abb. 1: Räumliche Variabilität der C_{org}-Gehalte und des N-Entzugs (ermittelt mit Sensordaten und Algorithmen) auf dem Beispielschlag Pöschelfeld

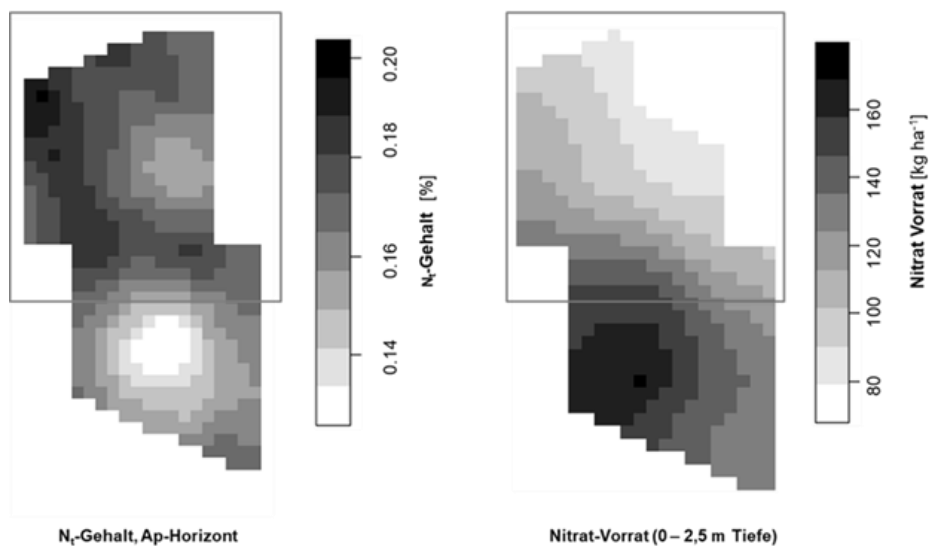


Abb. 2: Räumliche Variabilität der N_t-Gehalte und der Nitratvorräte bis zu 2,5 m Tiefe (ermittelt mit Tiefbohrungen) auf dem Beispielschlag Pöschelfeld

Bei der Berechnung der N-Bilanzen ist die genaue Erfassung der räumlichen Variabilität sowie der absoluten Höhe der Erträge und der N-Aufnahme entscheidend. Die Ergebnisse zeigen, dass alle angewandten digitalen Methoden (Mähdrescher-Ertrags Erfassung, traktormontierter Multispektralsensor, Satellitendaten, Vegetationsindices, Modell) ähnliche Verteilungsmuster (Hoch- und Niedrigertragszonen) ermitteln, jedoch z.T. deutlich abweichende Erträge, N-Entzüge und N-Salden (Mittelwerte und Spannweite) berechnen. Bei der Bestimmung des Ertrags und der N-Entzüge erreichten nur der traktormontierte multispektrale Sensor in Verbindung mit den Algorithmen Ergebnisse, die nahe an den gemessenen ground-truth-Daten lagen. Die Verbesserung der Genauigkeit und Präzision der digitalen Systeme ist daher dringend notwendig. Zudem müssen die Gründe für die Abweichungen weiter aufgeklärt werden. Die sensor- und satellitengestützte Analyse

der räumlichen Variabilität von Pflanzenparametern sowie die darauf basierende teilflächenspezifische Stickstoffbilanzierung ist in der landwirtschaftlichen Praxis noch nicht verfügbar. Der nächste Entwicklungsschritt ist die Weiterentwicklung der Systeme bis zur Praxisreife sowie die Skalierung von der Teilfläche über die Schlag- und Betriebsebene bis zu Trinkwassereinzugsgebieten. Damit können für größere Regionen pflanzenbauliche Maßnahmen und Strategien gezielter abgeleitet werden, die zur wirksamen Minderung von Nitratverlusten führen.

Für die digitale Analyse von Boden- und Pflanzenparametern sowie teilflächenspezifische N-Bilanzierung zeichnen sich verschiedene Anwendungsgebiete ab:

- teilflächenspezifische Düngung unter Beachtung von Ertragszonen,
- Extensivierung und Umwandlung von Ackerland in Grünland, Anlage von Pufferstreifen auf besonders auswaschungsgefährdeten Teilflächen, z.B. in Trinkwassereinzugsgebieten,
- Aufteilung von heterogenen Ackerflächen in homogene Teilflächen und Managementzonen.

In Zukunft können mit dem Einsatz digitaler Systeme (z.B. mit dem VERIS P4000) räumliche variable Nährstoffgehalte auf Ackerflächen schnell und kostengünstig georeferenziert ermittelt werden und Düngungsmaßnahmen dem teilflächenspezifischen Ertragspotenzial und der Nährstoffversorgung angepasst und durchgeführt werden. Zudem können weitere pflanzenbaulich relevante Parameter, auch physikalische Bodenparameter wie beispielweise die Bodenschadverdichtung digital erfasst werden, um Managementmaßnahmen (z.B. Bodenbearbeitung) entsprechend anzupassen.

Literatur

- Mittermayer, Martin; Gilg, August; Maidl, Franz-Xaver; Nätscher, Ludwig; Hülsbergen, Kurt-Jürgen (2021): Site-specific nitrogen balances based on spatially variable soil and plant properties. In: Precision Agriculture. DOI: 10.1007/s11119-021-09789-9.
- Mittermayer, Martin; Maidl, Franz-Xaver; Nätscher, Ludwig; Hülsbergen, Kurt-Jürgen (2022): Analysis of site-specific N balances in heterogeneous croplands using digital methods. In: European Journal of Agronomy 133, S. 126442. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126442.
- Oliver, Margaret A.; Webster, Richard. (2015): Basic steps in geostatistics: The variogram and kriging. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; Imprint; Springer (SpringerBriefs in Agriculture).
- Schuster, Johannes; Mittermayer, Martin; Maidl, Franz-Xaver; Nätscher, Ludwig; Hülsbergen, Kurt-Jürgen (2022): Spatial variability of soil properties, nitrogen balance and nitrate leaching using digital methods on heterogeneous arable fields in southern Germany. In: Precision Agriculture. DOI: 10.1007/s11119-022-09967-3.

Crop forecasts as support tool for adapting crop N management to a changing climate in Austria

Marlene Palka¹, Josef Eitzinger² and Ahmad M. Manschadi¹

¹Institute of Agronomy, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna; ²Institute of Meteorology and Climatology, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna.
E-Mail: marlene.palka@boku.ac.at

Introduction

While agricultural production is among the main drivers of anthropogenic climate change, projected effects of climate change and climate variability increase the pressure to provide food in sufficient quantity and quality at the same time (IPCC, 2022). Shifts in agroclimatic zones in Central Europe have led to severe consequences for crop production potential and risk due to increasing adverse weather conditions (Eitzinger *et al.*, 2013). Despite this, current crop management practices are largely based on empirical approaches representing “average seasons” under “average price and market conditions”. These “average” management practices have been relatively successful in the past. But especially nitrogen (N)-fertilisation practices, that account for climate change and seasonally variable weather, crop growth, yield, and N-requirements only inadequately, cause both severe damage to the environment (Cameron *et al.*, 2013) and put farm revenue at risk. Developing sound management strategies that respond to increased climate variability and rapidly changing socio-economic conditions are therefore crucially important for improving the economic and ecological sustainability of cropping systems in the future.

Forecasts of crop yield and development have been promoted as a promising means to facilitate such a targeted investment of agronomic resources, representing crop growth and demand for inputs as predicted for the upcoming growing season (Klemm and McPherson, 2017; Schauburger *et al.*, 2020). Traditionally, such crop forecasts were based on climatological records to generate predictions of the upcoming season. Evidence that future growing conditions will deviate from historic averages, and the advent and continuous improvement of seasonal weather forecasting methods, give reason to move to crop forecasts that use long-term weather forecasts instead.

Therefore, the aim of this study was (i) to develop a crop forecasting approach using seasonal weather forecasts that provides support for in-season N-management at field level, and (ii) quantify the operational potential of this forecast-based N-management approach for winter wheat production in Eastern Austria.

Material and Methods

The crop forecasts of this study were created using the process-based SSM-iCrop-Wheat model (Soltani and Sinclair, 2012). iCrop simulates crop development in response to temperature and photoperiod. Daily biomass production is calculated based on light interception and radiation use efficiency, considering growth reductions due to sub-optimal temperatures, water stress and N-deficit. Yield is simulated based on a harvest index approach using biomass accumulation during crop growth allocated to the grain. iCrop also accounts for feedbacks among soil, crop, management, and atmospheric processes. This study focused on forecasts of key variables relevant for in-season N-management: (i) phenological stages of stem

elongation, booting, and anthesis (PHEN); (ii) above-ground dry weight (WTOP) and grain yield (GRNY); (iii) total N-uptake (CNUP); and (iv) plant-available soil water (PASW) and mineral N-content (NSOL).

These key variables were forecasted through monthly iCrop runs using observed daily weather data (minimum and maximum temperature (°C), rainfall (mm), and global radiation (MJ m⁻²)) from sowing until the last day of the previous month, and forecasted weather data from ECMWF's SEAS5 seasonal ensemble weather forecasting system (Johnson et al., 2019) from then until harvest. SEAS5 output was downscaled to a 1 km grid through the INCA system (Haiden et al., 2011), and provided daily forecasts of up to 7 months lead time.

To first evaluate performance and skill, crop forecasting results were compared to an extensive simulation dataset based on three winter wheat field experiments covering a wide range of genotype x environment x management combinations. The evaluation experiments were conducted during three consecutive growing seasons from 2017 until 2020 in Tulln, Austria (lat. 48.31 long. 16.05) with four cultivars of winter wheat (Arnold, Aurelius, Bernstein, Emilio) grown at four levels of N (N_{Amount} , 0, 70, 140, and 210 kg N ha⁻¹). Collected data included phenology, leaf area index, WTOP, CNUP, PASW, and NSOL and GRNY at sowing and harvest (Manschadi *et al.*, 2022).

In the subsequent seasons from 2020 until 2022, three on-farm experiments were conducted across Eastern Austria (lat. 48.60, long. 16.11; lat. 48.61, long. 16.10; lat. 48.04, long. 16.95). Experimental fields were divided into two treatments: (i) FARM, where N_{Amount} was applied according to common farm practice, and (ii) Crop forecast (CROF), where N_{Amount} was applied such that forecasted mean CROF GRNY and protein content meet FARM levels, but forecasted CROF economic return to N (ERN, Eq. 1) was increased through a reduction of N_{Amount} compared to FARM. According to Dobermann (2007), ERN was defined as:

$$ERN = \frac{REV}{N_{Amount}} \quad (1)$$

and can be improved by either increasing revenue (REV) through higher yields and/or grain protein content or by reducing N_{Amount} . Calculations of CROF N_{Amount} were based on site-specific crop forecast considering previous management measures. Each experimental field was treated as a complete block. Significant differences in RTN were tested through an ANOVA model, including block and treatment as fixed effects.

Results and Discussion

Compared to the evaluation dataset, the crop forecasts of showed a very high performance of less than $\pm 10\%$ forecasting error for PHEN, WTOP, GRNY, and CNUP. Further, as forecasts of shorter lead time included longer periods of observed weather data and lower weather forecasting error, the performance of crop forecasts improved with decreasing lead time. Including downscaled SEAS5 forecasts into crop forecasts resulted in significantly higher skill ($p < 0.05$) compared to using climatological records for the upcoming season, independent from forecast performance. This was especially true, when in-season growing conditions deviated from the climatological average and when initial soil conditions at sowing were less

favourable, while ample NSOL and PASW came with the ability to buffer less favourable growing conditions (Palka et al., under review).

Figure 1 shows the performance and skill of WTOP. Full-season forecasts (FSF) included downscaled SEAS5 forecasts only, which resulted in significantly higher skill in 2019/20, where not only in-season growing conditions differed from the average, but also soil initial conditions were characterised by a very low PASW and NSOL content at sowing. Short-season forecasts (SSF) forecasts included both downscaled SEAS5 forecasts and climatological records and proved skilful even in 2017/18, a season that was characterised by favourable initial soil average in-season growing conditions.

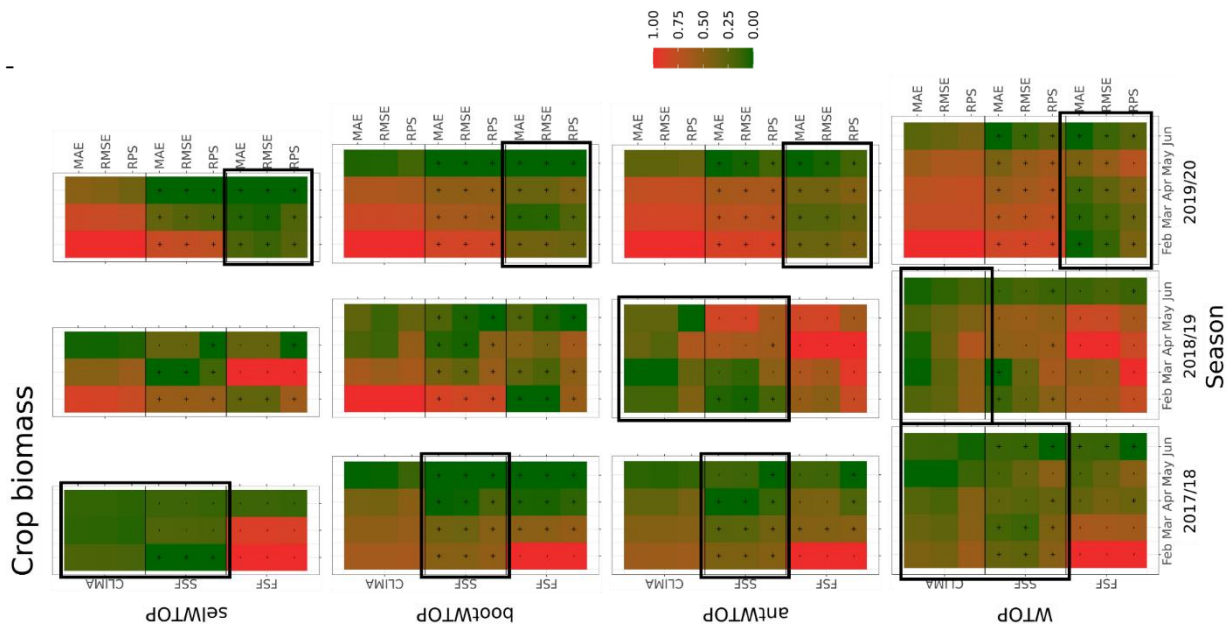


Figure 1: Crop forecast performance for predicting total above-ground dry weight (WTOP, g m^{-2}) of winter wheat at stem elongation (selWTOP), booting (bootWTOP), anthesis (antWTOP), and WTOP at harvest. Normalised values of mean absolute error (MAE), root mean squared error (RMSE) and the ranked probability score (RPS) range from 1 to 0. +/- signs indicate positive/negative forecast skill of short-seasonal (SSF) or full-seasonal (FSF) forecasts compared to climatological forecasts (CLIMA).

Results of the on-farm experiments also showed a high performance of crop forecasts with $R^2 > 0.90$ over the entire growing season of all three blocks. Predictions of PHEN (RMSE= 3.51 Zadok stages, Figure 2a) were required for a precise timing of N-fertilisation, while predictions of WTOP (RMSE= 118.01 g m^{-2} , Figure 2b) and CNUP (RMSE= 1.77 g m^{-2} , Figure 2c) were required to adjust N_{amount} for CROF. CROF treatment resulted in a significantly ($p < 0.05$) higher nRTN of 2.20 € kgN^{-1} , equivalent to +30.22% compared to FARM, while nREV was not significantly different (Table 1).

While maintaining farm revenue, in-season N-management supported by crop forecasts could therefore improve the economic and ecological sustainability of winter wheat cropping systems in Eastern Austria at the same time. iCrop was extensively parameterised and tested against comprehensive field datasets in the target wheat production region. For extrapolating the results of this study to other production environments, iCrop (or any other crop model used) needs to be adapted and parameterised to local conditions.

The inclusion of downscaled seasonal ensemble weather forecasts into crop forecasts proved significantly skilful for seasons where growing conditions deviated from historic averages. Given that due to climate change and increased climate

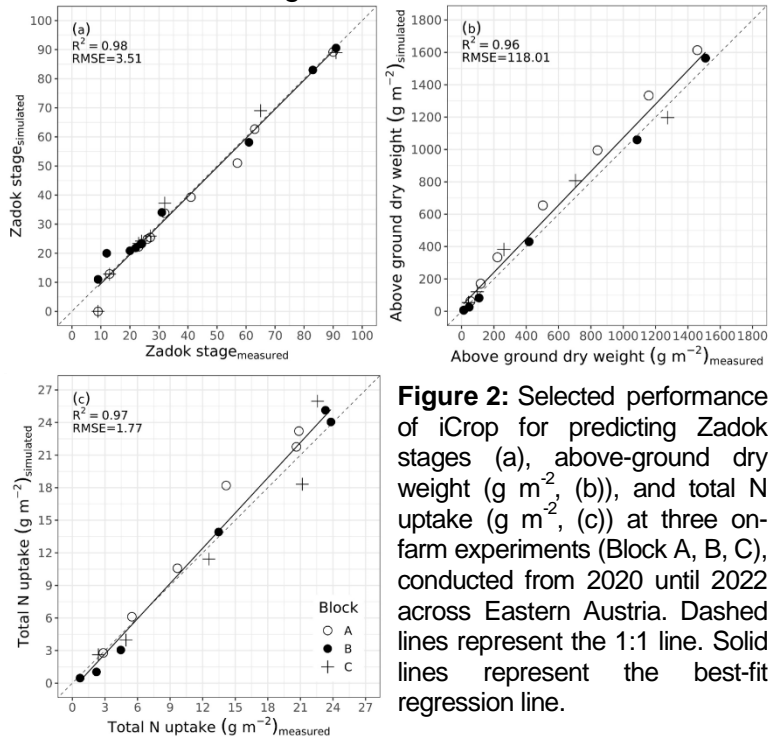


Figure 2: Selected performance of iCrop for predicting Zadok stages (a), above-ground dry weight (g m^{-2} , (b)), and total N uptake (g m^{-2} , (c)) at three on-farm experiments (Block A, B, C), conducted from 2020 until 2022 across Eastern Austria. Dashed lines represent the 1:1 line. Solid lines represent the best-fit regression line.

variability, the frequency of such seasons is increasing, the value of using in-season crop forecasts to support crop management adaptation is expected to further increase in the future.

Table 1: Revenue (REV) and economic return to N (ERN) of on-farm experiments, fertilised according to farm practice (FARM) and crop forecasts (CROF). Lower case letters indicate significant differences of treatments ($p < 0.05$).

	REV (€ ha ⁻¹)	ERN (€ kgN ⁻¹)
FARM	1331.06 ^a (± 333.65)	7.55 ^a (± 2.42)
CROF	1316.67 ^a (± 353.39)	9.98 ^b (± 3.67)

Literatur

- Cameron, K.C. *et al.*, 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. *Annals of Applied Biology* 162, 145-173.
- Dobermann, A., 2007. Nutrient use efficiency - measurement and management.
- Eitzinger, J. *et al.*, 2013. Sensitivities of crop models to extreme weather conditions during flowering period demonstrated for maize and winter wheat in Austria. *Journal of Agricultural Science* 151, 813-835.
- Haiden, T. *et al.* 2011. The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) System and Its Validation over the Eastern Alpine Region. *Weather and Forecasting* 26, 166-183.
- IPCC, 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Lösschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama, B. (Eds.), Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Johnson, S.J. *et al.*, 2019. SEAS5: the new ECMWF seasonal forecast system. *Geosci. Model Dev.* 12, 1087-1117.
- Klemm, T., McPherson, R.A., 2017. The development of seasonal climate forecasting for agricultural producers. *Agricultural and Forest Meteorology* 232, 384-399.
- Manschadi, A.M. *et al.*, 2022. Performance of the SSM-iCrop model for predicting growth and nitrogen dynamics in winter wheat. *European Journal of Agronomy* 135.
- Palka, M. *et al.*, under review. Assessing the performance and skill of in-season crop forecasts for winter wheat management.
- Schauberger, B. *et al.*, 2020. A systematic review of local to regional yield forecasting approaches and frequently used data resources. *European Journal of Agronomy* 120.
- Soltani, A., Sinclair, T.R., 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. *Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield*, 1-322

Harnessing the Untapped Potential of Underutilized Bioactive Forages for Methane Reduction in Animal Production

Supriya Verma^{1,*}, Siegfried Wolfram², Juha-Pekka Salminen³, Friedhelm Taube^{1,4}
and Carsten Stefan Malisch⁵

¹Grass and Forage Science/Organic Agriculture, Kiel University (CAU), 24118 Kiel, Germany; ²Institute of Animal Nutrition and Physiology, Kiel University (CAU), 24118 Kiel, Germany; ³Natural Chemistry Research Group, University of Turku, Vatselankatu 2, FI-20014 Turku, Finland; ⁴Grass Based Dairy Systems, Wageningen University (WUR), 6705 Wageningen, The Netherlands; ⁵Department of Agroecology, Danish Institute of Agricultural Sciences, P.O. Box 50, DK-8830 Tjele, Denmark

E-Mail: sverma@gfo.uni-kiel.de

Introduction

Globally, agriculture sector is estimated to contribute approximately 19 to 29% of total anthropogenic greenhouse gas emissions and if the emissions continue to rise at the current rate there will be at least 0.7 degree more warming by 2100, even if fossil fuel emissions are drastically reduced (Ryschawy, Lemaire et al. 2018). There has been a strong emphasis on development and implementation of methane (CH₄) reduction strategies from livestock sector which amounts to around 37 percent of global CH₄ emissions (Lee, Calvin et al. 2023). Bioactive forages containing tannins have been found to not only reduce CH₄ production but also to improve protein utilisation in ruminants and incur anthelmintic effects, benefiting both animal health and productivity (Naumann, Tedeschi et al. 2017). Despite the, high interest in the bioactivity of these underutilised forages, very little is known about the variability across different species and cultivars as well as their mechanisms of action in the digestive tract of ruminants (Mueller-Harvey 2006). Furthermore, comprehending the structure-activity relationship of tannins is crucial for their on-farm exploitation as they have been known to vary widely in terms of tannin concentration as well as composition across different forage species as well as within their cultivars (Mueller-Harvey 2006, Verma, Taube et al. 2021). The main goal of this work was to provide unique insights into the dynamics of flavonoids and tannin distribution the selected forages, and on their inter- and intraspecies diversity at different plant phenological stages. Simultaneously, to identify how variation in tannin compositions and structural features can influence the antimethanogenic potential of these bioactive forages.

Materials and Methods

We selected 17 cultivars of eight different forage species and these species were, sainfoin (*Onobrychis viciifolia*), birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*), white clover (*Trifolium repens*), big trefoil (*Lotus pedunculatus*), sulla (*Hedysarum corynarium*), ribwort plantain (*Plantago Lanceolata*), salad burnet (*Sanguisorba minor*) and chicory (*Cichorium intybus*). Each of the species had minimum of two cultivars, and lucerne (*Medicago sativa*) was used as tannin-free negative control. The plants were grown under controlled and identical greenhouse conditions and harvested thrice at different phenological stages i.e. flowering stage (1st harvest) and vegetative stage (2nd and 3rd harvest). Harvested plants were separated into different plant organs and the leaves were subsequently analysed for their tannin and polyphenolic profile using UPLC-MS/MS according to Verma, Salminen et al. (2021) and Engström, Päljjarvi et al. (2014). The leaf samples from the first and second harvest were then analysed

further via in vitro Hohenheim gas test to measure gas production parameters (Menke 1988). Additionally, to determine the specific tannin effect on gas production (GP) and CH₄ production, polyethylene glycol treatment (PEG) was included as described in Verma, Wolfram et al. (2022). Each sample was incubated with (-PEG) and without PEG (+PEG) to test the specific effect of tannins present in the sample as PEG is a potent tannin binding agent and it allowed the quantification of CH₄ production from the sample in the absence of tannins.

Results and Discussion

The present study assessed the composition of different polyphenolic subunits in the eight agronomically promising temperate forage species. We found high interspecies variability in terms of the polyphenolic subunits including different flavonoids, tannins, and phenolic acids (Figure 1). Based on the analysis, the forage species were

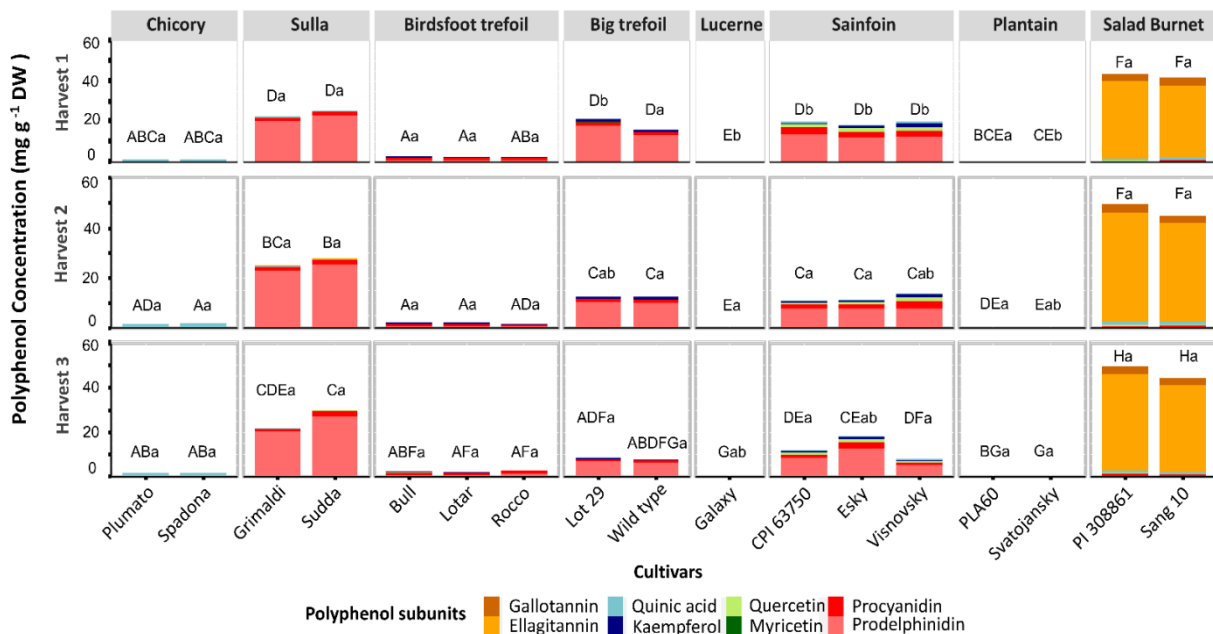


Figure 1. Features responsible for PA bioactivity across different harvests and species. Means followed by different uppercase letters represent significant differences ($P < 0.05$) between the cultivars for each harvest, and different lowercase letters represent the significant differences within the harvests for each cultivar

categorised as (i) PA containing species comprising sulla, birdsfoot trefoil, big trefoil, and sainfoin; (ii) HT-rich species i.e. salad burnet, and (iii) low or non-tannin containing species such as chicory, plantain and lucerne. The study also illustrated the high variability in the structural features of condensed tannin (CT) containing species. However, as seen for tannin and polyphenol concentration, the variation in CT structural features within the cultivar of the same species was lower than variation across the different species. The cultivars of sulla and big trefoil were found to comprise mainly prodelphinidin (PD) subunits and had higher mean degree of polymerisation (mDP) followed by sainfoin and birdsfoot trefoil cultivars (Verma, Salminen et al. 2021). Furthermore, the effect of harvests was more prominent on CT concentration than CT structural features in these forages. In addition to the concentration, CT structural features are known to be determining factors for a forage's antimethanogenic potential and their anthelmintic properties (Mueller-Harvey

2006). This stability of structural features across different harvests is promising, as it provides an important ground and opportunity for the breeders to target specific CT structural features to achieve desired bioactivity in the tannin containing forages. In the next step, these forage species and their cultivars were tested for their antimethanogenic potential. Furthermore, to determine the variation in their antimethanogenic activity at different phenological stages, the leaf samples from two harvests (first harvest: flowering stage, second harvest: vegetative stage) were analysed (Figure 2).

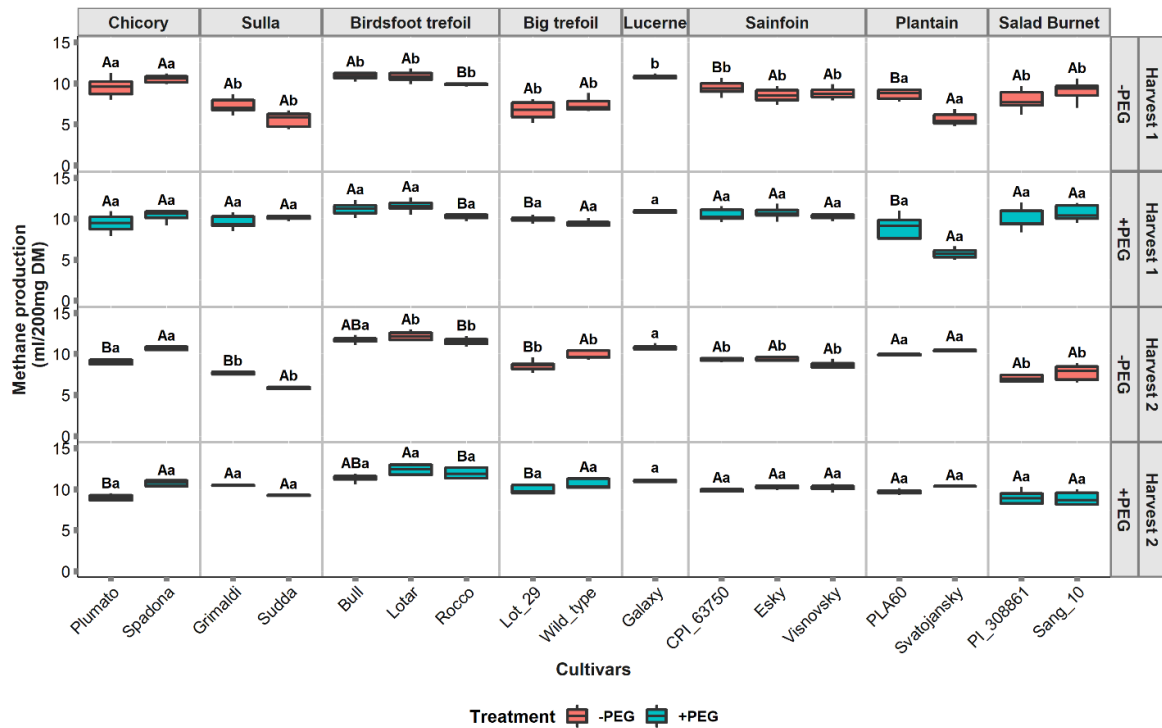


Figure 2 Methane production from 17 cultivars of 8 species under different treatments for two harvests. -PEG indicates the samples incubated without polyethylene glycol (PEG) and + PEG refers to the samples incubated with PEG. Different uppercase letters represent significant differences ($P < 0.05$) between the cultivars for each species, and different lowercase letters represent the significant differences within the treatments for each cultivar

In general, CH_4 reduction was observed from all the selected forages up to 48% relative to lucerne which comprised no tannins and a reduction of up to 44% was observed compared the forages in the presence of PEG (deactivated tannins). It was found that the species varied widely in terms of their forage quality and plant metabolite composition, and this had a significant influence on their antimethanogenic activity. The largest reductions in CH_4 were observed from tannin rich forages, sulla, big trefoil, sainfoin and salad burnet, in comparison with lucerne. Chicory and ribwort plantain, the species containing low flavanol content and no tannins, reduced CH_4 production by around 12% and 48% respectively. Furthermore, differences in the cultivars from the same species in terms of their antimethanogenic activity was much lower than the variation across the species as seen for their polyphenolic profile. In order to assess which parameters, affect these variations in the bioactivity of these forages, the forage quality parameters, measured content of polyphenolic subunits and tannin structural features were included in the model as potential predictors. Polymer size of CTs was found to be one of the main factors

which influences both CH₄ and gas production (GP), and they were found to be negatively associated. It has to be noted that from all the tannin containing forages, a concomitant reduction in GP (proxy for forage digestibility) with the CH₄ reduction was observed, indicating their negative effect on digestibility. Contrary to that, forbs such as chicory and ribwort plantain reduced CH₄ by up to 27%, without negatively affecting digestibility and were found to be the most promising alternatives from the forages which were screened in our study. Additionally, their high nutritional value and persistence in grazing systems, even under challenging conditions makes them an ideal candidate for inclusion in grassland-based dairy systems.

Conclusion

Our research shows that tannins can vary significantly in their structures, even within the same plant species or variety which can result in varying bioactivities in biological systems. Follow up studies are required to improve the understanding of structure-activity relationship of tannins which is crucial for optimizing their utilization in animal nutrition. By manipulating tannin structures through plant breeding, processing techniques, or dietary formulations, it may be possible to enhance their positive effects, such as reducing CH₄ emissions, improving gut health, and optimizing nutrient utilization in animal diets.

References

- Engström, M. T., M. Päljjarvi, C. Frygas, J. H. Grabber, I. Mueller-Harvey and J.-P. Salminen (2014). "Rapid Qualitative and Quantitative Analyses of Proanthocyanidin Oligomers and Polymers by UPLC-MS/MS." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(15): 3390-3399.
- Lee, H., K. Calvin, D. Dasgupta, G. Krinner, A. Mukherji, P. Thorne, C. Trisos, J. Romero, P. Aldunce and K. Barrett (2023). "AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023." Summary for Policymakers.
- Menke, K. H. (1988). "Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid." *Animal research and development* 28: 7-55.
- Mueller-Harvey, I. (2006). "Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(13): 2010-2037.
- Naumann, H. D., L. O. Tedeschi, W. E. Zeller and N. F. Huntley (2017). "The role of condensed tannins in ruminant animal production: advances, limitations and future directions." *Revista Brasileira de Zootecnia* 46: 929-949.
- Ryschawy, J., G. Lemaire, P. De Faccio Carvalho and F. Gastal (2018). Agricultural intensification and diversity for reconciling production and environment: the role of integrated crop–livestock systems.
- Verma, S., J.-P. Salminen, F. Taube and C. S. Malisch (2021). "Large Inter- and Intraspecies Variability of Polyphenols and Proanthocyanidins in Eight Temperate Forage Species Indicates Potential for Their Exploitation as Nutraceuticals." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- Verma, S., F. Taube and C. S. Malisch (2021). "Examining the Variables Leading to Apparent Incongruity between Antimethanogenic Potential of Tannins and Their Observed Effects in Ruminants—A Review." *Sustainability* 13(5): 2743.
- Verma, S., S. Wolfram, J.-P. Salminen, M. Hasler, A. Susenbeth, R. Blank, F. Taube, C. Kluß and C. S. Malisch (2022). "Linking metabolites in eight bioactive forage species to their in vitro methane reduction potential across several cultivars and harvests." *Scientific Reports* 12(1): 10454.

Long-term trends in yield variance of temperate managed grassland

Janna Macholdt¹ and Hans-Peter Piepho²

¹Department of Agronomy and Organic Farming, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Halle;

²Biostatistics Unit, Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart.

E-Mail: janna.macholdt@landw.uni-halle.de; piepho@uni-hohenheim.de

Introduction

The management of climate-resilient grassland systems is important for stable livestock fodder production. In the face of climate change, maintaining productivity while minimizing yield variance of grassland systems is increasingly challenging. To achieve climate-resilient and stable productivity of grasslands, a better understanding of the climatic drivers of long-term trends in yield variance and its dependence on agronomic inputs is required.

Material and Methods

Based on the Park Grass Experiment at Rothamsted (UK), we report for the first time the long-term trends in yield variance of grassland (1965–2018) in plots given different fertilizer and lime applications, with contrasting productivity and plant species diversity. We implemented a statistical model that allowed yield variance to be determined independently of yield level. Environmental abiotic covariates were included in a novel criss-cross regression approach to determine climatic drivers of yield variance and its dependence on agronomic management.

Results and Discussion

Our findings highlight that sufficient liming and moderate fertilization can reduce yield variance, while maintaining productivity and limiting loss of plant species diversity. Plots receiving the highest rate of nitrogen fertilizer or farmyard manure had the highest yield but were also more responsive to environmental variability and had less plant species diversity. We identified the days of water stress from March to October and temperature from July to August as the two main climatic drivers, explaining approximately one-third of the observed yield variance. These drivers helped explain consistent unimodal trends in yield variance—with a peak in approximately 1995, after which variance declined. Here, for the first time, we provide a novel statistical framework and a unique long-term dataset for understanding the trends in yield variance of managed grassland. The application of the criss-cross regression approach in other long-term agro-ecological trials could help identify climatic drivers of production risk and to derive agronomic strategies for improving the climate resilience of cropping systems.

Literature

Macholdt, J., Hadasch, S., Macdonald, A., Perryman, S., Piepho, H.-P., Scott, T., Styczen, M. E., Storkey, J. (2023) Long-term trends in yield variance of temperate managed grassland. *Agronomy for Sustainable Development* 43, 37. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00885-w>

Auswirkungen der Grünlanderneuerung auf Ertrag und Kohlenstoffspeicherung - Experiment und Modellierung

Iris Vogeler^{1,2}, Friedhelm Taube^{1,3}, Christof Kluß¹ und Ralf Loges¹

¹Grass Forage Science/Organic Agriculture, Christian Albrechts University, 24118 Kiel, Germany

²Department of Agroecology, Aarhus University, 8830 Tjele, Denmark

³Department of Grass and Forage Science/Organic Agriculture, Wageningen University, The Netherlands

E-Mail: ivogeler@gfo.uni-kiel.de

Einleitung

Neben der Bereitstellung von Futtermitteln für die Tierhaltung stellt Dauergrünland wichtige Ökosystemdienstleistungen bereit, darunter eine wesentliche Kohlenstoffsенke in Böden und damit verbundene Vorteile für die Wasser- und Nährstoffnutzung (Magdoff and Van Es, 2000), sowie reduzierte Umwelt-Fußabdrücke der Milch (Schönbach et al., 2012; Vellinga et al., 2011). Um die Produktivität und Qualität des Grünlands zu erhalten oder zu steigern, wird das intensiv bewirtschaftete Grünland häufig alle 5 bis 10 Jahre erneuert (Velthof et al., 2010). Dem steht jedoch kurzfristig eine verringerte Biomasseproduktion nach der Grünlanderneuerung gegenüber, die zusammen mit einer erhöhten Bodenatmung zu einem vorübergehenden Rückgang der Kohlenstoffvorräte im Boden (Reinsch et al., 2018), sowie zu einer erhöhten Mineralisierung von organischem Stickstoff (N) im Boden führt.

Material und Methoden

Um die Auswirkungen der Grünlanderneuerung auf die Biomasseproduktion und die Veränderungen der Kohlenstoffvorräte im Boden zu quantifizieren, wurde 1995 auf dem Versuchsgut Lindhof der CAU Kiel (54°27'54.4"N 9°57'57.6"E) ein Grünland - Langzeitversuch mit einer Gräsermischung, dominiert von Deutschem Weidelgras und Weißklee angelegt. Das Grünland wurde in der Regel viermal pro Jahr geschnitten. Die Behandlungen umfassten 7x zeitlich versetzt systematische Grünland-erneuerungen, um so die Effekte der Erneuerung auf Ertragsleistung und Kohlenstoffmengen im Boden unter wechselnden Umweltbedingungen abzubilden. Die Neuansaat erfolgte jeweils nach Pflugeinsatz nach 10 (2005) bis 24 Jahren (2019), mit und ohne Zugabe von Gülle (240 kg N ha⁻¹ pro Jahr) sowie eine Kontrolle ohne Grünlanderneuerung. Die Messergebnisse zur Ertragsbildung und zur C-Freisetzung aus dem Boden bzw. C-Sequestrierung im Boden dienten als Basis für die Simulation mit dem Grasland - Modell APSIM (Vogeler and Cichota, 2015), um die langfristigen Auswirkungen einer Grünlanderneuerung auf die Biomasseproduktion und die Veränderungen des organischen Kohlenstoffs im Boden vorherzusagen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Jahreserträge zeigen generell kurzfristig einen Rückgang nach der Grünlanderneuerung, was auf eine kürzere Wachstumsperiode (Ausfall des vierten Schnittes) und die verzögerte Entwicklung einer dichten Grasnarbe und eines leistungsfähigen Wurzelsystems zurückzuführen ist. Um eine standardisierte Bewertung der Effekte der Grünlanderneuerung zu ermöglichen, wurden die Jahreserträge unter Verwendung der Kontrollvariante ungestörtes Dauergrünlands

(uDG) als Basiswert normalisiert und als Jahre nach der Erneuerung dargestellt (Abb. 1). Nach anfänglichem Einbruch von etwa 15% ohne-, und 10% mit Gülledüngung im ersten Jahr nach der Erneuerung steigen die jährlichen relativen Erträge bis zu einem Maximum nach etwa 3 Jahren im Vergleich zum uDG. Ohne Gülledüngung bleiben die Jahreserträge unter denen von uDG. Im Gegensatz dazu sind die Jahreserträge mit Gülledüngung 2 bis 3 Jahre nach der Erneuerung leicht erhöht (bis zu 3,3 %) und gleichen sich danach den Erträgen von uDG an.

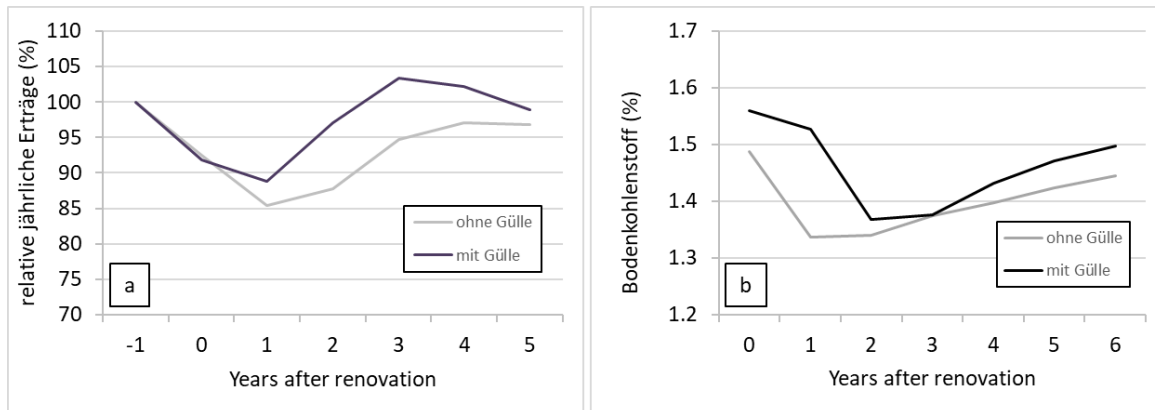


Abb. 1. Durchschnittliche a) relative jährliche Trockenmasseerträge (Kontrolle ungestörtes Dauergrünland als Ausgangsbasis) und b) Bodenkohlenstoffgehalte (%) für das in verschiedenen Jahren erneuerte Grünland, entweder ohne oder mit Ausbringung von Rindergülle entsprechend 240 kg N ha^{-1} .

Um die Ergebnisse mit dem APSIM Modell widerzuspiegeln, mussten verschiedene Modell-Parameter angepasst werden, unter anderem eine erhöhte Abbaurrate der organischen Substanz. Weiterhin simulierte die in Neuseeland aus experimentellen Daten abgeleitete aktuelle APSIM-Version ein zu schnelles Wachstum des Bestandes nach Umbruch und Neueinsaat. Mit Hilfe moderaten Parameteranpassungen werden überzeugende Simulationen zur Ertragsbildung und zur Bodenkohlenstoffdynamik von Grünlandbeständen mit und ohne Bodenbearbeitung/Neuansaat gewährleistet.

Literatur

- Magdoff, F., and Van Es, H. (2000). "Building soils for better crops." Sustainable Agriculture Network Beltsville.
- Reinsch, T., Loges, R., Kluß, C., and Taube, F. (2018). Effect of grassland ploughing and reseedling on CO₂ emissions and soil carbon stocks. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265, 374-383.
- Schönbach, P., Biegemann, T., Kämper, M., Loges, R., and Taube, F. (2012). Product carbon footprint milk from pasture—and from confinement-based dairy farming. *Grassland—a European Resource?*, 571.
- Vellinga, T.V., de Haan, M.H.A., Schils, R.L.M., Evers, A., van den Pol–van Dasselaar, A. (2011). Implementation of GHG mitigation on intensive dairy farms: Farmers' preferences and variation in cost effectiveness. *Livestock Science* 137, 185-195.
- Vogeler, I., Cichota, R., 2015. Deriving Seasonally Optimal Nitrogen Fertilisation Rates for a Ryegrass Pasture based on APSIM modelling with a refined AgPasture Model. *Grass and Forage Science*, 71, 353–365.

Bewegungsmuster und selektives Fressverhalten von ungehüteten Schafen und mögliche Konsequenzen für die botanische Zusammensetzung und die Nachhaltigkeit der Weidenutzung auf Alpweiden in Nord-Italien

Maria Wild^{1,2}, Matthias Gauly³, Thomas Zanon³, Johannes Isselstein^{1,2}
und Martin Komainda¹

¹Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Graslandwissenschaft; ²Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung (CBL), Göttingen; ³Freie Universität Bozen, Fakultät für Agrar-, Umwelt- und Lebensmittelwissenschaften, Italien. E-Mail: maria.wild@uni-goettingen.de

Einleitung

Die extensive Beweidung durch Wiederkäuer erfüllt in Bergregionen zahlreiche gesellschaftliche und ökologische Funktionen (Bätzing 2021). Für die Umsetzung standortangepasster Beweidungssysteme zum Erhalt der Artenvielfalt und der Flächenproduktivität sind umfangreiche Kenntnisse über das Weideverhalten der Tiere und potenzielle Zusammenhänge mit der Vegetation essenziell. Ebenfalls ist die Gewährleistung einer adäquaten Nährstoffversorgung der Tiere über den Sommer für den Erhalt dieser Bewirtschaftungsform wichtig. Der Einsatz von GPS-Sendern ist ein bewährtes Mittel, um die Entscheidungsfindung von Weidetieren in Zusammenspiel mit den ihnen zur Verfügung stehenden Ressourcen besser zu verstehen (Hamidi et al. 2021). Das Verhalten der Tiere unterliegt einer Reihe von Einflüssen (Guggenberger et al. 2014) und hat seinerseits das Potenzial, die botanische Zusammensetzung der Flächen zu verändern (Stadler & Wiemer 1999). Ziel dieser Studie war es daher, Einflüsse auf das Weideverhalten ungehüteter Schafe sowie potenzielle Auswirkungen dieser auf die Artenzusammensetzung herauszuarbeiten und darüber hinaus eine Einschätzung der Energiebilanz der Tiere vorzunehmen.

Material und Methoden

Die Studie wurde im Sommer 2022 im Langtaufers Tal (Südtirol, Italien) durchgeführt. Die rund 3.350 ha großen Alpweiden liegen auf einer Höhe von 2200–3000 m ü.d.M. Im Jahr 2022 beweideten rund 900 Schafe die Fläche ohne Hütung oder Einzäunung über eine Dauer von 133 Tagen. Mithilfe von GPS-Sendern wurden die Bewegungsdaten von vier zufällig ausgewählten Schafen vom 01.06. - 31.08. aufgezeichnet und der Effekt des Monats und der Tageszeit auf die von den Schafen genutzte Höhe getestet. Zusätzlich wurden Korrelationen zwischen Standort der Tiere (Höhe) und Wetterparametern berechnet. Für die Beurteilung der Vegetation wurden in jedem der drei Monate mehrere sogenannte Hotspots definiert ($n = 19$), welche von einer vorher festgelegten Schafgruppe wiederholt zum Gras aufgesucht wurden. An jedem Hotspot wurde entlang eines 100 m langen Transekts in einem 1-m Abstand die botanische Zusammensetzung mittels Dry-Weight-Ranking (DWR) bestimmt (Smith & Despain 1991) sowie die Phänologie und der Zustand der Vegetation ermittelt. Im Juli und August (n Transekte = 13) wurde zusätzlich jeder Aufnahmepunkt als befressen oder nicht befressen („Bereich“) klassifiziert. Ökologische Indikatorwerte (Landolt 2010) wurden ebenfalls nach DWR gewichtet berechnet. Anschließend wurde mithilfe von gemischten linearen Modellen der Einfluss des Monats und des Bereichs auf die erfassten Vegetations-Parameter analysiert. Der Energiegehalt des aufgenommenen Futters wurde mittels Kotproben ($n=30$) nach Schmidt et al. (1999) geschätzt und auf den Effekt des Monats getestet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Schafe bewegten sich auf einer durchschnittlichen Höhe von 2654 m ü.d.M., wobei die Höhe über den Sommer signifikant zunahm (Abb. 1 a). Eine mögliche Erklärung liefert die verzögerte Entwicklung der Pflanzen in höheren Lagen (Gruber et al. 1998), welcher die Schafe aufgrund ihrer Präferenz für junges Futter in frühen Entwicklungsstadien folgen. Daneben suchten die Schafe, mutmaßlich aufgrund des fehlenden Schattenangebots, bei steigenden Lufttemperaturen signifikant höher gelegene Gebiete auf ($r=0,41$ $p<.0001$), in denen die Insektenbelastung geringer sein könnte sowie kühlere Luft und Wind den fehlenden Sonnenschutz teilweise kompensieren. Die Vegetationsuntersuchungen offenbarten ein deutliches Selektionsverhalten der Schafe, wobei *Nardus stricta* als insgesamt dominanteste Art gemieden und *Poa alpina* präferiert wurde (Abb. 1 b). Insgesamt selektierten die Schafe offenbar Futterpflanzen mit hohen Nährstoffgehalten und guter Verdaulichkeit.

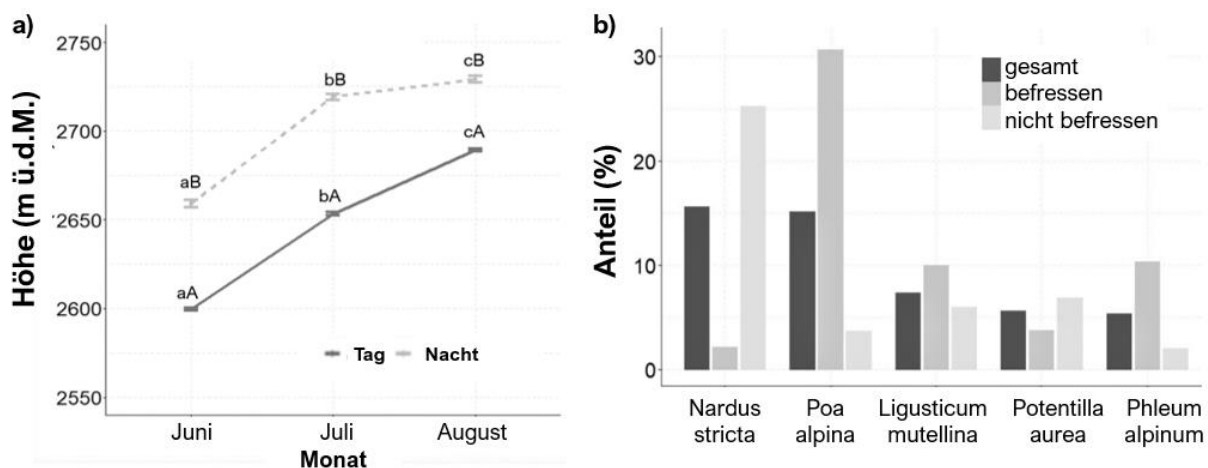


Abb. 1: a) Mittlere von den Schafen aufgesuchte Höhe (m ü.d.M., Mittelwert \pm SE) je Monat und Tageszeit. Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Monaten innerhalb der Tageszeit, und Großbuchstaben zwischen den Tageszeiten innerhalb des Monats. **b)** Mittlere Anteile (%) der fünf dominantesten Pflanzenarten an der gesamten Vegetation sowie an befressenen und nicht befressenen Bereichen.

Die mittlere Verdaulichkeit (73,3%) und der mittlere Energiegehalt (10,36 MJ ME/kg TM) des aufgenommenen Futters nahmen über den Sommer signifikant ab, befanden sich aber insgesamt auf einem höheren Niveau als bisherige Schätzungen für entsprechende Standorte vermuten ließen (Zanon et al. 2022). Laut Berechnungen der vorliegenden Studie können die Schafe ihren Energiebedarf von rund 26 MJ ME/Tag bei einer täglichen TM-Aufnahme von 2,5 kg über die beobachtete gezielte Selektion größtenteils decken, wobei jedoch insbesondere im Spätsommer vermutlich eine Unterversorgung besteht.

Eine gerichtete Weideführung könnte die unerwünschten und von den Schafen gemiedenen Borstgras-Bestände gezielt eindämmen und gleichzeitig eine potenzielle Übernutzung sensibler Pionierstandorte sowie eine mögliche Verschiebung von alpinen Pflanzengesellschaften an häufig frequentierten Hotspots verhindern (Stadler & Wiemer 1999; Cislighi et al. 2019). Gleichzeitig könnte sich daraus allerdings eine ungünstigere Energieversorgung der Tiere ergeben.

Literatur

Literatur wird auf Anfrage gestellt.

Nachwirkungen von historischem Grünland auf Humusgehalte und Ertrag von Ackerschlägen in Süddeutschland

Johannes Schuster, Ludwig Hagn, Martin Mittermayer und Kurt-Jürgen Hülsbergen

Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökolandbau und Pflanzenbausysteme, Freising;
E-Mail: johannes.schuster@tum.de

Einleitung

Dauergrünland liefert Ökosystemleistungen wie Erosionsminderung, Biodiversität und kulturelle Aspekte und ist Kohlenstoffsенке. In Dauergrünlandböden sind höhere C_{org} Gehalte messbar als in Ackerböden. In Dauerfeldversuchen wurden nach Jahrzehnten des Landnutzungswechsel noch keine neuen Fließgleichgewichte erreicht (Oberholzer et al. 2014). Die Landnutzung ist daher einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf C_{org} Gehalte in Böden (Mayer et al. 2019). C_{org} hat eine wichtige Funktion für das Ertragspotential von Ackerböden (Schuster et al. 2022). Nichtsdestotrotz wird in Deutschland nach wie vor Grünland zu Ackerland umgewandelt. Digitale Methoden bieten neue Möglichkeiten die Effekte von Dauergrünland auch in der Praxis zu untersuchen. Dazu wurden relative Biomasse Potential Karten (mehrjährige Satellitenkarten) mit interpolierten C_{org} Karten und der Reichsbodenschätzung von 8 Ackerschlägen verglichen. Zusätzlich wurden auf weiteren Untersuchungsschlägen zonenbasiert in „historischen Grünland Zonen“ (h_{GL}) und „historischen Ackerlandzonen“ (h_{CI}) C_{org} Gehalte gemessen und die Bodenart bestimmt. Ziel der Untersuchung war es 1) Kenntnisse über die C Sequestrierung durch Grünland auf Praxisschlägen zu gewinnen und 2) Kenntnisse über die Ursache-Wirkungs Zusammenhänge zwischen C_{org} und dem Ertrag zu erhalten.

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden im Raum Burghausen in Süddeutschland durchgeführt (Temperatur 8,9 °C, Niederschlag 890 mm). Die Untersuchungsschläge waren einheitlich bewirtschaftete Ackerschläge, die zu Zeiten der Reichsbodenschätzung teilweise Grünland waren (Grünlandumbruch zwischen 1980 und 1990). Die h_{GL} sind in unterschiedlichen Schlagarealen zu finden (Kollumvium, Hangschulter, Ebene). In vielen Fällen grenzt sie an die Hofstelle (Weide, Obstgarten).

Das Pflanzenwachstum auf den Schlägen wurde mit relativen Biomasse Potential Karten (relBMPmap) bewertet. Diese bilden die mittlere relative Verteilung des Vegetationsindex NDVI (Indikator überirdische Biomasse) in der Vegetationszeit (März – Oktober) in den Jahren 2016 bis 2021 in einem 10 x 10 m Raster ab. Zur Erstellung von C_{org} Karten wurden auf 8 Untersuchungsschlägen 10 georeferenzierte C_{org} Bodenproben in 0-30 cm generiert (homogenisierte Mischprobe aus 8 Einstichen in Umkreis von 50 cm um einen Punkt). Im Labor wurde mit dem C/N Analyser der organische bestimmt. Die Verteilung der Beprobungspunkte in den Schlägen war systematisch zufällig. Mit dem Program R Studio wurden die Messwerte geostatistisch (Ordinary kriging) in dasselbe 10 x 10 m Raster wie die Satellitendaten transferiert. Anschließend wurden mit den relBMPmaps und den C_{org} Karten Korrelationsanalysen durchgeführt. Zusätzlich wurden auf 14 weiteren Schlägen paarweise Vergleiche zwischen h_{GL} und h_{CI} durchgeführt. Die zonenbasierten Bodenproben wurden analog den flächigen Bodenproben generiert um den C_{org}

Gehalt zu bestimmen. Zusätzlich wurde mit der Fingerprobe nach VDLUFA die Bodenart bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Korrelationen zwischen relBMPmap und gekrigten C_{org} Karten lag auf den 8 Schlägen zwischen $r = 0,43$ und $r = 0,79$. Auch im optischen Vergleich mit der Reichbodenschätzung ist ein Zusammenhang mit den relBMPmaps (Ertrag) und den C_{org} Karten (Humus) erkennbar (Abl.1). Der mittlere C_{org} Gehalt aller Messungen in h_{GL} lag bei 1,81 % ($n = 97$), in h_{CL} bei 1,52 % ($n = 220$).

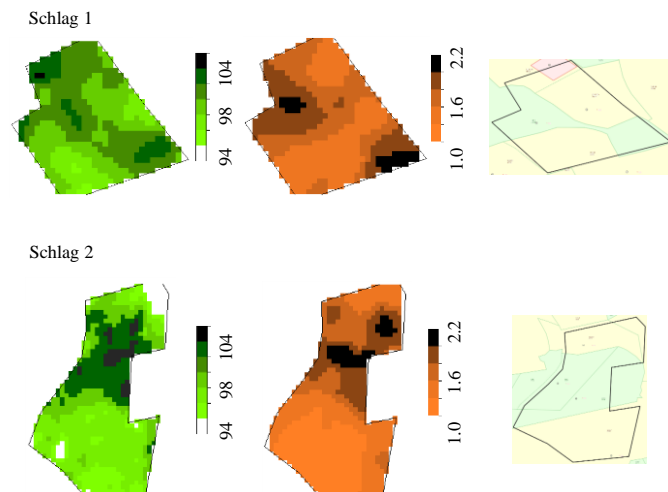


Abb. 1: RelBMP maps links (relativ), C_{org} Karten mitte (% C_{org}) und Reichbodenschätzung rechts von zwei Untersuchungsschlägen im Vergleich.

Auch bei den zonebasierten Beprobungen zeigten sich eindeutige Ergebnisse. Jeder paarweise Vergleich unter 14 Schlägen zeigte höhere C_{org} Gehalte in den h_{GL} (Abl. 2). Im Mittel lag der C_{org} Gehalt in h_{GL} bei 1,92 % in Vergleich zu 1,39% in h_{CL} . Bei der Bodenartbestimmung

mit der Fingerprobe waren jedoch kaum Unterschiede erkennbar. Alle Proben wurden in die Bodenart schluffiger Lehm (uL) eingeordnet.

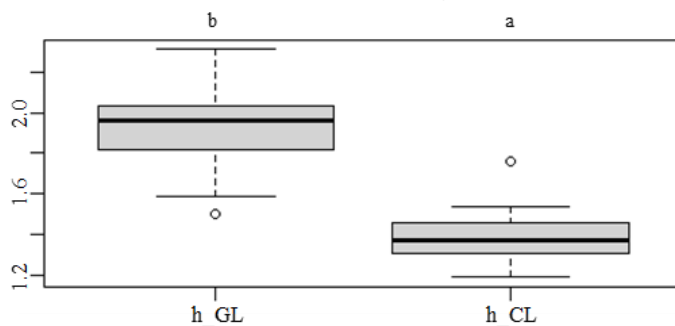


Abb. 2: Boxplots der C_{org} Gehalte in h_{GL} und h_{CL} . Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede

Die Ergebnisse zeigen, dass nach Jahrzehnten des Umbruchs von Grünland trotz homogener Bodenart, Topographie und Hydromorphie höhere C_{org} Gehalte in h_{GL} messbar sind.

Dies indiziert die Dauerhaftigkeit der C-Sequestrierung und den Managementeinfluss auf C_{org} Gehalte von Böden. Die starken Zusammenhänge zwischen relBMPmap und C_{org} Karten zeigen die Bedeutung des Humusgehaltes für den Ertrag.

Literatur

- Mayer, Stefanie; Kühnel, Anna; Burmeister, Johannes; Kögel-Knabner, Ingrid; Wiesmeier, Martin (2019): Controlling factors of organic carbon stocks in agricultural topsoils and subsoils of Bavaria. In: Soil and Tillage Research 192, S. 22–32. DOI: 10.1016/j.still.2019.04.021.
- Oberholzer, Hans Rudolf; Leifeld, Jens; Mayer, Jochen (2014): Changes in soil carbon and crop yield over 60 years in the Zurich Organic Fertilization Experiment, following land-use change from grassland to cropland. In: J. Plant Nutr. Soil Sci. 177 (5), S. 696–704. DOI: 10.1002/jpln.201300385.
- Schuster, Johannes; Mittermayer, Martin; Maidl, Franz-Xaver; Nätscher, Ludwig; Hülsbergen, Kurt-Jürgen (2022): Spatial variability of soil properties, nitrogen balance and nitrate leaching using digital methods on heterogeneous arable fields in southern Germany. In: Precision Agric, S. 1–30. DOI: 10.1007/s11119-022-09967-3.

Agroforst: Wurzelwachstum und Regenwurmaktivität in einem Alley-Cropping-System aus Weiden im Kurzumtrieb und Grünland

Lena Voßkuhl^{1,2*}, Janne Bartsch^{1,2}, Michel Müller^{1,2}, Wanda Burzik¹, Rüdiger Graß² und Miriam Athmann¹

¹Universität Kassel, Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen, E-Mail: l.vosskuhl@uni-kassel.de

²Universität Kassel, Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen

Einleitung

Als multifunktionale Systeme können Agroforstsysteme (AFS) ökologische und ökonomische Ökosystemleistungen fördern. Von besonderem Interesse bei der Bewertung von AFS ist die Entwicklungsdynamik der land- und forstwirtschaftlichen Kulturen sowohl ober- als auch unterirdisch. In diesem Beitrag werden dazu Wurzelverteilungen und Regenwurmabundanzen in einem AFS vorgestellt.

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden in einem im März 2011 auf einer pseudovergleyten Braunerde mit Übergängen zum Pseudogley angelegten Agroforstsystem in Reiffenhausen, Landkreis Göttingen, in Südniedersachsen durchgeführt (Graß et al. 2020). Das Alley-Cropping-System bestand bis zum Untersuchungszeitpunkt 2021 aus alternierenden 80 m langen und 7 m breiten Streifen von Weiden ((*Salix viminalis* x *Salix Schwerinii*) x *Salix viminalis* = Züchtung Tora x Z. Ulv) und 9 m breiten Grünlandstreifen (Dt. Weidelgras – *Lolium perenne* L. und Weißklee – *Trifolium repens* L.) in dreifacher Wiederholung. Die Gehölze der KUP befanden sich zum Zeitpunkt der Probenahmen in der 4. Rotation mit letztmaliger Ernte im Februar 2021.

Das Wurzelwachstum wurde in drei Versuchspartzellen erhoben. Dazu wurden im Herbst 2021 jeweils 7 m lange und 1 m tiefe Gruben gegraben. Diese lagen 2 m in dem Baumstreifen und 5 m in der Grünlandfläche. Die Freilegung der Wurzeln basierte auf der Profilwandmethode nach Böhm (1979). Die freigelegten Wurzeln wurden digital fotografiert und die Bestimmung der Wurzellängendichte (Länge Wurzeln in cm/ cm³ Boden) erfolgte mithilfe der Software RootPainter (Smith et al. 2022).

Die Austreibung der Regenwürmer erfolgte elektrisch (Thielemann 1986) an je drei Punkten (im Grünland, im KUP-Streifen und im Grenzbereich zum Baumstreifen) in den drei Versuchspartzellen.

Ergebnisse und Diskussion

Eine differenzierte Auswertung des Gradienten vom Weidenstreifen ins Grünland ergab die höchsten Wurzellängendichten insgesamt im Grünlandstreifen nah an den Gehölzen sowie die geringste Durchwurzelung des Unterbodens in der Grünlandstreifenmitte (Abb. 1). Es war deutlich festzustellen, dass Weidenwurzeln in den oberen 5 cm bis weit in den Grünlandstreifen hinein wurzelten und vermutlich eine bedeutende Konkurrenz für die Grünlandarten darstellten. Im Unterboden schienen sie dagegen eher Nischen zu besetzen, die die Grünlandarten an dem sichtlich stauwasserbeeinflussten Standort nicht nutzten. Gemittelt über alle Abstandsklassen war die Wurzellängendichte im Weidenstreifen in allen

Bodenschichten mit Ausnahme der obersten Schicht von 0-10 cm signifikant höher als im Grünland (Mann-Whitney-U-Test, $p < 0,05$, nicht dargestellt).

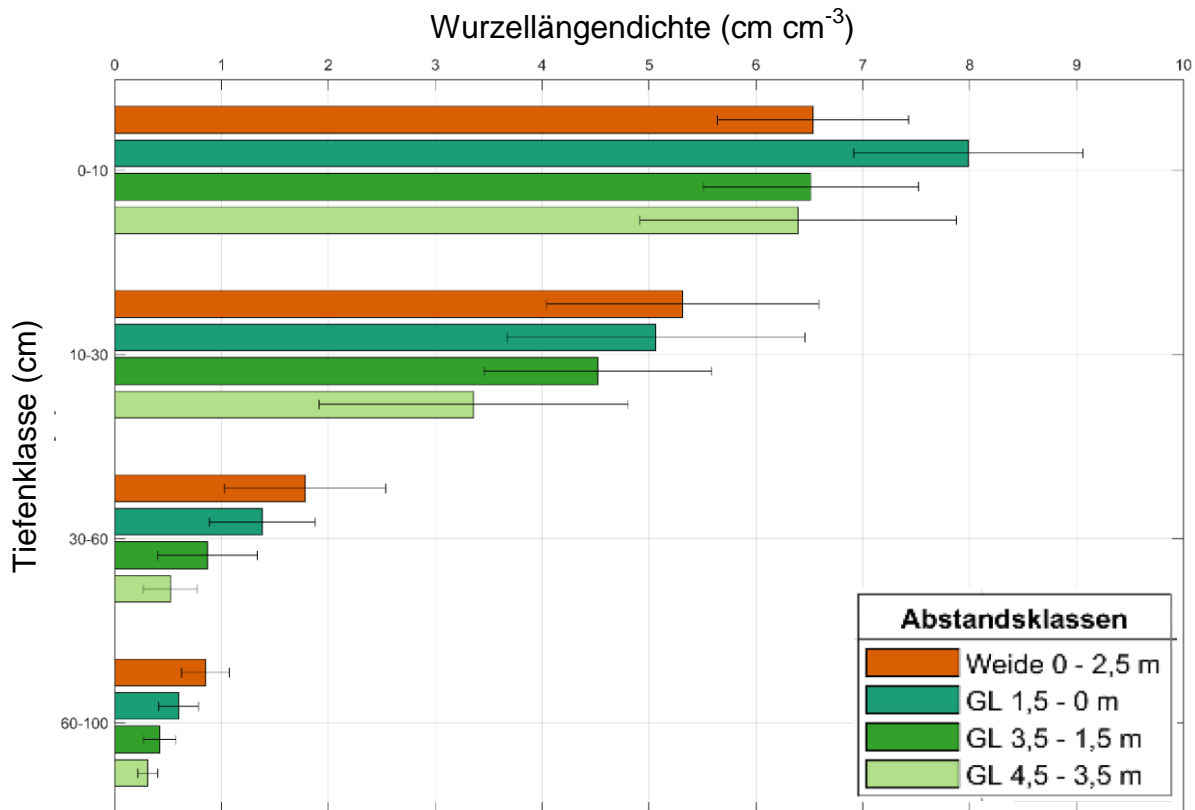


Abb. 1: Mittelwerte der Wurzellängendichte des Grünlandes und der Weiden in den Abstandsklassen Weiden 0-2,5 m, sowie Grünland 0-1,5 m, 1,5-3,5 m und 3,5-4,5 m. Fehlerbalken geben die Standardabweichung an.

Die Regenwurmerfassung ergab ein breites Artenspektrum (7 Arten: *Lumbricus castaneus*, *L. rubellus*, *L. terrestris*, *Aporrectodea caliginosa*, *A. rosea*, *Octolasion cyaneum*, *O. tyrtaeum*), bei allerdings geringen Abundanzen mit weniger als 30 Individuen je m^2 an allen Orten im Transekt (nicht dargestellt). Die hohe Diversität der Regenwürmer veranschaulicht als Indiz für Bodengesundheit die ökologischen Vorteile, die einem Agroforstsystem, zumal in Kombination mit Grünland, zugeschrieben werden können. Eine langjährige Bodenruhe ohne bodenbearbeitende Maßnahmen wirkt sich positiv auf die Bodengesundheit aus und schafft somit günstige Lebensbedingungen für Regenwürmer.

Literatur

- Böhm W (1979) *Methods of Studying Root Systems*, Springer Berlin / Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 211-220
- Graß R, Malec S, Wachendorf M (2020) Biomass Performance and Competition Effects in an Established Temperate Agroforestry System of Willow and Grassland—Results of the 2nd Rotation. *Agronomy* 10 (11), 1819
- Smith AG, Han E, Petersen J, Faircloth Olsen NA, Giese C, Athmann M, Dresbøll DB, Thorup-Kristensen K (2022) RootPainter: Deep learning segmentation of biological images with corrective annotation. *New Phytologist* 236 (2), 774-791
- Thielemann U (1986) Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktett-Methode. *Pedobiologia* 29, 296–302

NIRS-gestützte Modellierung der N-Nachlieferung im Maisanbau

Martin Komainda¹, Antje Herrmann², Josephine Bukowiecki³, Felix Schwarz^{1,4},
Manfred Kayser^{1,5}, Henning Kage³ und Johannes Isselstein^{1,4}

¹Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Graslandwissenschaft; ²Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Bad Hersfeld, ³Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität Kiel, ⁴Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung (CBL), Göttingen, ⁵Universität Vechta, E-Mail: *martin.komainda@uni-goettingen.de*

Einleitung

Nach der aktuellen Düngeverordnung werden für Ackerstandorte mit >4% Humus in der Düngeplanung pauschal Stickstoff (N)-Abzüge von 20 kg N ha⁻¹ vorgenommen. Auf Standorten mit <4% Humus, was laut Bodenzustandserhebung >80% der Ackerböden in Deutschland betrifft, erfolgen keine Abzüge für die N-Nachlieferung. Im Maisanbau existiert, bedingt durch die lange Vegetationszeit, ein großes Potential, die N-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz oder aus dem organischen N-Anteil der organischen Düngung auszunutzen. Eine hinreichende Bewertung standort-abhängiger N-Nachlieferung ist daher notwendig und nur durch die Kombination geeigneter Beprobungs- und Analyseverfahren, sowie Modellen zur Auswertung der Daten möglich. Ziele der vorliegenden Arbeit sind deshalb die Bewertung von N-Nachlieferung aus Inkubationen ungestörter Bodensäulen und ein Vergleich dieser Ergebnisse mit einer Vorhersage auf Basis spektraler Messungen.

Material und Methoden

Im Winter 2021/2022 wurden in einem Zeitraum von acht Wochen mittels mobiler Vorrichtung (UGT, Müncheberg, Deutschland, 11 cm Durchmesser) insgesamt 219 ungestörte Bodensäulen an unterschiedlichen pedo-klimatischen Standorten in Deutschland (42 Orte) aus dem Oberboden (10-25 cm Bodentiefe) entnommen und im Kühlfahrzeug transportiert. Zum selben Zeitpunkt wurde eine gestörte Bodenprobe entnommen. Der Gradient der Bodenproben umfasst variierende Humusmengen durch verschiedene Vorfrüchte, Bodenarten, Ernterestverfahren und Düngungsstufen. Auf der Basis der gestörten Bodenproben wurden die Ausgangsmengen von mineralischem N (Nitrat + Ammonium=N_{min}) zum Zeitpunkt T₀ ermittelt. Zugleich wurde eine Teilprobe davon zur Erfassung der Bodentextur verwendet. Eine andere Probe wurde zur Messung von Boden pH-Wert und Grundnährstoffversorgung genutzt. Eine andere Teilprobe wurde nach Trocknung bei 60°C und Vermahlung zudem mittels Elementaranalyse (Vario el Cube, Elementar Analysensysteme GmbH, Langenseibold, Germany) auf den Gesamtkohlenstoff- und N-Gehalt hin untersucht. Proben mit Carbonat wurden vorhergehend im Muffelofen verascht (550°C, 3 h), sodass sich Analyseergebnisse und das C/N-Verhältnis immer auf den Corg-Gehalt beziehen. Der Corg-Gehalt wurde in Humusgehalt umgerechnet. Eine weitere Teilprobe wurde getrocknet, homogenisiert und mittels Nah-Infrarot-Reflektions-Spektroskopie (NIRS) (Phoenix 5000, Bluesun Sci, USA) zweifach gemessen. Die ungestörten Bodenproben wurden anschließend für 100 Tage im Labor aerob bei 18°C im Dunkeln inkubiert. Die Wassergehalte der Bodensäulen wurden gravimetrisch erfasst, laufend kontrolliert und konstant gehalten. Im Anschluss wurde die N-Nachlieferung von N_{min} in der ungestörten Bodenprobe laboranalytisch zum Zeitpunkt T₁ ermittelt. Das Delta zwischen T₀ und T₁ stellt dabei die N-Nachlieferung als Resultat von N-Mineralisation/Immobilisation dar. Zusätzlich wurden anhand von Befragungen Daten zur Bodenbearbeitung, zur

Fruchtfolge, zur Düngung und zum Ernterestmanagement in den zurückliegenden vier Jahren generiert. Zudem wurden offizielle langjährige Klimadaten gesammelt. Die zusammengestellte Datenbank wurde mit den NIRS-Spektren zusammengefügt, um ein spektrales Vorhersagemodell zur N-Nachlieferung mithilfe von Machine Learning zu entwickeln. Vorhergehend wurde ein additives lineares Inferenzmodell genutzt, um Variablen mit signifikantem Einfluss mittels Multi-Modell-Inferenz auf die N-Nachlieferung zu bestimmen. Die somit ermittelten Variablen wurden zusammen mit den spektralen Daten in einem Random-Forest-Modell und in einem kubistischen Modell zur Vorhersage der N-Nachlieferung verwendet. Alle Analysen erfolgten in R Studio.

Ergebnisse und Diskussion

Das additive Inferenzmodell ergab signifikante Einflüsse von Humusgehalt, CN-Verhältnis, Kaliumgehalt, Vorfrucht, Nmin-Menge zum Zeitpunkt T0 und Sandanteil auf die N-Nachlieferung (nicht gezeigt). Die Variablengewichtung dieser Eingangsgrößen im Random-Forest Modell zeigte für den Sandanteil, ausgedrückt als „Mean Decrease Accuracy“ (%IncMSE) mit %IncMSE = 80 den größten Einfluss und für die Vorfrucht mit %IncMSE = 20 den geringsten. Die %IncMSE zeigt an wie stark die Modellgenauigkeit sinkt, wenn eine entsprechende Variable aus dem Modell entfernt wird, womit die Bedeutung der Textur für die N-Nachlieferung verdeutlicht wird. Die Daten der Bodeninkubation erreichten nach Ausreißerbereinigung im Mittel eine N-Nachlieferung von $-1.9 \text{ kg Nmin ha}^{-1}$ (Immobilisierung), bei einer Spannweite von minimal -55 bis maximal $48 \text{ kg Nmin ha}^{-1}$. Die direkte Vorhersage der N-Nachlieferung aus den NIRS-Daten mittels Random-Forest oder kubistischen Modellen bildet diese Spannweite bisher nicht ab (Abb. 1). Eine unbefriedigende Vorhersagegüte mit $R^2 < 0.2$ und mit mittleren RMSE-Werten von 19 kg ha^{-1} empfiehlt die direkte Anwendung der NIRS-Analytik zur Vorhersage der N-Nachlieferung eher nicht.

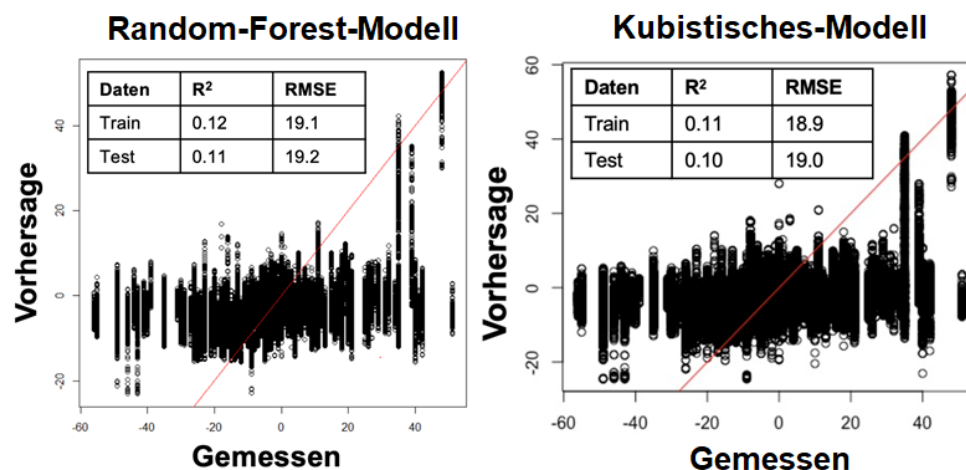


Abb. 1: a) Zusammenhänge zwischen gemessener und vorhergesagter N-Nachlieferung aus Bodenproben der Inkubation. Links: Random-Forest. Rechts: kubistisches Modell.

Das Projekt wird dankenswerterweise durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert (FKZ 2220NR112B). Wir danken allen beteiligten Personen für die Möglichkeit zur Probenahme und kommen mit Auswertungen auf Sie zu.

Standort- und Management-Effekte auf die Nettomineralisation im Maisanbau

Josephine Bukowiecki¹, Martin Komainda², Larissa Ullrich³, Antje Herrmann³ und Henning Kage¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung/Christian-Albrechts-Universität, Kiel; ²Department für Nutzpflanzenwissenschaften/Georg-August-Universität, Göttingen; ³Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Bad Hersfeld. E-Mail: bukowiecki@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Silomais wurde in Deutschland im letzten Jahr auf ca. 2. Mio. ha angebaut und ist damit die zweitstärkste Kultur nach Winterweizen. Durch die im Maisanbau häufig geringe N-Effizienz bieten sich ökologische und ökonomische Stickstoff (N)-Einsparpotentiale. Im FNR-Projekt NEffMais sollen daher in einem schrittweisen Konzept sowohl Grundlagen als auch direkt anwendbare Konzepte zu einer treffgenaueren N-Düngung von Silomais erarbeitet werden. Ein wesentlicher Baustein hierfür ist die Entwicklung eines empirischen Regressionsmodells, das die Beziehung von Standort- und Anbauparametern mit der N-Nettomineralisation abbildet.

Material und Methoden

Experimentell lässt sich die apparente N-Nettomineralisation als Differenz zwischen der zur Ernte im Erntegut und im Boden vorliegenden N-Menge und der dem Bestand im Frühjahr durch Boden ($N_{\text{min}_{\text{Frühjahr}}}$) und Düngung angebotenen N-Menge bestimmen. Zur Identifikation signifikanter Einflussgrößen auf die N-Nettomineralisation im Maisanbau wurde eine umfangreiche systematische Datenbank aus Silomaisversuchen rein mineralischer N-Düngung zusammengetragen. Untersuchte Einflussfaktoren waren: N-Düngung, $N_{\text{min}_{\text{Frühjahr}}}$, Humusgehalt des Oberbodens

(HG_{0-20 cm}), Witterungsparameter, Bodenartgruppe, Vorfrucht und Ernterest- und Stoppelmanagement, Art der Zwischenfrucht, deren Abfuhr bzw. Einarbeitung und Düngung.

Die statistische Auswertung erfolgte in einem mehrstufigen Prozess mittels der Software R Core Team (2023): startend von einem Mittelwertmodell wurden schrittweise Parameter zur Schätzung der N-Nettomineralisation hinzugenommen. Da die untersuchten qualitativen Parameter ihrer Natur entsprechend nicht kreuzklassifiziert vorliegen (z.B. bei der Vorfrucht Silomais verbleiben nie Vorfruchtresiduen auf der Fläche), gingen diese in einem Pseudofaktor (Bodenart + Vorfrucht + Vorfruchtresiduenmanagement + Zwischenfrucht + Zwischenfruchtabfuhr + Zwischenfruchtdüngung) zusammengefasst in die Analyse ein. Das Modell mit dem niedrigsten AIC (Akaike-Informationskriterium) wurde als Geeignetstes ausgewählt und auf dessen Basis der Effekt der Komponenten des Pseudofaktors posthoc durch multiple Mittelwertvergleiche geprüft (beidseitiger Vergleich nach Tukey-Methode). Hierfür wurde für jedes Element des Pseudofaktors eine Korrelationsmatrix erstellt, durch die Vergleiche nur zwischen ansonsten gleichen Parametern durchgeführt werden. Der Datensatz wurde auf die Daten begrenzt, die Eingang in diese Kontrastmatrizen fanden (insg. 786 Daten aus sieben Bundesländern von 1989-2021, erhoben durch: CAU Kiel, GAUG, ITADA, LfL Bayern, LWK Niedersachsen, LfULG Sachsen, LLH).

Ergebnisse und Diskussion

Da keine signifikanten Effekte ($p < 0.05$) der Zwischenfrucht-Düngung und deren Abfuhr bzw. Einarbeitung auf die N-Nettomineralisation identifiziert wurden, wurden diese Einflussfaktoren unter Beibehaltung derselben Datengrundlage aus dem Pseudofaktor entfernt, erneut eine Modellselektion auf Grundlage des AICs durchgeführt und der Effekt der Pseudofaktor-Komponenten mittels aktualisierter Kontrastmatrizen analysiert.

Neben dem Pseudofaktor wurden N-Düngung, $N_{\text{min}_{\text{Frühjahr}}}$, $HG_{0-20\text{ cm}}$ und die Durchschnittstemperatur im Juli als signifikante Einflussfaktoren auf die N-Nettomineralisation. Zudem haben die Bodenart, die Art der Vorfrucht und der Zwischenfrucht, sowie das Vorfruchtresiduenmanagement einen signifikanten Einfluss. Diese Ergebnisse passen zu denen von Ratjen und Kage (2018) im Winterweizen, die einen relevanten Einfluss von $N_{\text{min}_{\text{Frühjahr}}}$, Sommertemperaturen, Vorfrucht und Bodenart auf die Mineralisation identifizierten. Die Daten zeigen, dass die N-Nettomineralisation im Silomais durch Zuckerrüben, im Vergleich zu einer Getreide-Vorfrucht, um 50 kg N/ha signifikant erhöht wird. Zudem ist nach abgefahretem Getreidestroh und winterharten Nichtleguminosen die N-Nettomineralisation auf Normallehmen signifikant höher als auf sandigeren Böden. Der Effekt des Ernterestmanagements konnte nur nach Getreidevorfrüchten geprüft werden (Abb.1): Auf Lehmsanden kommt es durch die Abfuhr der Vorfruchtresiduen zu einer signifikanten Erhöhung der N-Nettomineralisation. Auf Reinsanden wirkt sich der Verbleib der Vorfruchtresiduen auf der Fläche hingegen signifikant positiv aus.

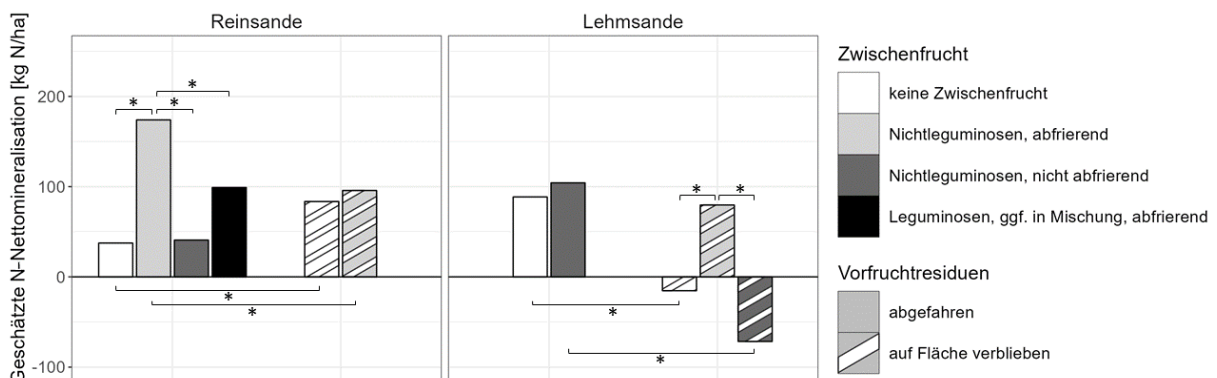


Abb.1: Berechnete N-Nettomineralisation unter Silomais nach der Vorfrucht Getreide (N-Düngung = 200 kg N/ha, $N_{\text{min}_{\text{Frühjahr}}} = 30$ kg N/ha, Temperatur_{Juli} = 20°C, Humusgehalt_{0-20cm} = 4 %).

Zudem wird die Nettomineralisation in sämtlichen betrachteten Kontrasten durch den Anbau einer abfrierenden Zwischenfrucht erhöht, durch eine winterharte Zwischenfrucht hingegen eher reduziert (Abb.1). Abfrierende Nichtleguminosen erhöhen gegenüber winterharten Nichtleguminosen die N-Nettomineralisation signifikant. Die Ergebnisse zeigen die komplexen Interaktionen zwischen Standorteigenschaften, jahresspezifischer Witterung und Managemententscheidungen. Gleichzeitig wird das Potential für eine Anpassung der Düngung im Hinblick auf eine höhere N-Effizienz deutlich.

Literatur

Ratjen, A. M., & Kage, H. (2018). Predicting the site specific soil N supply under winter wheat in Germany. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110, 71-81.

R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing (Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing).

Urease- und Nitrifikationsinhibitoren beim Einsatz synthetischer Stickstoffdünger im Getreideanbau: Was leisten sie wirklich?

Julian Brokötter, Riecke Finck, Henning Kage und Insa Kühling

Institut für Pflanzenbau- und Pflanzenzüchtung/Abteilung Acker- und Pflanzenbau/Christian-Albrechts-Universität, Kiel. E-Mail: brokoetter@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Stickstoff (N) ist der bedeutendste mineralische Nährstoff bei der Produktion von Winterweizen, der relevantesten Getreidekultur Deutschlands, und eine ausreichende Versorgung ist unerlässlich zur Sicherstellung eines hohen Ertragsniveaus. Dabei machen mineralische N-Dünger, wie Harnstoff (HS) oder Kalkammonsalpeter (KAS), einen wichtigen Anteil an der weltweiten Düngemittelausbringung aus (Mulvaney et al., 2009). Jedoch zeigten frühere Studien, dass die N-Nutzungseffizienz (NUE) von Weizen auf einem niedrigeren Niveau liegt, als die NUE anderer Getreidearten. Gründe hierfür sind unter anderem N-Verluste aus dem Pflanze-Boden-System. Bedeutendste Ursachen, neben Auswaschung und Oberflächenabfluss, sind gasförmige N-Verluste in Form von Ammoniak (NH₃) und Lachgas (N₂O) (Rekowski et al., 2020). Im Sinne einer nachhaltigen und ökonomischen Bewirtschaftung und auch im Hinblick auf Klimaschutzaspekte, sollten diese N-Verluste in der modernen Landwirtschaft minimiert werden. Eine Möglichkeit um dieses Ziel zu erreichen ist die Anwendung von Urease- und Nitrifikationsinhibitoren (UI/NI) bei der Düngerapplikation (Mohammed et al., 2016). Diese Düngerzusätze hemmen die Harnstoffhydrolyse respektive die Nitrifikationsrate. Durch diese Stabilisierung des Boden-N erhofft man sich eine Erhöhung der N-Effizienz bzw. höhere Erträge/ gesteigerte Erntequalität bei gleichen N-Mengen zu geringfügig höheren Düngerkosten.

Material und Methoden

Zur Evaluation dieses Ansatzes wurde auf dem Versuchsgut Hohenschulen der Universität Kiel ein zweijähriger (2021-2022) Feldversuch mit Winterweizen (RGT Reform A) durchgeführt. Der Versuch wurde als N-Formen-Steigerungsversuch im randomisierten Blockdesign mit fünf N-Intensitäten (0/80/160/240/320 kg N/ha) und vier Wiederholungen angelegt. Hier wurden sieben inhibierte und herkömmliche N-Düngemittel (HS, HS + UI, HS + UI + NI, Ammonium-Nitrat-Harnstofflösung (AHL), AHL + UI, KAS, Ammoniumsulfat-Harnstoff (ASH)) untersucht. Die N-Düngung erfolgte in drei Teilgaben (Bestockung, Schossen, Ährenschieben). Die Varianten wurden im Hinblick auf Ertrag, Proteingehalt, NUE und agronomische Leistung verglichen. Die agronomische Leistung wurde anhand der N-kostenfreien Leistungen (NKFL) bestimmt, in die, neben den verschiedenen Düngerkosten, auch die Kosten für die Inhibitoren eingehen. Um einen sinnvollen Vergleich zwischen den einzelnen Düngevarianten anstellen zu können, wurden aus den N-Steigerungsreihen die ökonomischen N-Düngungs-Optima (Nopt) berechnet. Zusätzlich wurde mithilfe von drohnengestützten Aufnahmen der Bestandesreflektion zweiwöchentlich die N-Aufnahme bis zur Blüte und der Blattflächenindex bestimmt. Die Berechnungen und die statistischen Auswertungen wurden mithilfe des Statistikprogrammes R (R Core Team, 2023) durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

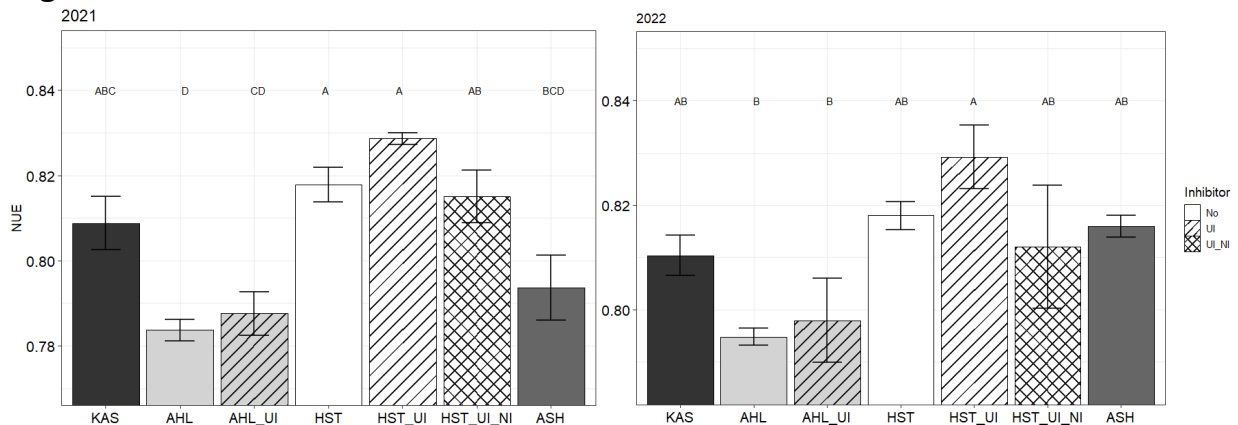


Abb. 1: Durchschnittliche Stickstoff Nutzungseffizienz (NUE) der untersuchten Düngerformen am ökonomischen N-Optimum (Nopt); links: 2021, rechts: 2022; Schraffur: Schräg = UI, Gekreuzt = UI + NI; Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an

Beide Versuchsjahre bilden ähnliche Relationen in den Ertragsparametern zwischen den untersuchten Düngevarianten ab, wobei das maximale Ertragsniveau im Jahr 2022 (Durchschnitt: 10,22 t/ha) wesentlich höher war als in 2021 (Durchschnitt 7,61 t/ha). Die höchsten Erträge erzielten in beiden Jahren die Harnstoffvarianten, während die AHL-Varianten die niedrigsten lieferten. Der direkte Vergleich der gleichen Düngerformen mit und ohne Inhibitorzusatz zeigte jedoch keine signifikanten Unterschiede im Ertragsniveau. Ein ähnliches Bild zeigte sich beim Vergleich der NUE (Abbildung 1). Die mit Ureaseinhibitor versetzten Düngervarianten (AHL +UI, HS + UI) zeigen im Mittel leicht höhere N-Nutzungseffizienzen, dieser Unterschied war jedoch in keinem Jahr signifikant. Die N-kostenfreien Leistungen (NKFL) waren ebenfalls bei den HS-gedüngten Varianten am höchsten, wogegen die anderen Varianten in 2022 keinen signifikanten Unterschied zueinander zeigten und 2021 nur die KAS Variante mit ebenso hohen Werten wie die HS-Varianten auffiel. Ein signifikanter Einfluss der Inhibitorkosten konnte bisher dabei nicht nachgewiesen werden.

Literatur

- Mohammed, Y. A., Chen, C., Jensen, T. (2016), Urease and Nitrification Inhibitors Impact on Winter Wheat Fertilizer Timing, Yield and Protein Content. *Agron. J.* 108: 905-912. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0391>
- Mulvaney, R. L., Khan, S. A. and Ellsworth, T.R. (2009), Synthetic Nitrogen Fertilizers Deplete Soil Nitrogen: A Global Dilemma for Sustainable Cereal Production. *J. Environ. Qual.*, 38: 2295-2314. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0527>
- R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation of Statistical Computing Version 4.0.3, <https://www.R-project.org/>.
- Rekowski, A., Wimmer, M. A., Hitzmann, B., Hermannseder, B., Hahn, H., Zörb, C. (2020), Application of urease inhibitor improves protein composition and bread baking quality of urea fertilized winter wheat. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2020, 183, 260-270. <https://doi.org/10.1002/jpln.201900529>

Eignung unterschiedlicher Frühindikatoren zur Abschätzung von Nitratfrachten im Ackerbau

Burkhard Stever-Schoo, Henrike Mielenz, Mona Dieser, Steffen Zieseniß
und Jörg-M. Greef

Julius Kühn-Institut, Braunschweig. E-Mail: burkhard.stever-schoo@julius-kuehn.de

Einleitung

Ein wichtiger Faktor für regional hohe Nitratkonzentrationen in Grundwasserkörpern sind diffuse Stickstoff (N)-Einträge aus der Landwirtschaft. Veränderungen der Nitratfrachten, wie sie z.B. durch die jüngste Novellierung des Düngerechts zu erwarten sind, können jedoch aufgrund der oft langen Transportwege bis an die Grundwassergütemessstellen nicht kurzfristig und verursachergerecht erfasst werden. Daher wurden verschiedene Ansätze zur direkten Bewertung des N-Auswaschungspotenzials auf Ackerschlag- und Betriebsebene auf ihre Eignung für ein Monitoring getestet. Diese sogenannten Frühindikatoren umfassten sowohl direkte Messungen auf dem Feld als auch berechnete Parameter, die die Feld- und Betriebsebene abdecken.

Material und Methoden

Auf 48 Ackerbaubetrieben und 576 Testflächen in fünf Agrarregionen Deutschlands wurden im Zeitraum 2017 bis 2020 Schlag-N-Bilanzen, Betriebs-N-Bilanzen, mineralische Stickstoffgehalte im Boden (N_{\min}) im Frühjahr, zur Ernte und im Herbst, sowie mineralische Stickstoffkonzentrationen im Unterboden (N_{deep} ; 120-300 cm Bodentiefe) erfasst. In dieser Untersuchung wurde N_{deep} als Zielvariable für die Bewertung der Prognosegüte der vorgenannten Indikatoren genutzt. Zudem wurden die Zusammenhänge der Indikatoren untereinander betrachtet. Die Betrachtung erfolgte auf Betriebs- und Schlagebene sowie für Einzeljahre und im Mittel der Jahre.

Ergebnisse und Diskussion

Die Nitratkonzentration im Sickerwasser konnte am zutreffendsten mit den N_{\min} -Werten zur Ernte sowie im Herbst beschrieben werden (Abb. 1). Der Zusammenhang war bei Betrachtung der Mittelwerte aus vier Jahren deutlich höher als bei der Betrachtung von Einzelwerten. Die Korrelationskoeffizienten der N_{\min} -Werte, die zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahr genommen wurden, waren hoch, was auf eine gute Reproduzierbarkeit aufgrund der restriktiven Vorgaben bei der Probenahme hindeutet. Die Schlagbilanzsalden zeigten keinen direkten Zusammenhang mit der Nitratkonzentration im Sickerwasser.

Die Ergebnisse zeigen, dass die verschiedenen Indikatoren teils widersprüchliche Aussagen liefern. Dies ist auf die komplexen Wechselwirkungen von bodenklimatischen Faktoren und landwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraktiken zurückzuführen. Während jeder Indikator für sich genommen wichtige Aspekte zur Betrachtung des Nitratauswaschungspotenzials beiträgt, liefern die Indikatoren einzeln keine ausreichenden Informationen. So ist z.B. eine reine Betrachtung der N_{\min} -Werte ohne Kenntnis der Parameter der Schlagbilanzierung für eine valide Bewertung der Wirkung von Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratauswaschung nicht ausreichend. Daher wird die gleichzeitige Beobachtung mehrerer Indikatoren empfohlen, um das Nitratauswaschungspotenzial in Richtung Grundwasser zu bewerten.

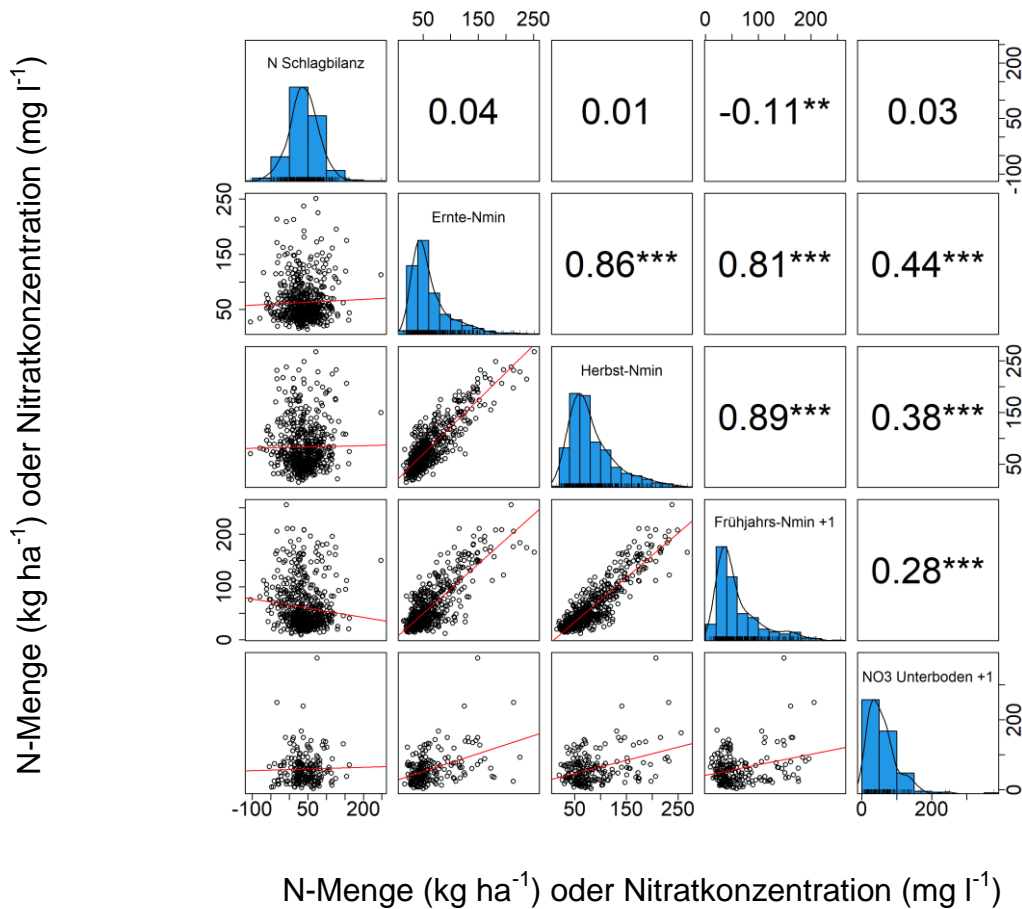


Abb. 1. Korrelationsmatrix zwischen Nmin-Werten, Schlagbilanzsalden sowie der Nitratkonzentration im Unterboden (120-300 cm Bodentiefe). Betrachtet wurden hier Einzelschlagdaten im Mittel des Erhebungszeitraumes von vier Jahren. Die Signifikanzniveaus der Pearson-Korrelationen entsprechen $\cdot < 0.1$, $* < 0.05$, $** < 0.01$, und $*** < 0.001$.

Literatur

Revelle, William (2022): psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research. R package version 2.2.5. Northwestern University, Evanston, Illinois. Online verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=psych>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Gefördert über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Förderkennzeichen 2820ABS001.

A DSS for the termination of legume-rich leys

Fabian Weckesser¹, Marcus Albrecht¹, Kurt-Jürgen Hülsbergen² and Frank Leßke¹

¹Department of Bioengineering Sciences, Weihenstephan-Triesdorf University of Applied Sciences, Freising; ²Chair of Organic Agriculture and Agonomy, Technical University of Munich, Freising; E-Mail: fabian.weckesser@hswt.de

Introduction

The difficulty for farmers to derive the best possible decisions increases with the demand to make well-founded decisions based on available data and possible evaluation options. In order to select the optimal practical measures, farmers can be supported with software tools such as decision support systems (DSS). Digital support can make a significant contribution to farm nutrient management. In this work, a DSS for the termination of legume-rich leys is presented as an example. Depending on the crop stand the nitrogen (N) supply following the termination of legume-grass leys reaches a dimension between 100 to 400 kg N/ha (Kolbe et al. 2006). Therefore, the goal is to set the date of termination in dependency on the N uptake of the following crop in a way, that a) a maximum of N is transferred into the following crop using the yield potential of the site and b) a minimum of N is leached, while considering further farm restrictions, for example fodder needs, cultivated crops and economic claims.

Materials and Methods

The requirements for a DSS for the termination of legume-rich leys, the concept development and the implementation process were derived a) from workshops with stakeholders, b) expert surveys, c) literature review and d) field experiments.

For the prototyping of the application, a specific knowledge base was set up and connected with available public data in such a way that scalability beyond the initially considered local spatial areas is given.

Results and Discussion

Farmers affirm the need to support the termination decision. In particular they request information about the potential N loss risk to sensitize for decision. The interviewee emphasized that the proposed decisions by the DSS need to be traceable. Stand-alone applications should be avoided. Further, digital available data must be integrated and data entered by the user must be reduced to a minimum. Consequently, the DSS is embedded as an additional module in a web-based nutrient management system, parts of which are already available for practice and are in further scientific and technical development (Hülsbergen et al. 2023, Weckesser et al. 2021).

All proposals of the DSS are based on the actual susceptibility of the site to N loss. Thus, every site is classified for the risk factors a) nitrate concentration in the leachate and b) absolute nitrate load. In a first prototype this is done for the period between termination and harvest of the following crop exemplary for wheat and maize.

The mechanistic model for N loss risk classification (from uncritical to vulnerable) to estimate N mineralization [DAISY model adapted from Jensen et al. (2001)] and to estimate leachate is parameterized on data about: a) field measures: planned termination date, following crop, planned sowing date following crop, b) site: soil type, humus content, potential root depth, c) N accumulation on the field: amount of

biomass, proportion of legumes and grasses, soil temperature, start and end of growth period, d) leachate water: soil water potential, precipitation. The N loss risk classification serves for the preselection of the site-specific expert rules applied based on this. Supportive proposals could for example be: “termination optimal in calendar week 40”, “postpone termination to spring for following maize” or “carry biomass before termination to reduce organic matter residue”.

As the DSS is used near term to the aimed termination date, updates with available in-season data are made in the moment of usage to improve default model data, for instance on the actual filling level of the soil water potential.

With the long-term goal of an integrated farm nutrient management system, we are pursuing a systemic approach in the development of digital tools, such as the DSS, involving as many data sources as possible (e.g., open source map services). Therefore, the presented concept of a rule-based DSS is embedded in a farm nutrient management system, that already contains site, farm and management data. The modular approach used enables the decoupling of algorithms and the core system (including data model), which means that the software can dynamically focus on various challenges of nutrient management (e.g., fertilizer distribution, humus management). Since georeferenced data are required for many agricultural issues, a GeoServer is used to reduce the integration effort for linking different geodata formats via web interfaces (<https://geoserver.org>).

Our development environment is based on the programming language Java. To request geospatial field data from a Java application the Java library GeoTools is used, thus a query is send via the developed GeoQuery module and data are provided using a web feature service (<https://geotools.org>) (Figure 1).

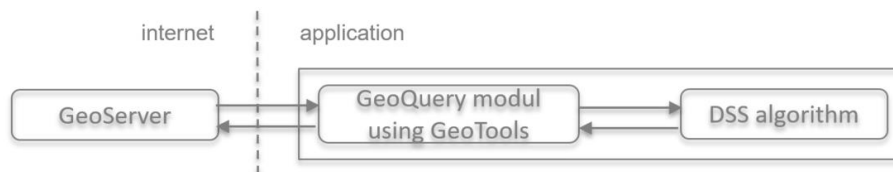


Figure 1: Concept and toolbox for the integration of GIS data in automated calculations

The retrieved values of field-specific characteristics (e.g., soil type, start of growth period, 10-year precipitation, (sub-)optimal sowing time) are also made available to other modules of the nutrient management system via the core system with its data model. The presented technical approach using the GeoQuery module simplifies data retrieval and allows for a greater focus on scientific algorithm research and software development. In the tested use case, first decision support algorithms were developed that calculate the spatial N loss risk factor.

An expert system is currently being set up on the basis of the N loss risk classification to site-specifically map the regional empirical values from experts. Practical testing and validation of the DSS with farmers and consultants is ongoing.

References

- Hülsbergen K-J, Schmid, H, Donauer J, Luthardt M, Wörle V, Leßke F, Weckesser F, Albrecht M, Grunert M, Jäckel U, Stieber J, Bachinger J, Halwani M, Schmidtke K, Tröber F (2023) Webbasiertes Nährstoff-Management im ökologischen Landbau (Web-Man). Projektbericht.
- Jensen L S, Mueller T, Bruun S, Hansen S (2001) Application of the DAISY Model for Short- and Long-term Simulation of Soil Carbon and Nitrogen Dynamics. In: Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management. Boca Raton/Florida: Lewis Publishers, pp. 483–509.
- Kolbe H, Schuster M, Hänsel M, Schließer I, Pöhlitz B, Steffen E, Pommer R (2006) Feldfutterbau und Gründung im Ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Dresden.
- Weckesser F, Leßke F, Luthardt M, Hülsbergen K-J (2021) Conceptual Design of a Comprehensive Farm Nitrogen Management System. *Agronomy*, 11, 2501.

Designing a web application for climate-smart crop rotations integrating process-based plant-soil models and life cycle assessment

Carsten Marohn, Ahmed Attia, Arno de Kock, Peter Horney, Daniel Daehmlow,
Patryk Fussek, Jörn Strassemeyer und Til Feike

Julius Kühn Institute, Institute for Strategies and Technology Assessment, Kleinmachnow
E-Mail: carsten.marohn@julius-kuehn.de

Introduction

Diversified and legume based crop rotations have the potential to mitigate climate change by incrementing soil organic matter and capturing excess nitrogen from the system. However, implementation of improved rotations may be discouraged by lack of evidence on their – long-term – climate impact and uncertainty about crop yields. Dynamic process-based plant-soil models can potentially close this gap, because they account for site-specific factors like soil temperature and moisture as well as plant related processes. In life cycle assessment (LCA), data from process-based models can improve greenhouse gas (GHG) flux estimations from Tier 1 and Tier 2 (static emission factors) to the potentially more accurate Tier 3 level. The provision of a user-friendly decision support tool that allows comparing effects of improved crop rotation scenarios on climate change mitigation and crop yields could help farmers' decision making when considering to opt for climate friendly crop rotations. We combine spatially explicit soil and weather data, process-based modelling, LCA and a user-friendly web interface into a decision support tool to achieve this.

Materials and Methods

The presented decision support tool builds on the SYNOPSIS interface, a web service hosted at the Julius Kühn Institute, originally designed for spatially explicit risk assessment of pesticide applications. Historical daily weather data (air temperature, precipitation, solar radiation) provided by the German Weather Service DWD on a 1km² grid for Germany since 1991 and soil data at scale 1:200,000 (BGR) are assigned to user-defined plots. The tool suggests typical region-specific crop rotations (Preidl et al. 2020) including cover crops as well as crop management including timing and amounts of sowing, fertilization, pesticide applications and harvest. The user may specify local crop rotations and management to explore alternative production options. For simulations, the DSSAT model v4.8 (Hoogenboom et al. 2021) is calibrated and evaluated using extensive crop rotation data-sets, including Schwarz (2020) and Weber et al. (2022). DSSAT runs at plot scale simulating plant and soil parameters over an entire crop rotation, including soil organic matter and N₂O emissions estimated by the CENTURY model (Hartman et al. 2018). Simulated soil carbon stock changes as well as CO₂ and N₂O fluxes at daily resolution are then included in the LCA conducted from cradle to farm gate, applying a Tier 3 approach (Fig. 1). The coupled DSSAT and LCA, available to the user via the SYNOPSIS platform, can be used to assess potentials and risks of hypothetical crop rotations for climate change mitigation.

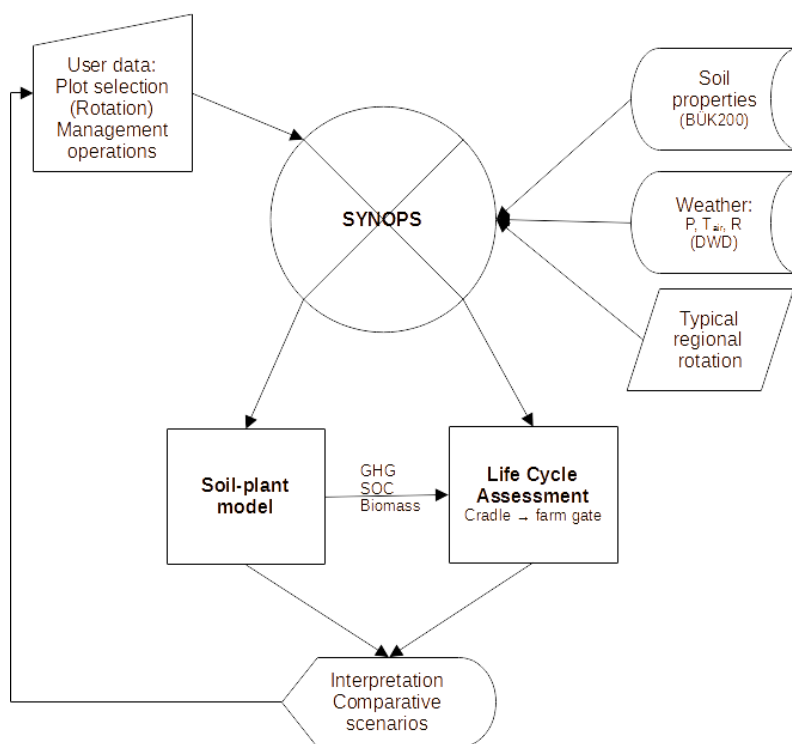


Fig. 1. Conceptual framework of the decision support system and respective data flows

Results and Discussion

Building on the crop rotation data of Schwarz (2020) we assess SOC stocks in the active and slow pools, N_2O emissions as well as crop yields comparing the experimental settings at Dahnsdorf (winter rapeseed – winter wheat – winter rye – maize – pea – winter triticale) against an alternative scenario with additional legumes and reduced mineral fertiliser levels. We expect substantial potentials for improvement with regard to SOC development, N balances, N use efficiency. Applying the comprehensive LCA will show whether the inclusion of additional cover crops, which need to be sown and managed and hence cause additional emissions will actually improve the overall GHG balance of crop production at the Dahnsdorf site.

References

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1995-2024): Bodenübersichtskarte Deutschland. <https://geoportal.bgr.de> 28/06/2023.
- Hoogenboom et al. 2021. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.8. DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA. www.dssat.net
- Hartman et al. 2018. The Daily Century Ecosystem, Soil Organic Matter, Nutrient Cycling, Nitrogen Trace Gas, and Methane Model User Manual, Scientific Basis, and Technical Documentation. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University Fort Collins, Colorado.
- Preidl et al. 2020. Introducing APiC for regionalised land cover mapping on the national scale using Sentinel-2A imagery. doi.org/10.1016/j.jrse.2020.111673.
- Schwarz, J. 2020. Versuchsfeldführer Dahnsdorf. Julius Kühn Institut Kleinmachnow.
- Weber et al. (2022) Multi-site, multi-crop measurements in the soil–vegetation–atmosphere continuum: a comprehensive dataset from two climatically contrasting regions in southwestern Germany for the period 2009–2018. doi.org/10.5194/essd-14-1153-2022

Unterschiedliche N-Nachlieferung von Zwischenfrüchten zu Zuckerrüben und Mais?

Heinz-Josef Koch¹, Dennis Grunwald¹, Lisa Essich², Insa Kühling³, Reiner Ruser² und Henning Kage³

¹Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-Mail: koch@ifz-goettingen.de;

²Fachgebiet Düngung und Bodenstoffhaushalt, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim; ³Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität Kiel

Einleitung

Zwischenfrüchte können das Risiko der N-Auswaschung über Winter vermindern. Außerdem wird erwartet, dass die N-Versorgung der Folgefrüchte durch die Mineralisation des aufgenommenen N erhöht und so Dünger eingespart werden kann. Trotz des langjährigen Zwischenfruchtanbaus in Deutschland liegen nur wenige Daten zur N-Nachlieferung zu Zuckerrüben und Mais als erster Folgefrucht vor.

Obwohl beide Kulturen Sommerungen sind, unterscheiden sie sich im Wachstumsverlauf während der Vegetationszeit: Zuckerrüben werden zumeist 2-4 Woche früher ausgesät als Mais und weisen eine frühzeitig höhere Biomassebildung und Nährstoffaufnahme im Mai und Juni auf als Mais. Mais zeigt demgegenüber höhere Wachstumsraten ab Juli. Diese Unterschiede im Zeitverlauf des oberirdischen Wachstums treten vermutlich auch im Wurzelwachstum und somit in der Freisetzung von Wurzelexudaten auf. Mittels Wurzelexudaten können Pflanzen den Abbau von organischer Bodensubstanz in der Rhizosphäre und somit die Nährstoffmineralisation fördern (Bengtson et al. 2012). Der Mechanismus des Rhizosphärenprimings wurde für Baumarten, C3 und C4-Gräser, Leguminosen und Getreide nachgewiesen (Cheng et al. 2014). Für Zuckerrüben im Vergleich zu Mais liegen bislang keine Daten vor.

Ziel dieser Studie war es, den Verlauf der Netto-N-Mineralisation in der Vegetationszeit der beiden Fruchtarten vergleichend zu quantifizieren. Feldversuche wurden im Rahmen des BMEL-geförderten Projektes THG-ZwiFru durchgeführt.

Material und Methoden

Auf schluffreichen Böden bei Göttingen (Goe) und Stuttgart-Hohenheim (Iho) und einem sandig-schluffigen Standort bei Kiel (Kie) wurde im Herbst der Jahre 2018 und 2019 Ölrettich als Zwischenfrucht angebaut (3 x 2 = 6 Umwelten). Die N-Menge im oberirdischen Aufwuchs Ölrettichs (40-170 kg N ha⁻¹, C/N <10 bis 25) wurde zu Vegetationsende erfasst, während die N-Menge in der Blatt- und Rübenmasse der Zuckerrübe und in der oberirdischen Biomasse des Mais im Juli/August und zur Ernte im September/Oktober erfasst wurden. N_{min}-Bodenproben (0-90 cm) wurden kurz vor der Aussaat (März/April) und an den beiden Ernteterminen gezogen. Anhand der N_{min}-Werte und der N-Menge in der Biomasse wurde die apparente Netto-N-Mineralisation (NetNMin) für die Zeiträume März/April-Juli/August, Juli/August-September/Oktober und die gesamte Vegetationszeit (März/April-September/Oktober) berechnet. Beide Fruchtarten wurden unter Berücksichtigung des standortspezifischen N_{min}-Wertes optimal gedüngt (60-200 kg N ha⁻¹).

Die Versuche wurden als 4-fach wiederholte Blockanlage angelegt und mit den fixen Faktoren Umwelt und Fruchtart separat für jeden Zeitraum statistisch ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Streuung der N-Mineralisation zwischen den Umwelten (Ort-Jahr-Kombination) war sehr groß und variierte aufsummiert für die gesamte Vegetationszeit und im Mittel der beiden Fruchtarten zwischen ca. 220 und 60 kg N ha⁻¹ mit den höchsten Werten in Kiel 2019 und 2020 sowie Göttingen 2020. Ebenso war die Aufteilung auf die Vegetationsabschnitte März/April-Juli/August und Juli/August-September/Oktober variabel mit 13 % in Kiel 2020 bis 99 % in Göttingen 2020 in der ersten Periode bei einem Gesamtwert von 210-220 kg N ha⁻¹. Negative Werte der N-Mineralisation, d.h. N-Immobilisationen, traten für Silomais im frühen Abschnitt am Ihinger Hof und im späten Zeitraum in Göttingen jeweils in beiden Jahren auf. Im ersten Zeitraum waren die Werte für Silomais in den Umwelten Göttingen und Kiel (beide Jahre) numerisch höher als für Zuckerrübe (nicht gezeigt); dies prägte auch die Werte im Mittel aller Umwelten (Tab. 1). Demgegenüber war das Mittel der Umwelten im zweiten Vegetationsabschnitt bei Zuckerrübe höher als bei Silomais. Dies ist auf die Differenzierung in den Umwelten Göttingen 2019 und 2020 sowie Kiel 2020 zurückzuführen. Über die gesamte Vegetationszeit und alle Umwelten gemittelt unterschied sich die N-Nettomineralisation zwischen den Fruchtarten nicht und lag bei ca. 140 kg N ha⁻¹, was bisherige Untersuchungen bestätigt. Insgesamt bestätigen die vorliegenden Daten die Hypothese eines systematisch unterschiedlichen Mineralisationsverlaufs unter Zuckerrüben und Mais nach Zwischenfruchtanbau nicht.

Tab. 1: Netto-N-Mineralisation (kg N ha⁻¹) unter Zuckerrüben und Silomais nach Ölrettich-Zwischenfrucht in 2 Vegetationsabschnitten und der gesamten Saison in 6 Umwelten. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede innerhalb eines Zeitraumes, Tukey $p \leq 0,05$.

Umwelt	Fruchtart	----- Zeitraum -----					
		März/Apr – Jul/Aug		Jul/Aug – Sep/Okt		März/Apr – Sep/Okt	
Iho19	Zuckerrübe	57,4	bc	30,8	bcd	88,2	bc
	Silomais	-15,6	c	102,0	abc	94,4	bc
Iho20	Zuckerrübe	60,9	bc	29,7	bcd	97,9	bc
	Silomais	-12,0	c	28,7	bcd	16,7	c
Goe19	Zuckerrübe	38,5	bc	61,5	bcd	100,0	bc
	Silomais	72,7	bc	-33,4	cd	39,3	c
Goe20	Zuckerrübe	98,9	b	70,7	cde	169,6	ab
	Silomais	340,6	a	-65,0	cde	275,6	a
Kie19	Zuckerrübe	17,3	bc	156,3	ab	173,6	ab
	Silomais	58,0	bc	162,6	ab	220,6	ab
Kie20	Zuckerrübe	-2,5	bc	233,3	a	230,9	a
	Silomais	58,5	bc	128,8	ab	187,3	ab
Mittelwert	Zuckerrübe	45,1	B	97,1	A	143,4	
	Silomais	83,7	A	53,9	B	139,0	

Literatur

- Bengtson P, Barker J, Grayston SJ (2012) Evidence of a strong coupling between root exudation, C and N availability, and stimulated SOM decomposition caused by rhizosphere priming effects. *Ecol Evolution* 2: 1843-52.
- Cheng W; Parton WJ, Gonzalez-Meler MA, Phillips R, Asao S, McNickle GG, Brzostek E, Jastrow JD (2014) Synthesis and modeling perspectives of rhizosphere priming. *New Phytologist* 201: 31-44.

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft unter dem Förderkennzeichen 28-1-B2.012-16 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

Einfluss von P-Recyclingdüngern auf den Ertrag und P-Gehalt von Silomais im ökologischen Landbau

Urbatzka P.¹, Heuwinkel H.² und von Tucher S.³

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau, Freising; ²Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising; ³Technische Universität München, Freising. E-Mail: Peer.Urbatzka@LfL.Bayern.de

Einleitung

Im ökologischen Pflanzenbau fehlen wirksame P-Düngemittel. Das zugelassene Rohphosphat hat - mit Ausnahme von Standorten mit niedrigen Boden-pH-Werten - nur eine geringe Wirkung, Gülle oder andere organische Düngemittel stehen für vieharme Öko-Betriebe nicht in ausreichender Menge zu Verfügung. Diese Lücke könnte durch P-Recyclingdünger wie Struvit oder Ashdec geschlossen werden. Ziel des Projektes war die Untersuchung der Düngewirkung dieser Produkte im Feldversuch im ökologischen Landbau.

Material und Methoden

Die Versuche laufen seit Ernte 2021 auf den drei bayerischen Standorten in Landsberg am Lech (uL, Ackerzahl (AZ) 70, langjährige (lj.) Mittel: 7,4 °C, 973 mm), Triesdorf (sL, AZ 43, lj. Mittel: 7,7 °C, 679 mm) und Viehhausen (sL, AZ 60, lj. Mittel: 7,8 °C, 768 mm). Der P₂O₅-Gehalt im Oberboden betrug nach CAL-Methode vor der Düngung in Landsberg im Mittel der Parzellen 2,6 mg in 100 g Boden (Spannweite 1-4), in Triesdorf 1,6 (Spannweite 1-3) und in Viehhausen 6,0 (Spannweite 4-8). Der pH-Wert lag jeweils bei 6,5, 6,4 und 6,5. Neben den beiden P-Recyclingdüngern Struvit (Fa. Ostara) und Ashdec (Fa. Outodec) wurde als Vergleich Triplesuperphosphat (TSP) eingesetzt und eine nicht mit P gedüngte Kontrolle mitgeführt.

Die Fruchtfolge ist Silomais (Ernte 2021), Winterroggen (Ernte 2022) und Klee gras (Ernte 2023), wobei hier die Ergebnisse zu Silomais Ernte 2021 mitgeteilt werden. Vor der Maissaat (cv. *Keops*, S 210) wurden die P-Dünger ausgebracht und mit der Saatbettbereitung eingearbeitet. Basierend auf dem kalkulierten Entzug der dreigliederigen Fruchtfolge wurden 109 kg P/ha sowie auch die dreifache Menge (327 kg P/ha nur Ashdec und TSP) gegeben. Struvit wurde nur mit der einfachen P-Menge gedüngt, da er auch N enthält und eine für den ökologischen Landbau übliche Höhe der N-Düngung nicht überschritten werden sollte. Alle weiteren in Struvit und Ashdec enthaltenen Nährstoffe wie K, S und Mg wurden vor der Maissaat ausgeglichen.

Gesät wurde der Silomais Ende April bis Anfang Mai (Saatstärke: 12 Pflanzen/m²). Da der Mai 2021 kühl und nass ausfiel, waren Feldaufgang und Jugendentwicklung beeinträchtigt. Auf den Standorten Landsberg und Triesdorf wurde der Mais deshalb auf 5,5 bzw. 6 Pflanzen je m² vereinzelt. In Viehhausen wurde der gesamte Versuch abgebrochen und am 3.6.21 neu gesät und anschließend auf 11 Pflanzen je m² vereinzelt. Neben der Ernte zur Siloreife wurde eine Zwischenernte im BBCH 15-19 auf einer Teilfläche von 3 m² durchgeführt. Die Versuchsanlage war ein Lateinisches Rechteck mit sechs Wiederholungen. Die statistische Auswertung erfolgte mit SAS 9.4.

Ergebnisse und Diskussion

Im Trockenmasseertrag gab es mit Ausnahme der Zwischenernte in Viehhausen keine Unterschiede (Tab. 1). Nachdem Mais in der Jugendentwicklung sensibel auf die P-Versorgung reagiert (Wendland 2014), erscheint dies plausibel, da die Zwischenernte in Viehhausen im BBCH 15 und damit im Vergleich zu den anderen Standorten im früheren Entwicklungsstadium durchgeführt wurde. Die in Viehhausen deutlich höheren P-Gehalte der Pflanzen bestätigen dies zum einen, zum anderen ist die positive Wirkung der P-Dünger erkennbar, die besonders klar mit der dreifachen P-Menge als TSP und AshDec ausfiel. Nach der Multiplikation mit der Biomasse ist dies im P-Entzug weiterhin erkennbar (Tab. 1). Im Vergleich der P-Düngemittel war AshDec nach Anwendung in dreifacher Menge überwiegend mit TSP ebenbürtig.

In den Fällen, in denen es nach Düngung der einfachen P-Menge zu einer positiven Düngewirkung kam, war auf dem Standort Viehhausen TSP den beiden Recycling-Produkten überlegen. Am Standort Triesdorf erreichte der P-Gehalt zur Zwischenernte mit beiden Recycling-Produkten das Niveau von TSP, am Standort Landsberg erwies sich der P-Gehalt zur Siloreife mit AshDec ebenfalls als gleichwertig mit TSP, während Struvit in diesem Parameter etwas abfiel, was im P-Entzug aber schon nicht mehr erkennbar war.

Insgesamt zeigen die Versuche, dass die beiden P-Recyclingdünger die P-Verfügbarkeit für den Mais auf den drei P-armen Standorten vergleichbar zu TSP verbessern konnten.

Tab. 1: Erträge und P-Gehalt von Mais zur Zwischenernte und Siloreife in Abhängigkeit von der Düngung an drei Standorten

Ort	Variante	TM-Ertrag in dt/ha		P-Gehalt (%) in TM		P-Entzug in kg/ha	
		BBCH15-19	Siloreife	BBCH15-19	Siloreife	BBCH15-19	Siloreife
Viehhausen	Kontrolle	9,9 C	186,7 NS	0,371 B	0,247 B	3,66 D	46,0 B
	Ashdec	11,2 BC	184,5	0,419 B	0,257 B	4,68 C	47,2 B
	Struvit	11,1 BC	183,7	0,405 B	0,257 B	4,52 C	47,4 B
	TSP	13,5 A	193,3	0,410 B	0,273 B	5,52 B	52,6 A
	3x Ashdec	11,4 BC	182,8	0,518 A	0,296 A	5,89 AB	54,0 A
	3x TSP	12,5 AB	191,2	0,514 A	0,304 A	6,38 A	58,2 A
Landsberg	Kontrolle	15,4 ns	108,0 ns	0,250 ns	0,249 d	3,81 ns	26,9 b
	Ashdec	15,3	102,8	0,277	0,276 b	4,25	28,3 b
	Struvit	17,7	117,1	0,280	0,265 c	4,96	31,1 ab
	TSP	17,8	106,8	0,262	0,277 b	4,69	29,5 ab
	3x Ashdec	16,3	108,0	0,269	0,301 a	4,39	32,5 ab
	3x TSP	18,8	111,9	0,276	0,310 a	5,14	34,7 a
Triesdorf	Kontrolle	18,9 NS	111,3 NS	0,219 D	0,275 C	4,12 B	30,6 NS
	Ashdec	17,9	113,6	0,254 C	0,288 ABC	4,55 B	32,7
	Struvit	15,9	119,8	0,276 BC	0,268 C	4,39 B	31,5
	TSP	15,8	126,8	0,273 BC	0,281 BC	4,36 B	35,0
	3x Ashdec	22,0	112,7	0,301 B	0,301 AB	6,68 AB	33,8
	3x TSP	24,1	123,3	0,348 A	0,307 A	8,60 A	37,9

verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede innerhalb eines Ortes mit Box-Cox-Powertransformation (Ausnahme P-Gehalte in Viehhausen; Tukey, $p < 0,05$), ns = nicht signifikant; TSP = Triplesuperphosphat

Literatur

Wendland M (2014): Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. BLV-Verlag, 13. Auflage, 1205 Seiten.

Praxisforschungsnetzwerk Hessen – Fachgruppe Ackerbau, Zwischenfruchtumbruch und Stickstoffkreislauf

Hoppe, Johanna, Hupe, Anke und Athmann, Miriam

Ökologische Agrarwissenschaften, Universität Kassel

E-Mail: a.hupe@uni-kassel.de

Einleitung

Der Anbau von Zwischenfrüchten (ZF) erbringt vielfältige Leistungen. Unter anderem wird Stickstoff, der nach der Ernte der Hauptkultur im Boden verbleibt, durch die Aufnahme in die Sprossmasse der ZF vor Auswaschung während der winterlichen Sickerwasserperiode bewahrt und der Nachfolgekultur zur Verfügung gestellt (Thapa et al. 2018). Allerdings wurde festgestellt, dass nicht legume ZF den Ertrag der Nachfrucht im Vergleich zu einer Kontrolle ohne ZF nicht steigern oder sogar vermindern können (z.B. Thapa et al. 2018, Stumm 2021). Weitere Untersuchungen zeigen, dass abfrierende ZF sowohl sekundäre Nitratauswaschung als auch gasförmige Verluste in Form von Lachgas begünstigen (Böldt et al. 2021). Winterharte ZF sind demnach besser geeignet, den Stickstoff aus dem Vorjahr bis ins Frühjahr zu bewahren (Böldt et al. 2019). Unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus kann eine Einarbeitung erst im Frühjahr aber auch zu einer Stickstoffsperre im Boden führen. Dies kann, insbesondere bei Arten mit einem ausgeprägtem Wurzelsystem wie dem Grünroggen, Ertragsminderungen zur Folge haben. (Stumm 2021, Kemper et al. 2020). Auch wenn der ZF-Anbau eine effiziente Maßnahme ist, um N-Austräge während der Sickerwasserperiode zu verringern, zeigt sich, dass dieser aber nicht per se nachhaltig ist.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des Praxisforschungsnetzwerks Hessen in einem partizipativen Prozess mit allen Akteur*innen ein Forschungsthema erarbeitet, woraus die Universität Kassel ein Forschungsvorhaben entwickelte. In den Jahren 2022 bis 2025 soll der Einfluss verschiedener ZF-Anbau- und Umbruchstrategien auf den Verbleib des Stickstoffs, den die ZF vor Winter in ihre Sprossmasse aufgenommen haben, untersucht werden. Ziel ist es, die möglichen Wege des Stickstoffs zu identifizieren um dadurch folgende Fragen zu beantworten: Wann kommt es zu sekundärer N-Auswaschung oder gasförmigen N-Verlusten? In welcher Form und in welchem Umfang wird Stickstoff in die verschiedenen Bodenkompimente eingebaut und wann wird dieser wieder freigesetzt? Ist dieser Zeitpunkt durch gezielte Zwischenfruchtanbau- und Umbruchstrategien steuerbar und sind dadurch Verluste minimierbar?

Material und Methoden

Die Fachgruppe besteht aus ökologisch wirtschaftenden Ackerbaubetrieben, den Verbund ökologische Landwirtschaft e.V. (VÖL e.V.), Beratungskräften des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen (LLH) und des Verbandes Naturland und dem Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau der Universität Kassel. Geplant und momentan in Umsetzung ist die Durchführung von Feldversuchen auf 9 landwirtschaftlichen Betrieben und auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb der Universität Kassel Domäne Frankenhausen. Die Versuchsanlage und -durchführung auf den Praxisbetrieben erfolgt durch die Landwirte und Wissenschaftler gemeinsam. Es werden eine abfrierende Zwischenfrucht (Phacelia, Alexandrinerklee, Senf) und

eine vielfältige winterharte und abfrierende Zwischenfrucht (Grünroggen, Wintererbse, Panonische Wicke, Rübsen, Phacelia) verwendet. Die Umbruchvarianten sind betriebsüblich und variieren in der Bearbeitungstiefe. Neuartig ist hier die Variante, welche die Pflanzen mit einem in der Entwicklung befindlichen Häufel kurz vor dem ersten Frost abknickt und anhäufelt, wodurch eine Konservierung und Verringerung der N-Auswaschung erzielt werden soll. Auf jedem Betrieb werden dieselben fünf Versuchsvarianten mit der betriebseigenen Technik in randomisierten Blockanlagen mit vierfacher Wiederholung von den Landwirten selbst angelegt. Mit dem Feldversuch auf der Domäne Frankenhausen wird durch eine gezielte Markierung der Pflanzen mit ^{15}N und ein erweitertes Messprogramm der Verbleib des von den Zwischenfrüchten akkumulierten Stickstoffs im System Boden-Pflanze-Atmosphäre genauer untersucht. Dazu werden zusätzlich zu den auf den Praxisbetrieben durchgeführten Probenahmen von Boden, Zwischenfrucht und Folgekultur, auch Sickerwasserbeprobungen, Gasmessungen (N_2O , NH_3) und Analysen des Isotopenverhältnisses von Boden und Pflanzen durchgeführt, (Hupe et al. 2019).

Ergebnisse und Diskussion

Gezeigt werden erste Ergebnisse aus dem Versuchsjahr 2022/2023.

Literatur

- Böldt M, Loges R, Kluß C & Taube F (2019): Umweltrelevante Aspekte von Winterzwischenfrüchten im ökologischen Marktfruchtanbau unter Berücksichtigung der Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik. Beitrag zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau in Kassel, 5.-8. März 2019: 66-69
- Böldt M, Taube F, Vogeler I, Reinsch T, Kluß C & Loges R (2021): Evaluating different catch crop strategies for closing the nitrogen cycle in cropping systems – field experiments and modelling. *Sustainability* 13:394
- Hupe, A., Schulz, H., Bruns, C. et al. Get on your boots: estimating root biomass and rhizodeposition of peas under field conditions reveals the necessity of field experiments. *Plant Soil* 443, 449–462 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04238-z>
- Kemper R, Bublitz TA, Müller P, Kautz T, Döring TF & Athmann M (2020): Vertical root distribution of different cover crops determined with the profile wall method. *Agriculture* 10: 503
- Stumm C (2021): Stickstoff über den Winter retten – Herausforderung Zwischenfrüchte. *Bioland-Magazin* Juni 2021: 16-18
- Thapa R, Mirsky S B & Tully K L (2018): Cover Crops Reduce Nitrate Leaching in Agroecosystems: A Global Meta-Analysis. In: *Journal of Environmental Quality* 47 (6), S. 1400–1411. DOI: 10.2134/jeq2018.03.010

Einfluss von mehrjährigen Kulturen auf den Humusgehalt im Hinblick auf Carbon-Farming

Matthias Bernschein¹, Alina Weiss¹, Marcel Dieter Moll¹ und Ralf Pude^{1,2}

¹INRES – Nachwachsende Rohstoffe / Universität Bonn; ²Campus Klein-Altendorf / Universität Bonn.
E-Mail: m.bernschein@uni-bonn.de

Einleitung

Im Zuge des Klimawandels gewinnt Carbon Farming immer mehr an Bedeutung. Die Humusanreicherung hängt von verschiedenen Parametern ab, u.a. von Zufuhr und Zusammensetzung der organischen Substanz, Bodenruhe, biologischer Aktivität sowie den allgemeinen Bodenparametern. Stabilisierungsprozesse wirken dem Abbau organischer Substanzen entgegen und binden dessen Umwandlungsprodukte längerfristig im Boden (Amelung et al., 2018).

Mehrjährige Kulturen weisen durch höhere Wurzelmasse, dauerhafte Bodenbedeckung und die Zufuhr von Pflanzenresten ein höheres Humusanreicherungspotential als einjährige Kulturen auf (Ferchaud et al., 2016). Insbesondere aber die reduzierte Bodenbearbeitung mindert durch verminderte Sauerstoffzufuhr die Aktivität der Bodenorganismen und schützt die Aggregatstabilität im Boden (Bronick und Lal, 2005; Kantola et al., 2017).

Material und Methoden

In einer Status-quo-Analyse zur Humusanreicherung wurden Ackerschläge mit unterschiedlichen Nutzungsformen untersucht. Verglichen wurde der Humusgehalt auf Feldern mit einjährigen Ackerkulturen (Winterweichweizen und Sommergerste) und mehrjährigen Kulturen (Miscanthus, Durchwachsene Silphie, Sida, Paulownia und Apfel).

In einem Radius von 1,5 m um den georeferenzierten GPS-Punkt fand die Probennahme mit einem Pürckhauer-Bohrstock in den Bodenschichten 0-30 cm und 30-60 cm statt. Die Bestimmung der Humuskonzentration wurde durch die LUFA NRW (Münster) nach VDLUFA Methodenbuch Band I, 2016, A 4.1.3.2 durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Im Vergleich der Humuskonzentrationen in der oberen Bodenschicht (0-30 cm) von Ackerböden wiesen die Miscanthusflächen „Weinberg“ und „Tomburg“ mit 2,10 % bzw. 2,28 % höhere Humuskonzentrationen auf als die restlichen Varianten. Die Ackerflächen mit einjährigen Kulturen wiesen mit 1,43 % die geringsten Werte auf.

In der tieferen Bodenschicht (30-60 cm) wurden generell um circa einen Prozentpunkt niedrigere Humuskonzentrationen als in der oberen Bodenschicht gemessen. Die Miscanthusfläche „CKA1“ wies mit 1,08 % den höchsten Mittelwert auf (Abb. 1).

Bei den Flächen „Tomburg“ und „Weinberg“ handelt es sich eher um marginale Standorte. Anders als bei „CKA1“ könnte ein geringeres Aufkommen von Bodenlebewesen die geringeren Humuskonzentrationen in der unteren Bodenschicht erklären. Nach Felten und Emmerling (2011) sind unter Miscanthusflächen hohe Regenwurmpopulationen zu finden. Die mehrjährigen Kulturen wurden im Laufe der vergangenen 10 Jahre angelegt. Daher könnte der zugrunde liegende Zeitraum für eine messbare Humusanreicherung möglicherweise zu gering sein. Diese Hypothese wird in weiteren Projektjahren überprüft.

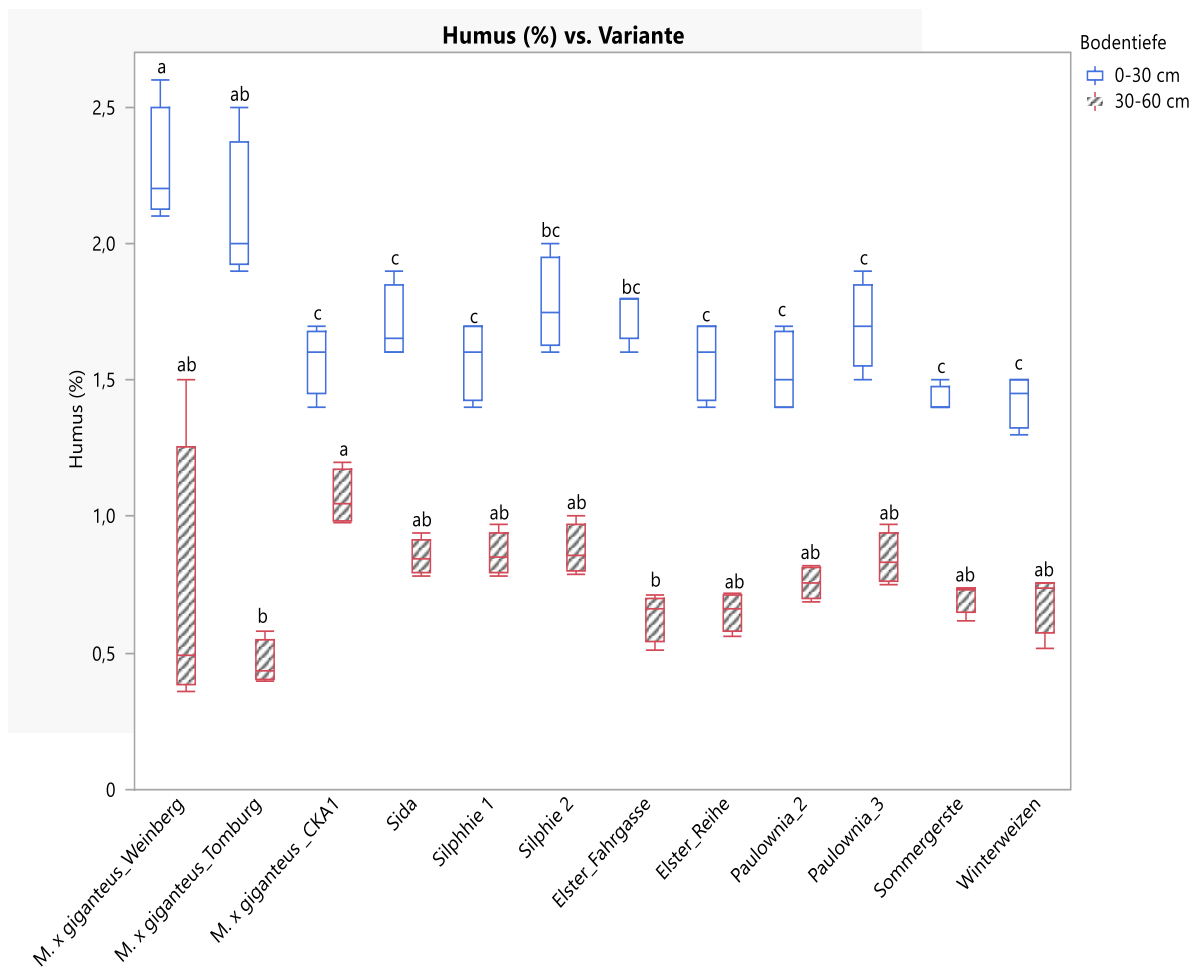


Abb. 1: Vergleich der Humuskonzentrationen (%) auf Ackerflächen mit unterschiedlicher Nutzungsformen in den Bodenschichten 0-30 cm und 30-60 cm.

Literatur

- Amelung, W.; Blume, H.-P.; Fleige, H.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I.; Kretschmar, R.; Stahr, K.; Wilke, B.-M. (2017): Scheffer/ Schachtschabel, Lehrbuch der Bodenkunde (17. Aufl.). Springer-Verlag GmbH Deutschland
- Bronick, C.J. und Lal, R. (2005): Soil structure and management: a review. Geoderma 124, 3–22
- Felten, D.; Emmerling, C. (2011): Effects of bioenergy crop cultivation on earthworm communities – A comparative study of perennial (Miscanthus) and annual crops with consideration of graded land-use intensity. Applied Soil Ecology, 49, 167-177
- Ferchaud, F.; Vitte, G.; Mary, B. (2016): Changes in soil carbon stocks under perennial and annual bioenergy crops. GCB Bioenergy 8, 290– 306
- Kantola, I.B.; Mater, M.D.; DeLucia, E.H. (2017): Soil particulate organic matter increases under perennial bioenergy crop agriculture. Soil Biology & Biochemistry 113, 184–1

Crop rotations for enhanced soil carbon sequestration — A modeling study in southwest Germany

Ahmed Attia, Carsten Marohn, Arno de Kock, Jörn Strassemeyer and Til Feike

Julius Kühn Institute, Institute for Strategies and Technology Assessment, Kleinmachnow
E-Mail: Ahmed.Attia@julius-kuehn.de

Introduction

Increasing soil organic carbon (SOC) contents is considered as one of the most imperative directions for sustainable crop production contributing to carbon sequestration and enhancing soil properties. Diversified crop rotations are considered one option to potentially increase SOC. As part of this, the growth of cover crops (CC) or catch crops between two consecutive main crops may capture additional carbon from the air and integrate it into the soil to enhance SOC stocks. Data on comparative assessment of SOC development in different crop rotations is extremely scarce due to the long-time periods required to conduct rotation experiments and the labour-intensive assessment of SOC stocks. Hence, respective evidence on the effects of altered crop rotations and cover crop inclusion regarding SOC development and its potential contribution to climate change mitigation is limited.

Process-based agroecosystems models (AEM) can help to generate additional insights, as they simulate the soil-plant-atmosphere system, including crop biomass growth and below ground processes including SOC dynamics. The Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) is a widely applied AEM that entails numerous crops and allows the simulation of crop sequences, utilizing the CENTURY model for soil processes. The present study aims to provide additional insights on the contribution of cover crops in different crop rotations on increasing SOC stocks using the DSSAT system applied to a case study in southwest Germany.

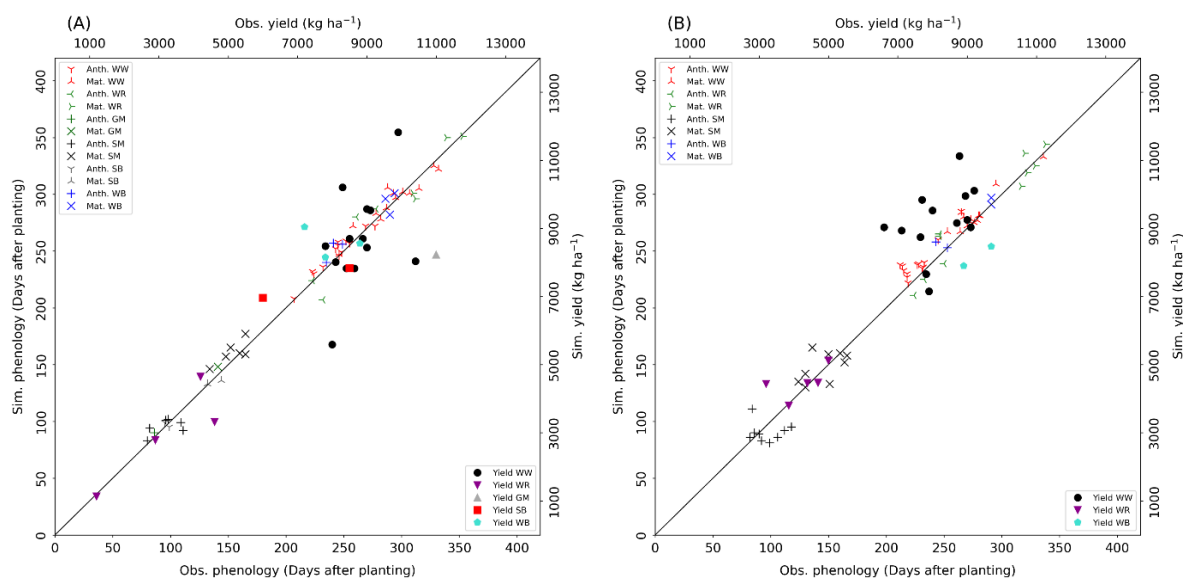


Fig. 1. Comparison of (A) model calibration and (B) validation on crop anthesis (Anth.), physiological maturity (Mat.), and yield for winter wheat (WW), winter rapeseed (WR), and winter barley (WB). Grain maize (GM) and spring barley (SB) were calibrated on single site-year data.

Materials and Methods

We calibrated and evaluated the AEM using a comprehensive, high-quality dataset on crop-soil-atmosphere processes assessed over nine years from 2009 to 2018 at six sites in southwest Germany (Weber et al., 2022). Calibration and validation results of simulated key crop-related variables such as crop phenology and final yield (Fig. 1), aboveground biomass during the season, and grain yield as well as key soil-related variables such as soil respiration and temperature as well as SOC developments indicated good agreement between simulated and observed data for a range of crop rotations comprising several field crops grown in the region with winter wheat, winter barley, winter rapeseed, and silage maize as the dominant crops. We then apply the parameterized model to explore the potential of enhancing SOC stocks by optimizing the cropping sequence among those field crops including an increase in cover crops.

Results and Discussion

Our simulation results indicate that the inclusion of legume CC in the rotation significantly increased yield and water productivity of main crops in the rotation as shown by the N0-L3 (i.e., zero non-legume – 3 legume CC in the rotation) treatment in Figure 2. Further, the soil organic N and C increased and leached N as well as N_2O emission decreased compared to N0-L0 treatment. Combination of non-legume and legume CCs treatment indicated an advantage in reducing soil respiration of CO_2 compared with legume only CCs treatment, which may be considered for enhancing SOC stocks while reducing the environmental impact of crop production (Fig. 2).

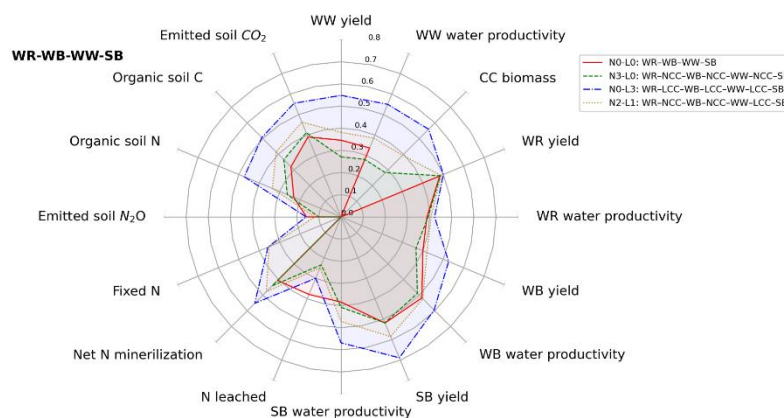


Fig. 2. Radar chart of soil and crop variables averaged across three cycles of crop rotation from 2006 to 2018 in the winter rapeseed (WR), winter barley (WB), winter wheat (WW), spring barley (SB) rotation. The unit of soil and crop yield variables before scaling was $kg\ ha^{-1}$ except for water productivity, which was $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$. Cover crop (CC) treatments included control, i.e., no cover crop N0-L0, and non-legume (N) and legume (L) treatments. For instance, N3-L0 indicates inclusion of three non-legume CCs and 0 legume CC and vice versa for N0-L3.

Literature

Weber et al. (2022) Multi-site, multi-crop measurements in the soil–vegetation–atmosphere continuum: a comprehensive dataset from two climatically contrasting regions in southwestern Germany for the period 2009–2018. doi.org/10.5194/essd-14-1153-2022

Assessing the Climate Change Impacts on Rye Production in Europe and Canada

Ashifur Rahman Shawon¹, Thomas Kämpfer², Lorenz Kottmann², Franz Joachim Fromme³, Anne Zaar⁴, Bernd Hackauf⁴ and Til Feike¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow; ²Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig; ³HYBRO Saatzucht GmbH & Co. KG, Schenkenberg; ⁴Julius Kühn-Institut, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, Groß Lüsewitz. E-Mail: Ashifur.Shawon@julius-kuehn.de

Introduction

Process-based crop models have gained significant importance in the study of genotype × environment × management (G × E × M) interactions in agriculture (Boote et al., 2013). As climate change (CC) poses a threat to global food security through increased droughts, higher temperatures, and altered precipitation patterns, understanding the potential effects of these changes on crop production becomes paramount (Challinor et al., 2014). Crop modelling has emerged as a vital tool for investigating viable adaptation measures in response to the challenges posed by CC (Asseng et al., 2015). This study focuses on rye, a promising crop in temperate regions due to its high resource use efficiency, adaptability to drought and frost conditions, and relatively low input requirements. Rye production has gained attention as a potential solution to mitigate the adverse impacts of CC on food production. Therefore, assessing rye production under present and future climatic conditions becomes crucial for ensuring food security in important rye-growing regions of the northern hemisphere. The primary objective of this research is to provide insights into the potential impact of CC on rye production in key regions. By utilizing the adapted CERES-rye model, we aim to evaluate the effects of CC on crop yields and identify potential adaptation strategies (Shawon et al., 2022). Additionally, this study will contribute to the understanding of rye's resilience and adaptability under changing climatic conditions, ultimately supporting the development of sustainable agricultural practices in the face of CC challenges.

Materials and methods

In this study, the LARS-WG6 (Semenov et al., 2002) stochastic downscaling model was employed to generate future climate data. The model underwent calibration and validation using historical climate data from 1985 to 2020 for multiple locations: Bohnhausen in Germany, Jogeva in Estonia, Jokioinen in Finland, Raasdorf in Austria, Choryn in Poland, and Lethbridge in Canada. By utilizing the statistical characteristics of observed climate data, the model simulated daily climate variables at these specific locations. The interpolation of statistical parameters for ungauged locations was performed using the inverse distance weighting method. Weather generator parameters from two global climate models (GISS-E2-R-CC, HadGEM2-ES) were utilized under the RCP45 and RCP85 scenarios. To evaluate the impact of CC on rye production, the CERES-rye model was employed. It simulated important crop characteristics including phenology, growth and yield. The simulations were conducted for three distinct time periods: the base period (2001-2020), mid-century (2031-2050), and end-century (2081-2100). This comprehensive analysis enabled the assessment of rye production under various CC scenarios throughout the 21st century.

Results and discussion

Projected changes in crop yields under different representative concentration pathways (RCPs) were evaluated for selected sites. Results indicated that, by mid-century, RCP4.5 was expected to produce a yield increase ranging from 8% to 48%, while RCP8.5 was projected to have a larger yield increase ranging from 38% to 87%. Similarly, by end-century, RCP4.5 was expected to result in a yield increase ranging from 14% to 60%, while RCP8.5 was projected to produce a yield increase ranging from 43% to 93% considering CO₂ Fertilization.

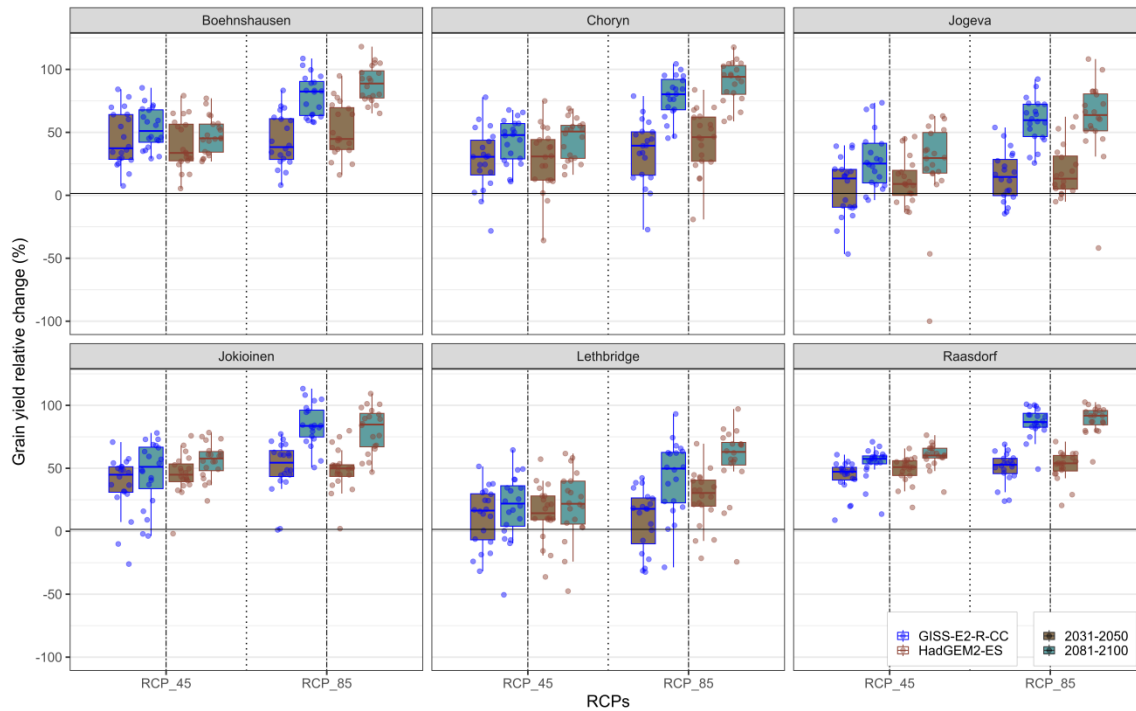


Figure 1. Impact of climate change on relative yield change in rye under different scenarios.

References

- Asseng, S., Ewert, F. et al. (2015). *Nat. Clim. Change.*, 5(2), 143-147.
- Boote, K. J., Jones, J. et al. (2013). *Plant Cell Environ.*, 36(9), 1658-1672.
- Challinor, A.J., Watson, J. et al. (2014). *Nat. Clim. Change.*, 4.4: 287-291.
- Rosenzweig, C., Elliott, J. et al. (2014). *Proceedings of the national academy of sciences*, 111(9), 3268-3273.
- Semenov, M. A., Barrow, E. et al. (2002). *User Man Herts UK*, 1-27.
- Shawon, A. R., Memic, E. et al. (2022). *Julius-Kühn-Archiv*, (471).

Trockenmassentranslokation in der Ertragsbildung von Winterweizen – Eine quantitative Betrachtung der Effekte von Genotyp, Management und Umwelt

Till Rose und Henning Kage

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Kiel.
E-Mail: rose@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Hohe Erträge an verwertbaren Pflanzenprodukten sind das übergeordnete Ziel von Pflanzenproduktionssystemen. Bei Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) sind in der Regel die Körner das geerntete Produkt, dessen akkumulierte Trockensubstanz aus zwei Quellen stammen kann: Assimilate, die durch die laufende Photosynthese während der Kornfüllung erzeugt werden, und Assimilate, die durch die Photosynthese vor der Kornfüllung erzeugt, erfolgreich remobilisiert und in die Körner transloziert werden (Savin und Slafer, 1991). Der Anteil translozierter Biomasse hängt von dem Anteil remobilisierbarer Assimilaten zur Blüte und der Effizienz der Remobilisierung nach der Blüte ab (Bonett und Incoll, 1993). In der Literatur werden zahlreiche Einflussgrößen auf beide Prozesse beschrieben. Die Betrachtungen sind hierbei meist qualitativ und vorhandene quantitative Betrachtungen sind beschränkt auf isolierte Einflussgrößen. Im Folgenden soll die Beschreibungsgüte einer Zusammenschau von quantitativen Einflussgrößen überprüft werden. Die hypothetischen Einflussgrößen sind aus der vorhandenen Literatur aggregiert.

Material und Methoden

Die Versuchsanordnung beinhaltete zwei orthogonale Faktoren – die Stickstoffdüngermenge und der Winterweizen-Genotyp – und wurde als vollständig randomisiertes Design mit 4 Wiederholungen angelegt. Der Faktor Stickstoff umfasste 5 Level: 0, 80, 160, 240 und 320 kg N ha⁻¹. Der Faktor Genotyp umfasste 14 in Deutschland zugelassene Sorten mit Zulassungsjahren zwischen 1975 und 2016 (Sorten siehe Abbildung). Die Feldversuche wurden in den Erntejahren 2020, 2021 und 2022 auf dem Versuchsgut Hohenschulen der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel durchgeführt. Handernten zur Blüte und zur Totreife (0.25 m²) und die Druschernte dienten zur Bestimmung der Einfluss- und Zielgrößen.

Die Menge der translozierten Biomasse wurde aus der Differenz der vegetativen Biomasse zur Blüte und zur Ernte bestimmt (Gallagher, 1975). Die Biomasse zur Blüte wurde anhand der aus Strahlungsaufnahmen abgeleiteten Wachstumsdynamiken auf den Blühtermin der Sorten standardisiert. Auf Grund von Lager wurden einzelne Parzellen im Erntejahr 2021 aus der weiteren Analyse entfernt. Zusätzlich wurde die Variante 0 kg N ha⁻¹ nicht betrachtet. Auf Grund von hier auftretender später Bestockung, sind Prozesse hier nicht abbildbar.

Ergebnisse und Diskussion

Das multiple lineare Regressionsmodell ohne Wechselwirkungen zur Beschreibung der translozierten Biomasse [g m⁻²] erreicht eine sehr hohe Beschreibungsgüte (adj. $R^2 = 0,90$) und zeigt keine systematischen Abweichungen im 1:1-Plot (Abbildung 1). Die Koeffizienten der Einflussgrößen zeigen die erwartete Richtung und alle Einflussgrößen können als wichtige Erklärungsgrößen gewertet werden (Tabelle 1). Auf Grund hoher Korrelation zwischen den Größen, kann die erklärte Varianz nicht sicher

aufgeteilt werden und die Bedeutung der Biomasse zur Blüte bleibt ungesichert (Tabelle 1). Ein wichtiger Anteil erklärter Varianz verbleibt dem Faktor Genotyp. Das dargestellte lineare Regressionsmodell quantifizierte die Bedeutung einzelner Prozesse bei der Biomassetranslokation. Es kann in Quellen-zentrierten Prozessmodellen direkt zur Korntrag- bzw. Ernteindex-Prognose verwendet werden und ermöglicht durch die Zerlegung der Translokation in einzelne Merkmalskomponenten die Analyse genetischer Effekte.

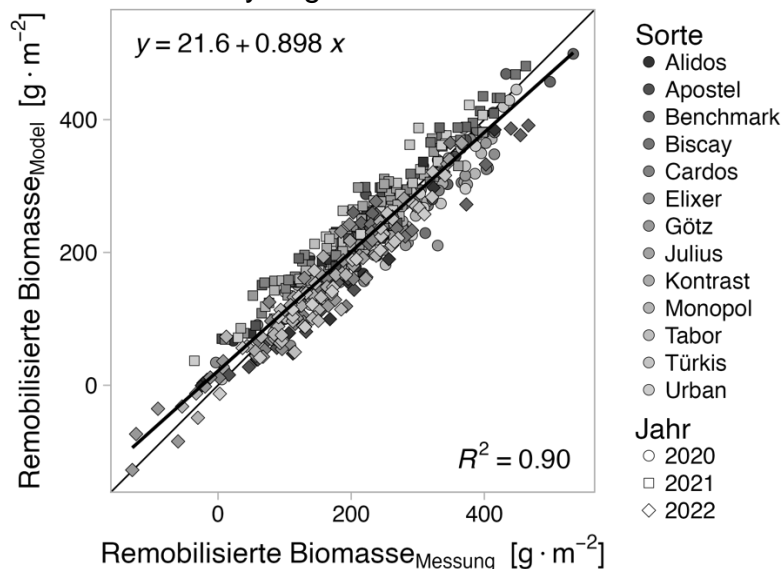


Abb. 1: 1:1-Beziehung zwischen Schätzwerten des multiplen linearen Regressionsmodells und der gemessenen translozierten Biomasse. N = 525.

Tab. 1: Merkmale der Einflussgrößen des multiplen linearen Regressionsmodells.

Einflussgröße	Koeffizient	p-Wert	Geschätzter Anteil erklärter Varianz	Anteil einzigartig erklärter Varianz
Biomasse nach Blüte [g m ⁻²]	-0.66	< 2.2e-16 ***	0.44	0.28
Genotyp [Faktor]	-41,0 – +91,2	< 2.2e-16 ***	0.18	0.13
Biomasse zur Blüte [g m ⁻²]	+0.133	6.962e-10 ***	0.10	0.01
Anzahl Triebe [n m ⁻²]	-0.566	< 2.2e-16 ***	0.09	0.05
Kornzahl [n m ⁻²]	+0.0305	< 2.2e-16 ***	0.09	0.06

Literatur

- Savin, R., & Slafer, G. A. (1991). Shading effects on the yield of an Argentinian wheat cultivar. *The Journal of Agricultural Science*, 116.1 (1991): 1-7.
- Bonnett, G. D., & Incoll, L. D. (1993). Effects on the Stem of Winter Barley of Manipulating the Source and Sink during Grain-filling: II. Changes in the composition of water-soluble carbohydrates of internodes. *Journal of Experimental Botany*, 44(1), 83-91.
- Gallagher, J. N., Biscoe, P. V., & Scott, R. K. (1975). Barley and its environment. V. Stability of grain weight. *Journal of applied ecology*, 319-336.

Do the sources of input data and aggregation influence the significance of high-yielding traits in crop model simulations?

Ehsan Eyshi Rezaei¹, Babacar Faye² and Heidi Webber¹

¹Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF). E-Mail: EhsanEyshi.Rezaei@zalf.de

²University of Sine Saloum EL-HÂDJ IBRAHIMA NIASS, Kaolack, Senegal

Introduction

Projected estimates indicate a 62% rise in global food demand by 2050 due to population growth, coupled with current patterns of consumption and growing affluence (van Dijk et al., 2021). Realizing such a substantial growth in food requirements presents not only a major challenge but also faces threats from climate change (Tian et al., 2021). Consequently, fostering the development of high-yielding, climate-resilient wheat cultivars is of paramount importance for meeting this food demand in a sustainable way. Increased radiation use efficiency, minimized floret abortion, uniform light distribution throughout the canopy (achieved using the light extinction coefficient), and greater potential grain weight have been identified as key traits that could enhance wheat yield. Nonetheless, there is a lack of understanding regarding how the significance of these traits might be influenced by spatial up-scaling and the selection of input data sources in impact assessment studies. Aiming to bridge this knowledge gap, our research evaluates the influence of fluctuations in radiation use efficiency, fruiting efficiency, and the light extinction coefficient on winter wheat yield simulations, utilizing various input data resolutions and sources.

Materials and method

The study workflow was established to meet both objectives, utilizing a modeling platform (SIMPLACE) and input data from diverse resolution-sources, paired with various trait combinations. Climate and soil data were generated or extracted at 1km×1km, 25km×25km, and 50km×50km intervals for Germany from multiple data sources. A factorial combination of traits (1881 combinations) was formulated based on the potential observed for radiation use efficiency (RUE at 19 levels), fruiting efficiency (FE at 9 levels), and light extinction coefficient (K at 11 levels) of wheat double-haploid lines. The modeling was implemented under rainfed conditions. The growth and yield of wheat were simulated at both the field scale and the individual grids where the field is situated, utilizing 1km, 25km, and 50km climate/soil datasets. This procedure was repeated for all trait combinations over the decade from 2001 to 2010.

Results and discussion

The simulation experiment, utilizing a range of RUE, K, and FE values, revealed substantial impacts on yield across varying resolution-source input data (Figure 1a). An increase in RUE compared to the base cultivar resulted in a yield boost of 2.28 t ha⁻¹ (averaged across all resolutions). However, enhancements in K and FE resulted in relatively marginal yield improvements of less than 0.4 t ha⁻¹ (Figure 1a). Field scale simulations indicated a strong response to shifts in high-yielding traits (an increase of 0.02 to 0.09 t ha per % of trait increment). On the other hand, use of 1km input data led to the most modest yield improvement (0.01 to 0.04 t ha⁻¹ increase per % of trait value increment) associated with high-yielding traits (Figure 1a). Previous studies demonstrated RUE's substantial potential to enhance yield by improving

biomass accumulation (Reynolds et al., 2017). Employing fixed climate inputs resulted in a significant divergence in year-to-year variability across different data resolutions and sources for the worst, best, and mean trait combinations (Figure 1b). Field and 25km input data revealed relatively similar temporal yield patterns and ranges (4.2 to 14.3 t ha⁻¹) for all trait combinations under a consistent climate (with dynamic soil) (Figure 1b). The temporal pattern of the simulated yield at 1 km and 50 km exhibited complete overlap, albeit with a notably lower simulated yield (1.6 to 8.5 t ha⁻¹) (Figure 1b). Incorporating fixed soil data (with dynamic climate) as model inputs negated the substantial discrepancy in the simulated yield generated by various resolution-sources (Figure 1b).

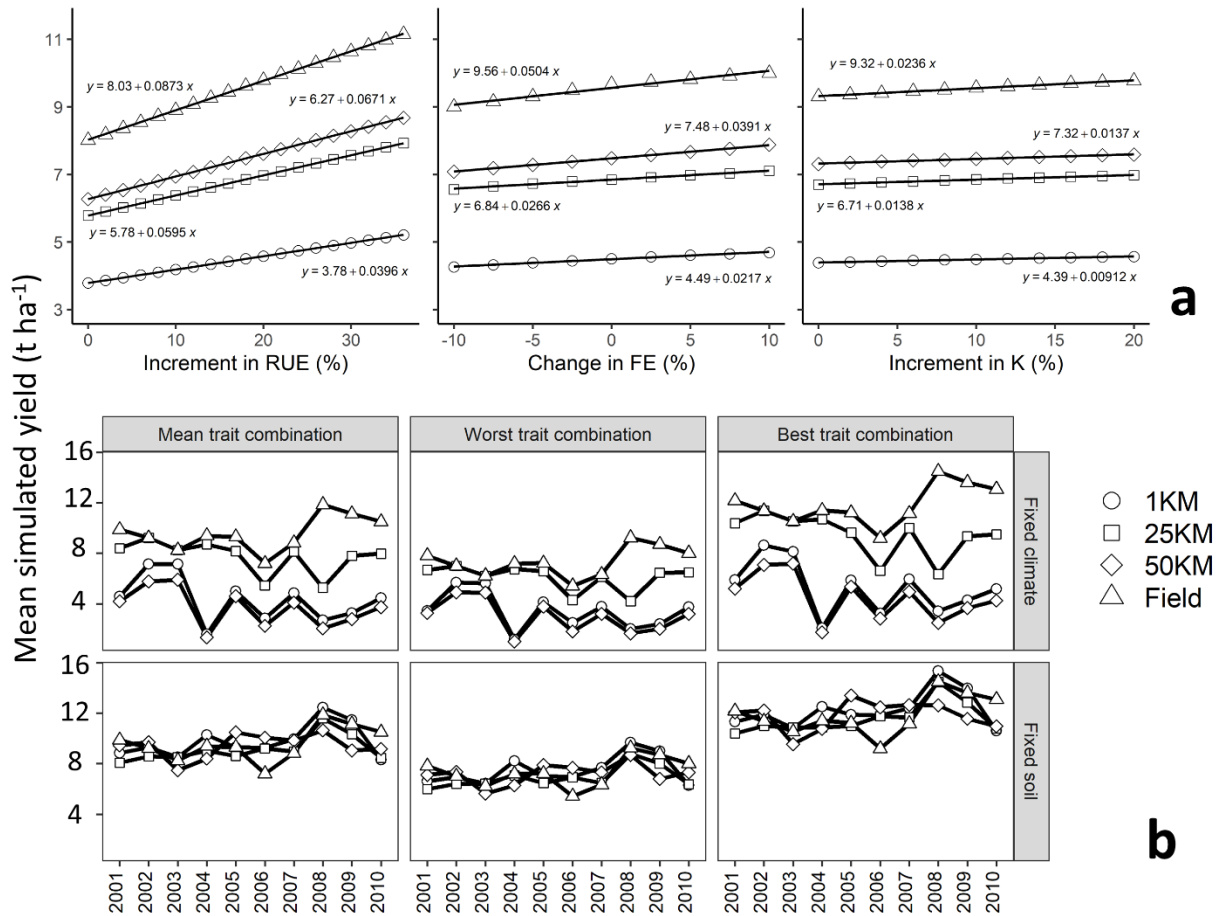


Figure 1. Mean simulated yield (2001-2010) for various levels of RUE, FE and K (increment from base cultivar), executed using field, 1km, 25km, and 50km resolution-source input data (a). Mean simulated yield using fixed climate and soil data for the worst (RUE: 0%; K: 0%; FE: -10%), best (RUE: 36%; K: 20%; FE: 10%), and mean trait combination (from 1881 combinations) during the 2001-2010 period, using different resolution-sources (b).

References

- Reynolds, M.P., et al., 2017. Strategic crossing of biomass and harvest index—source and sink—achieves genetic gains in wheat. *Euphytica* 213.
- Tian, X., et al., 2021. Will reaching the maximum achievable yield potential meet future global food demand? *Journal of Cleaner Production* 294, 126285.
- van Dijk, M., et al., 2021. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010-2050 (eng). *Nature food* 2, 494–501.

Zukunftsperspektiven für deutsche Agrarlandschaften – Wie Modellierung dabei helfen kann, Zielkonflikte einer landwirtschaftlichen Transformation zu minimieren

A. Kaim¹, B. Bartkowski², M. Gütschow², I. Heiß¹ und J. Linde²

¹Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department Landschaftsökologie, Leipzig;

²Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department Ökonomie, Leipzig.

E-Mail: andrea.kaim@ufz.de

Einleitung

Gesellschaftlich sowie politisch wird derzeit eine Transformation der Landwirtschaft („Agrarwende“) gefordert, die die vielfältigen Funktionen von Agrarökosystemen und die von ihnen erbrachten Ökosystemleistungen erhält und fördert und die Landwirtschaft an die zunehmend spürbaren Auswirkungen des Klimawandels anpasst. Eine solche Transformation wirft jedoch unterschiedliche Zielkonflikte auf – z. B. günstige Lebensmittel vs. Naturschutz. Wir präsentieren einen inter- und transdisziplinären Ansatz, der mithilfe agentenbasierter Modellierung und multikriterieller Optimierung sozioökonomische sowie ökologische Zielkonflikte einer landwirtschaftlichen Transformation aufzeigt. Untersucht werden die Auswirkungen unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bewirtschaftungspraktiken (z. B. Bodenbearbeitung, Düngung, Fruchtfolge) auf Ökosystemleistungen (z. B. landwirtschaftliche Produktion, Wasserqualität, Dürreschutz, Kohlenstoffbindung) unter Klimawandel. Ziel ist es, eine sowohl aus sozioökonomischer als auch ökologischer Perspektive „optimale“ räumliche Verteilung dieser Bewirtschaftungspraktiken zu ermitteln, die Zielkonflikte minimiert.

Material und Methoden

Der hier vorgestellte Modellierungsansatz (Abb. 1) wird auf die Fallstudienregion Nordwestsachsen angewandt. Diese Region umfasst etwa 655 km² landwirtschaftliche Nutzfläche, davon ca. 66 % größtenteils intensiv genutztes Ackerland mit guter Bodenqualität. Bewirtschaftet wird diese von etwa 500 Betrieben mit einer durchschnittlichen Betriebsgröße von 133 ha.

Die Ermittlung der ökologischen Zielkonflikte erfolgt mittels multikriterieller Optimierung in Kombination mit Ökosystemleistungsmodellen. Der Optimierungsalgorithmus erzeugt Lösungen mit unterschiedlichen räumlichen Anordnungen von Bewirtschaftungspraktiken. Diese werden innerhalb des Optimierungsprozesses durch prozessbasierte Modelle hinsichtlich ihrer Eignung zur Maximierung von Ökosystemleistungen in der Region bewertet. Am Ende liefert der Algorithmus eine Menge Pareto-optimaler Lösungen, die den Raum der biophysikalisch „optimalen“ Verteilung der Bewirtschaftungspraktiken aufzeigen. Die sozioökonomischen Zielkonflikte werden hingegen über ein agentenbasiertes Modell identifiziert. Dieses simuliert die Bewirtschaftungsentscheidungen von Landwirt:innen basierend auf verschiedenen Politikmaßnahmen. Die Lösungen beider Ansätze sollen schließlich analog zur konzeptionellen Vorgehensweise von Bartkowski et al. (2020), kombiniert werden, um aufzuzeigen, wie „nah“ die aus sozioökonomischer Sicht „optimale“ Verteilung der Bewirtschaftungspraktiken an die biophysikalisch „optimale“ Verteilung herankommt. Zudem sollen mithilfe öffentlicher Präferenzen für Ökosystemleistungen gesellschaftlich bevorzugte Lösungen ausgewählt werden. Zur

Berücksichtigung von Klimawandel-Effekten, wird die Analyse für verschiedene Klima-Szenarien durchgeführt.

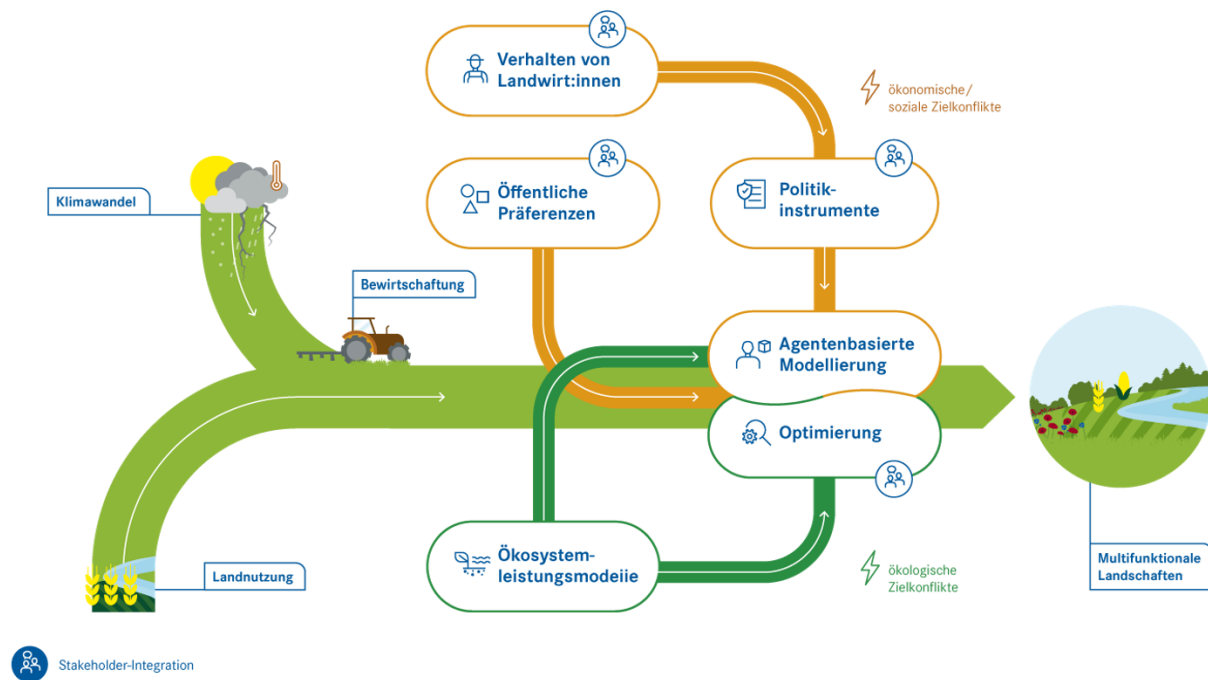


Abb. 1 Konzeptionelle Darstellung des Modellierungsansatzes.

Ergebnisse und Diskussion

Neben zahlreichen Teilergebnissen der einzelnen Modelle, sind die erwarteten Ergebnisse des gesamten Ansatzes (i) aufgezeigte Zielkonflikte, die bei einer Transformation von intensiv genutzten Agrarlandschaften hin zu Multifunktionalität unter Klimawandel auftreten können und (ii) gesellschaftlich akzeptierte Transformationspfade, die Zielkonflikte minimieren und der dafür nötige Politik-Mix. Nordwestsachsen wurde als Fallstudienregion ausgewählt, da sie beispielhaft für intensiv genutzte Agrarlandschaften Deutschlands steht, in denen die größten Zielkonflikte zu erwarten sind. Daher können die aus den Modellierungs-Ergebnissen gewonnenen Handlungsempfehlungen teilweise auf landschaftlich und strukturell ähnliche Regionen übertragen werden. Darüber hinaus sorgt die hohe Stakeholder-Integration in den verschiedenen Modellierungsschritten für ein hohes Maß an gesellschaftlicher und praktischer Relevanz der Ergebnisse.

Literatur

Bartkowski, B.; Beckmann, M.; Drechsler, M.; Kaim, A.; Liebelt, V.; Müller, B. et al. (2020): Aligning Agent-Based Modeling With Multi-Objective Land-Use Allocation: Identification of Policy Gaps and Feasible Pathways to Biophysically Optimal Landscapes. In: Front. Environ. Sci. 8, S. 103. DOI: 10.3389/fenvs.2020.00103.

Das Gibberellin-sensitive Kurzstrohgen *Ddw1* wirkt sich nicht negativ auf das Wurzelsystem von Winterroggen unter Feldbedingungen aus

Lorenz Kottmann¹, Wanda Burzik², Til Feike³, Dörthe Siekmann⁴, Joachim Fromme⁴, Veronika Kucherova⁵ und Bernd Hackauf⁵

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig; ²Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Halle (Saale); ³Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow; ⁴HYBRO Saatzucht GmbH & Co. KG, Schenkenberg; ⁵Julius Kühn-Institut, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, Groß Lüsewitz. E-Mail: lorenz.kottmann@julius-kuehn.de

Einleitung

Roggen zeichnet sich durch ein tiefreichendes und weit verzweigtes Wurzelsystem aus und eignet sich daher besonders für den Anbau auf marginalen Standorten und unter Trockenheit (Kottmann et al. 2016; Hübner et al. 2013). Allerdings weist Roggen ein niedriges Korn-Stroh-Verhältnis und eine hohe Lagerneigung auf, da die Wuchshöhe des Roggens züchterisch bislang nur geringfügig reduziert werden konnte. Dies erschwert die Ausweitung der Anbaubedeutung von Roggen. Abhilfe könnte die Reduktion der Wuchshöhe durch die Einkreuzung von Kurzstrohgenen, wie dem Gibberellin-sensitiven Kurzstrohgen *Ddw1* schaffen (Braun et al. 2019). Bei Weizen hat die Einkreuzung von Kurzstrohgenen jedoch neben einer reduzierten Wuchshöhe auch zu negativen Effekten auf das Wurzelsystem geführt; unter anderem zu einer geringeren Wurzellänge und -biomasse (Subira et al. 2016) sowie geringeren Wachstumsraten (McGrail und McNear 2021). Für Roggen liegen derzeit noch keine Informationen zum Einfluss von Kurzstrohgenen auf das Wurzelsystem vor.

Material und Methoden

Im Rahmen des EU-Projektes RYE-SUS¹ wurde Roggenhalbzwerge auf der Basis des Gibberellin-sensitiven Kurzstrohgens *Ddw1* entwickelt. Zur Bewertung der Auswirkungen auf das Wurzelsystem wurden an den JKI-Standorten Braunschweig und Groß Lüsewitz Feldversuche mit jeweils drei Halbzwerge-Testhybriden (mit *Ddw1*), nahisogenen langstrohigen Vollgeschwistern (ohne *Ddw1*) sowie modernen Sorten angelegt. Zum Zeitpunkt der Blüte wurden Bohrkerne mittels Rammkernsondierung entnommen und die Merkmale Wurzeltiefe, Gesamtwurzellänge und Wurzellängendichte in verschiedenen Tiefen bestimmt. Zusätzlich wurden oberirdische Pflanzenparameter erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Die Einkreuzung von *Ddw1* führte bei den Halbzwerge zu deutlich reduzierten Wuchshöhen. Die Halbzwerge zeigten jedoch vergleichbare Durchwurzelungstiefen wie ihre nahisogenen langstrohigen Vollgeschwister und moderne Roggensorten. Die Gesamtwurzellänge und die Wurzellängendichte in verschiedenen Tiefen waren bei den Halbzwerge etwas höher, die Unterschiede waren jedoch statistisch nicht abzusichern (Abb. 1). Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass durch die Einkreuzung von *Ddw1* keine negativen Auswirkungen auf das Wurzelsystem des

¹Entwicklung von standfestem und klimaangepasstem Roggen - ein Beitrag zur nachhaltigen Getreideproduktion in marginalen Umwelten

Roggens zu erwarten sind und der Roggen die Vorteile seines tiefen und weit verzweigten Wurzelsystems nicht verliert. Eine weitere Bewertung von Roggenhalbzweigen unter verschiedenen Umweltbedingungen ist erforderlich, um diese Schlussfolgerung weiter zu untermauern.

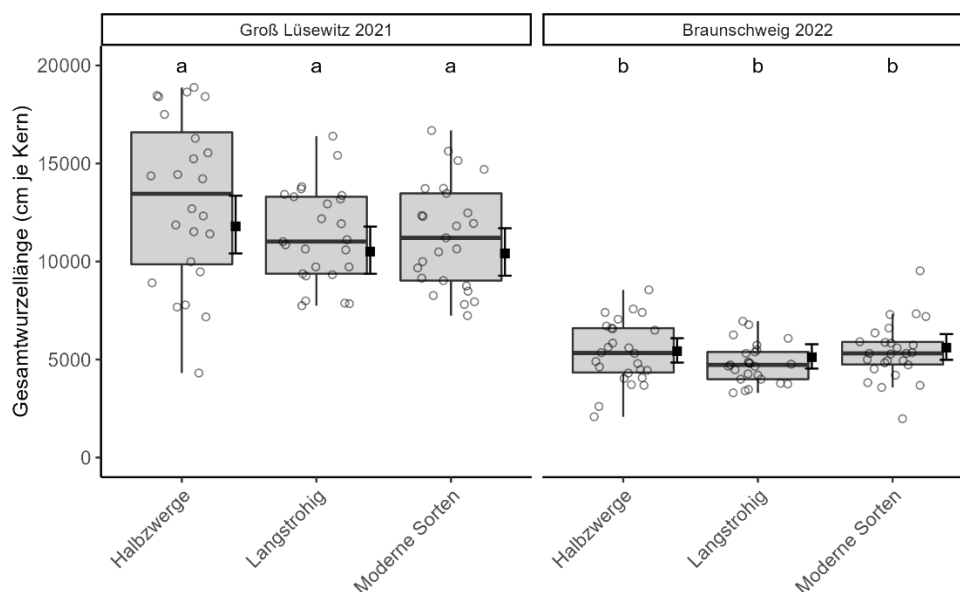


Abb. 1: Boxplots für die Gesamtwurzellänge für jede Genotypengruppe in Groß Lüsewitz und Braunschweig. Angepasste Mittelwerte (durch das Modell geschätzte Punkte sowie das 95%-Konfidenzintervall) sind in schwarz angegeben. Genotypengruppen, die keinen gemeinsamen Buchstaben teilen, unterschieden sich signifikant voneinander ($\alpha = 0,05$).

Literatur

- Braun, Eva-Maria; Tsvetkova, Natalia; Rotter, Björn; Siekmann, Dörthe; Schwefel, Konrad; Krezdorn, Nicolas et al. (2019): Gene Expression Profiling and Fine Mapping Identifies a Gibberellin 2-Oxidase Gene Co-segregating With the Dominant Dwarfing Gene Ddw1 in Rye (*Secale cereale* L.). In: *Front. Plant Sci.* 10, S. 857.
- Hübner, M.; Wilde, P.; Schmiedchen, B.; Dopierala, P.; Gowda, M.; Reif, J. C.; Miedaner, T. (2013): Hybrid rye performance under natural drought stress in Europe. In: *Theor. Appl. Genet.* (126), S. 475–482.
- Kottmann, Lorenz; Wilde, Peer; Schittenhelm, Siegfried (2016): How do timing, duration, and intensity of drought stress affect the agronomic performance of winter rye? In: *Eur. J. Agron.* 75, S. 25–32.
- McGrail, Rebecca K.; McNear, David H. (2021): Two centuries of breeding has altered root system architecture of winter wheat. In: *Rhizosphere* 19, S. 100411.
- Subira, Joan; Ammar, Karim; Álvaro, Fanny; García del Moral, Luis F.; Dreisigacker, Susanne; Royo, Conxita (2016): Changes in durum wheat root and aerial biomass caused by the introduction of the Rht-B1b dwarfing allele and their effects on yield formation. In: *Plant Soil*, S. 1–14.

Die Förderung des Vorhabens erfolgte mit Mitteln aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union. Das Projekt RYE-SUS wurde im Rahmen des ERA-NET Cofund SusCrop (Förderkennzeichen 771134) durchgeführt und ist Teil der Joint Programming Initiative on Agriculture, Food Security and Climate Change (FACCE-JPI).

Potentiale von PGPM - Anwendungen zur Steigerung der Produktivität im ökologischen Ackerbau der gemäßigten Breiten

Neuhoff D¹ und Hett, J²

¹Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Abt. Agrarökologie und Organischer Landbau, Universität Bonn, Auf dem Hügel 6, 52121 Bonn, E-Mail: d.neuhoff@uni-bonn.de;

²Landwirtschaftskammer NRW, Pflanzenschutzdienst, Gartenstraße 11, 50765 Köln-Auweiler

Einleitung

Im ökologischen Ackerbau wird vermehrt eine Vielzahl von alternativen Produkten aus den Kategorien Biostimulanzien und Pflanzenstärkungsmitteln mit der Erwartung eingesetzt, dessen Nachhaltigkeit durch eine höhere Ressourceneffizienz zu steigern. Gleichmaßen wird im konventionellen Ackerbau durch eine gezielte Verwendung dieser Produkte auch eine Verringerung des Mineraldünger- und Pflanzenschutzmittelsatzes angestrebt. Eine häufig als vielversprechend diskutierte Untergruppe umfasst hierbei die sogenannten PGPM (plant growth-promoting microorganisms), denen eine ertragssteigernde Wirkung als Folge verschiedener physiologischer Effekte, u.a. assoziative N₂-Fixierung, zugeschrieben wird (Hett et al. 2022). Viele dieser Mechanismen sind unter Labor- bzw. Gefäßversuchsbedingungen eingehend beschrieben worden. Demgegenüber gestaltet sich die Erzielung reproduzierbarer Effekte unter Feldbedingungen kulturübergreifend als schwierig (O’Callaghan et al. 2022). Zunehmend diskutiert wird deswegen die gezielte Nutzung von speziellen Konsortien, in denen verschiedene PGPM additiv und komplementär, vor allem aber synergistisch wirken sollen. Im ökologischen Landbau könnte der erfolgreiche Einsatz von PGPM dabei helfen, die Ertragslücke zu konventionellen Systemen verringern. Vorgestellt werden hier die Ergebnisse von Feldversuchen zum Einsatz von PGPM - Konsortien in Öko-Mais und Kartoffeln, die im Rahmen des EU-Projektes SIMBA (<https://simbaproject.eu/>) durchgeführt wurden.

Material und Methoden

In den Jahren 2020 - 2022 wurden insgesamt vier Feldversuche mit Körnermais und zwei mit Speisekartoffeln unter ökologischen Anbaubedingungen im Rheinland durchgeführt. Standorte waren der Campus Wiesengut / Hennef der Universität Bonn und ein Praxisbetrieb bei Bonn. In allen Versuchen wurde das im Rahmen des Projektes entwickelte Konsortium MCC mit einem kommerziellen PGPM Produkt und einer unbehandelten Kontrolle in Spalt- bzw. Blockanlagen mit vier Wiederholungen verglichen. Die Variante MCC bestand aus den Stämmen *Bacillus amyloliquefaciens* LMG9814, *Pseudomonas fluorescens* DR54, *Rahnella aquatilis* BB23/T3d, *Azotobacter chroococcum* LS132 und *Burkholderia ambifaria* MCI7, die mit einer Mindestkonzentration von 10⁶ CFU je ml, stabilisiert in Zeolith-Pulver zur Aussaat bzw. Pflanzung ausgebracht wurden. In den Maisversuchen erfolgte zur Blüte eine erneute Applikation der Konsortien. Weiterer Faktor in den Maisversuchen war eine gestaffelte N-Düngung mit Kartoffelfruchtwasser (PPL). Erfasst wurde ein weites Spektrum an Parametern zu Pflanzenwachstum, Nährstoffaufnahme und Ertrag. Zudem wurden Rhizosphärenproben im Mais entnommen und hinsichtlich der Zusammensetzung ihres Mikrobioms charakterisiert. Die Datenauswertung erfolgte varianzanalytisch.

Ergebnisse und Diskussion

Die Anwendung von MCC führte in einem Maisversuch zum Zeitpunkt des Schossens zu signifikant höheren Pflanzenlängen (+17%), Spross N-Gehalten (+17%) sowie zu signifikant höheren Spross N- und P-Aufnahmen (+ 34% bzw. + 25%). Höhere Kornerträge als Folge der Anwendung von MCC wurden in diesem Versuch nicht festgestellt. In den anderen drei Maisversuchen hatte MCC keinen Einfluss auf Biomasse, NDVI-Werte und Nährstoffaufnahme zu verschiedenen Entwicklungsstadien sowie auf den finalen Kornertrag. Wachstum- und ertragssteigernde Effekte einer Düngung mit PPL waren dahingegen in allen Versuchen signifikant. Wechselwirkungen zwischen PPL- und PGPM- Anwendungen wurden nicht festgestellt. Das kommerzielle PGPM Produkt wies in keinem Versuch ertragssteigernde Effekte auf. Die Zusammensetzung des Rhizosphärenmikrobioms wurde durch MCC - Anwendung zum Zeitpunkt der Maisernte nicht beeinflusst.

In beiden Kartoffelversuchen wurden weder wachstums- noch ertragssteigernde Effekte nach Anwendung von MCC bzw. dem kommerziellen Produkt festgestellt. Schädigungen an der Schale durch biotische Schaderreger (Schorf, *Rhizoctonia solani*) wurden durch MCC Anwendung ebenfalls nicht beeinflusst.

Die hier vorgestellten umfangreichen Untersuchungen (vgl. Hett et al. 2023) stimmen mit der Einschätzung verschiedener Autoren überein, dass unter temperierten klimatischen Bedingungen i.d.R. selten reproduzierbare Effekte von PGPM unter Feldbedingungen zu erwarten sind (z.B. Mayer et al. 2010). Die Gründe für die Nichtwirksamkeit von PGPM im Feld sind häufig vielfältig, z. T. noch unbekannt und in faktoriellen Versuchen schwer nachweisbar. Erschwert wird eine objektive Prüfung von PGPM auch durch das Fehlen von Richtlinien und Effizienzkriterien, wie sie für mikrobielle Pflanzenschutzmittel (EPPO-Richtlinien) vorliegen.

Ist die Qualität des PGPM Konsortiums durch hinreichend hohe CFU-Werte sichergestellt, hängt eine erfolgreiche Etablierung in der Rhizosphäre von dem dort vorhandenen Mikrobiom sowie von abiotischen Faktoren ab. Letztere unterscheiden sich im Feld deutlich von Gefäßversuchen, in denen konstante Bodentemperaturen und -feuchten die Wirksamkeit von PGPM begünstigen. Die häufig in tropischen Klimaten nachgewiesenen Effekte von PGPM unterstreichen die Bedeutung der Bodentemperatur und begründen eine vertiefte Erforschung dieses Faktors. Weiterhin bedarf der Nachweis des Inokulums in der Rhizosphäre nach PGPM - Anwendung einer eingehenden Erforschung. Nach unseren Ergebnissen ist nicht zu erwarten, dass der Einsatz von PGPM zu höherer Produktivität im ÖL des gemäßigten Klimas führt.

Literatur

- Hett, J., Neuhoff, D., Döring, T. F., Masoero, G., Ercole, E., & Bevivino, A. (2022). Effects of multi-species microbial inoculants on early wheat growth and litterbag microbial activity. *Agronomy*, 12(4), 899.ext.
- Hett, J., Döring, T. F., Bevivino, A., & Neuhoff, D. (2023). Impact of microbial consortia on organic maize in a temperate climate varies with environment but not with fertilization. *European Journal of Agronomy*, 144, 126743.
- Mayer, J., Scheid, S., Widmer, F., Fließbach, A., Oberholzer, H.-R., 2010. How effective are 'Effective Microorganisms® (EM)'? Results from a field study in temperate climate. *Appl. Soil Ecol.* 46, 230–239.
- O'Callaghan, M., Ballard, R. A., & Wright, D. (2022). Soil microbial inoculants for sustainable agriculture: Limitations and opportunities. *Soil Use and Management*, 38(3), 1340-1369.

Soil roughness detection for controlling a power harrow

Gerhard Moitzi¹, Josef Huber¹, Peter Riegler-Nurscher², Jürgen Karner²,
Hans-Peter Kaul³, Johann Prankl² and Helmut Wagentristl¹

¹Experimental Farm Groß-Enzersdorf, Department of Crop Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Groß-Enzersdorf, Austria; E-Mail: gerhard.moitzi@boku.ac.at

²Josephinum Research, Rottenhauser Strasse 1, 3250 Wieselburg, Austria

³Institute of Agronomy, Department of Crop Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Tulln, Austria

Introduction

Seedbed preparation with power harrow is usually used in conventional tillage systems. An optimal plant emergence after seeding requires a crop- and soil-specific seedbed. Seedbed preparation targets at an optimal water, temperature and oxygen supply for the germination of seeds. An important determinate of the seed grain/soil contact is the mean seed size and mean soil aggregate particle size (Baeumer, 1992). The seed bed quality (expressed by the mean-weight diameter, MWD) is affected by the machinery parameters (working depth, driving speed, power take-off (PTO), rotating speed and geometry of the harrow tines) and soil properties. Seedbed preparation is usually carried out homogeneously with fixed machinery parameters for the whole field. An on-line control system would set the machinery parameter to specific soil conditions for a homogeneous seedbed, and therefore a simultaneous germination across the field. In this study, a real-time automatic system for controlling a power harrow depending on the soil roughness was developed.

Material and Methods

The field experiments were carried out at two field sites with different soil types (Calcaric Chernozem in Groß-Enzersdorf, Cambisol in Krummnußbaum). The different soil surface roughnesses (expressed as soil aggregate size distribution) of the seedbed were obtained by varying the primary tillage implement (mouldboard plough, cultivator, short disc harrow) and the driving speed during secondary tillage (power harrow). From each soil roughness treatment, stereo images with a RGB stereo camera were taken and soil samples were collected for dry sieving analysis. For the validation of the camera system, we calculated the mean-weight diameter (MWD) from the seven sieving fractions (>40 mm, >20 mm, >10 mm, >5 mm, >2.5 mm, >1.25 mm and <1.25 mm; data not shown) according to Schönhammer (1982). We searched with stepwise regression analyses for the best fit of MWD (measured with the sieve analysis) and measured roughness indices with the stereo camera. The effect of the seedbed roughness on plant emergence after seeding was also assessed and the results are presented by Huber (2018).

Results and Discussion

The primary tillage affected the roughness of seedbed after power harrowing. In the experiment on cambisol (10% sand, 70% silt, 20% clay), the short disc harrow – used as a primary tillage implement – resulted in a finer seed bed, compared to mouldboard plough and cultivator (Table 1). The PTO-speed effect on crumbling was significant for mouldboard plough and cultivator. On the site with calcaric chernozem (36% sand, 44% silt, 20% clay) the seedbed was finer according MWD and

significantly different between the primary tillage treatments: ploughing 19.9 mm, deep cultivating 14.3 mm and shallow cultivating 11.3 m (Huber, 2018).

Table 1: Mean-weight diameter (mm) in the seedbed horizon after different primary tillage operations and PTO-speed of the power harrow, cambisol (loamy silt)

Tillage	PTO-speed (1 min ⁻¹)		
	300	540	1000
Mouldboard plough	41.5 ^{b1)}	26.9 ^a	23.6 ^a
Cultivator	34.8 ^c	27.6 ^b	20.2 ^a
Short disc harrow	24.6	25.8	18.7

¹⁾Significant differences (Student-Newman-Keuls, $p < 0.05$) for PTO-speed effect are shown with small superscript letters.

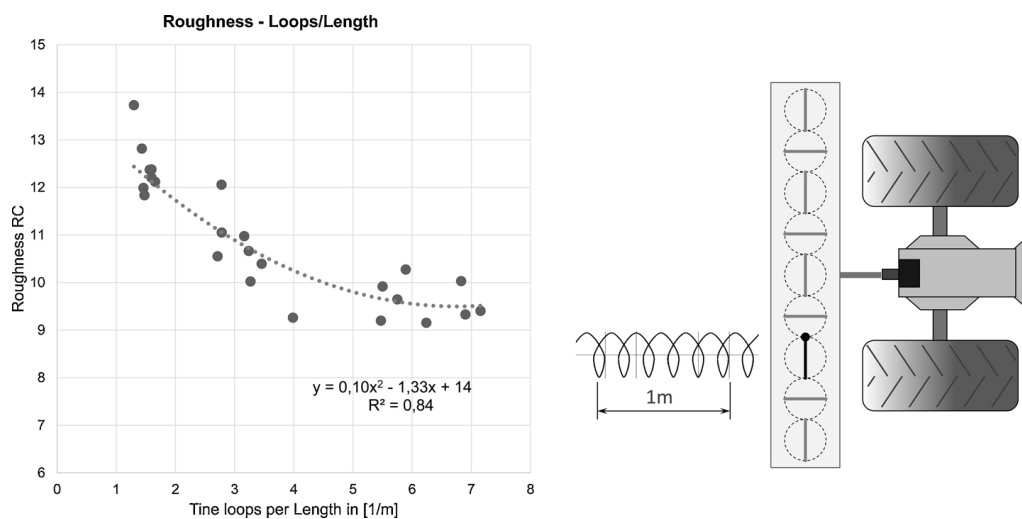


Figure 1: Roughness RC results by different working intensities (tine loops per m).

The correlation analysis between the variables MWD and measured roughness indices with stereo camera showed that the roughness index RC fitted best to the roughness. The roughness index RC can be explained by the working intensity of the power harrow (expressed as the ratio of rotation speed of the tines and the driving speed; rpm/(m/s)) (Figure 1).

This roughness index RC was the input for a control algorithm, which is integrated into an ISOBUS Class III application which controls the PTO speed of a tractor in order to prepare a homogeneous soil roughness (Riegler-Nurscher et al. 2020).

Literature

Baeumer, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. 3. Auflage, UTB, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Huber, J. (2018): Erfassung der Bodenrauigkeit mittels Siebanalyse und optischer Bodenscannung als Basis für die Entwicklung einer kameragestützten Saatbettbereitung. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.

Schönhammer, J. (1982): Der Arbeitseffekt zapfwellengetriebener Bodenbearbeitungsgeräte. Dissertation, Technische Universität München.

Riegler-Nurscher, P., Moitzi, G., Prankl, J., Huber, J., Karner, J., Wagentristl, H., Vincze, M. (2020): Machine vision for soil roughness measurement and control of tillage machines during seedbed preparation. Soil and Tillage Research 196, 104351

Einfluss von 1RS-Roggentranslokationen auf das Wurzelsystem und die Trockenstresstoleranz von Winterweizen

Thomas Kämpfer¹, Lorenz Bülow², Adalbert Bund³, Lorenz Hartl³, Volker Mohler³, Bernd Hackauf² und Lorenz Kottmann¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig;

²Julius Kühn-Institut, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, Groß Lüsewitz;

³Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising. E-Mail: thomas.kaempfer@julius-kuehn.de

Einleitung

Aufgrund veränderter Niederschlagsverteilungen mit abnehmenden Niederschlagsmengen in den Frühjahrs- und Frühsommermonaten gewinnen trockenstresstolerante Weizengenotypen verstärkt an Bedeutung. Das Wurzelsystem ist ein zentraler Faktor im Wasserhaushalt des Weizens und stellt ein Schlüsselmerkmal im Hinblick auf die Optimierung der Aufnahme von Wasser und Nährstoffen dar. Weizen mit spontanen Translokationen aus dem Roggen, insbesondere solche mit dem kurzen Arm von Chromosom 1 (1RS), sind weltweit vor allem aufgrund ihrer Resistenz gegenüber biotischen Stressfaktoren in Weizenzüchtungsprogrammen integriert worden (Crespo-Herrera et al. 2017).

Im Verbundvorhaben TERTIUS^{*} wird daher das Ziel verfolgt, durch gezielte Nutzung entsprechender 1RS-Translokationen Weizenprototypen mit optimierter Wurzeleistung, verbesserter Wassernutzungseffizienz und guter Backqualität zu entwickeln, die sich auch unter Trockenstress durch eine stabil hohe Kornertragsleistung auszeichnen.

Material und Methoden

In einem Teilprojekt von TERTIUS wurden am Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des JKI in 2021 und 2022 vier Genotypen-Gruppen einer Kreuzungspopulation der Sorten 'Asory' (T1AL.1RS-Translokation der Roggenherkunft 'Insave' auf Chromosom 1A, hoher Ertrag unter Trockenstress) und 'Kamerad' (T1BL.1RS-Translokation der Roggenherkunft 'Petkus' auf Chromosom 1B, geringerer Ertrag unter Trockenstress) mit definierter Konstitution bezüglich der Translokation, die Eltern 'Asory' und 'Kamerad' sowie sechs Verrechnungssorten unter kontrolliertem Trockenstress (30-50 % nFK) in Rain-out Shelters und unter optimaler Wasserversorgung (> 70 % nFK) hinsichtlich ihrer Trockenstresstoleranz charakterisiert. Neben der zentralen Zielgröße Kornertrag wurden verschiedene weitere agronomische, phänologische und physiologische Merkmale mit Hilfe von Feldmessungen (z. B. Blattflächenindex) und Fernerkundungsmethoden (z. B. spektrale Reflexion) erfasst. Da all diese Merkmale von der Wasseraufnahme beeinflusst werden, wurden analog dazu Gefäßversuche durchgeführt, um Einblicke in die Wurzelarchitektur und die Wurzelbiomasse der Genotypen zu erhalten.

Ergebnisse und Diskussion

Die zweijährigen Ergebnisse zeigen, dass unter Trockenstress bei dem Elter 'Asory' sowie den Genotypen-Gruppen mit T1AL.1RS-Translokation in Bezug auf den relativen Kornertrag eine Überlegenheit gegenüber Genotypen mit T1BL.1RS-Translokation zu erkennen war. Es wird darüber hinaus deutlich, dass eine

^{*}Genom-basierte Strategien zur Nutzung des tertiären Genpools für die Züchtung klimaangepassten Weizens

T1AL.1RS/T1BL.1RS-Doppeltranslokation ebenso positive Effekte hatte, die es dem Weizen unter Trockenstress ermöglichten, vergleichsweise hohe Erträge auszubilden (Abb. 1). Die erfolgreiche Stressantwort äußerte sich durch erhöhte Vegetationsindizes (z.B. LAI, NDVI) und insbesondere durch eine erhöhte Wurzelmasse im Gefäßversuch (nicht abgebildet). Auffällig ist, dass die Verrechnungssorte 'Campesino' trotz T1AL.1RS-Translokation eine vergleichsweise geringe Ertragsleistung zeigte. In der Beschreibenden Sortenliste ist 'Campesino' in den Merkmalen Zeitpunkt Ährenschieben (APS4) und Frühreife (APS4) im Vergleich zu 'Asory' (APS5) als frühzeitiger eingestuft. Diese ausgeprägten Unterschiede in der Pflanzenentwicklung beeinflussen die Kornertragsleistung und lassen keine Aussagen zum Effekt der Roggentranslokation in den beiden genetischen Hintergründen zu.

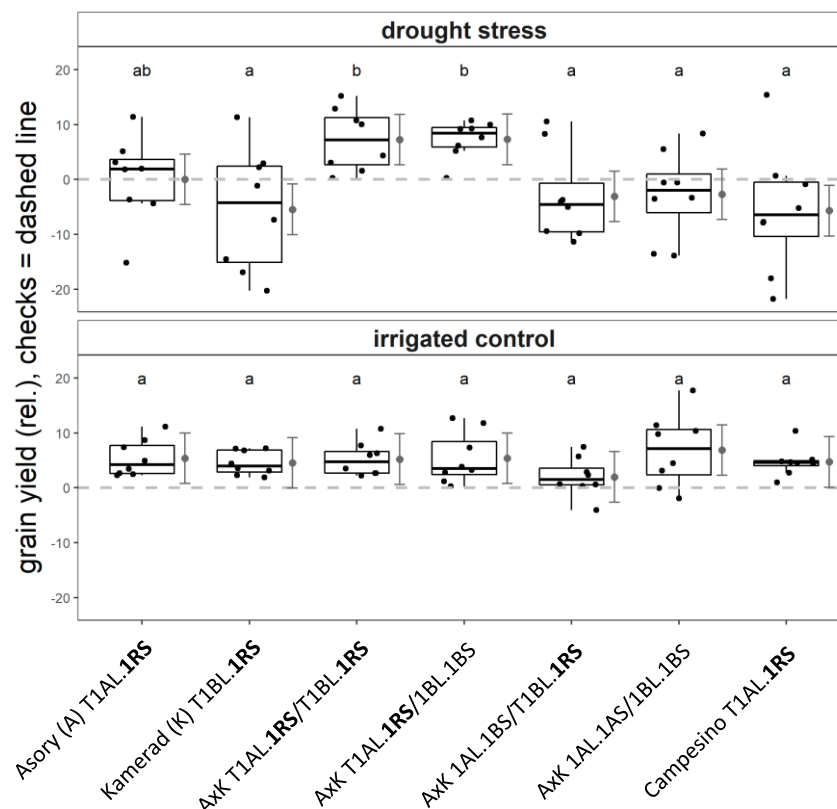


Abb. 1: Relativertrag (VRS: JB Asano, RGT Reform, Julius, Nordkap, Jubilo) bei Trockenstress (oben, 30-50 % nFK) und bei optimaler Wasserversorgung (bewässerte Kontrolle unten, > 70 % nFK), Gruppen mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb der Umwelten unterscheiden sich signifikant, Tukey-Test, $\alpha=0,05$, zwei Versuchsjahre.

Die Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass die in 'Asory' vermittelte Trockenstresstoleranz auf die 1AL.1RS-Translokation, auch in Kombination mit der 1BL.1RS-Translokation, zurückzuführen scheint.

Literatur

Crespo-Herrera L. A., Garkava-Gustavsson L., Åhman I. (2017): A systematic review of rye (*Secale cereale* L.) as a source of resistance to pathogens and pests in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Hereditas* 154 (14).

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung, Förderkennzeichen 28A8406A18.

Understanding soil health through soil analyses

Jan Adriaan (Arjan) Reijneveld¹, Marthijn Jasper van Oostrum²,
Daniel Boguschewski³ and Oene Oenema⁴

¹Eurofins International Agro Competence Center, Binnenhaven 5, 6709 PD Wageningen, The Netherlands. E-Mail: ArjanReijneveld@Eurofins.com

²Eurofins Agraranalytik Deutschland GmbH Jena, Germany

³Eurofins, Binnenhaven 5, 6709 PD Wageningen, The Netherlands

⁴Wageningen Environmental Research, Wageningen University & Research, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen, The Netherlands.

Introduction

At least seven out of the 17 UN Sustainable Development Goals (SDGs) are related to soil health and soil functioning. Achieving the targets of these SDGs by 2030 presents a major challenge for land users (mostly farmers), researchers and other stakeholders. Soil health encompasses physical, chemical, and biological soil characteristics, including soil carbon. Commonly, many different tests are needed for a full soil health assessment, which is laborious, expensive, and many tests have a high environmental footprint. New broad-spectrum soil tests offer the potential to assess many soil characteristics quickly, but often face challenges with calibration and validation. Here, we report on the development and results of a research program with aimed at overcoming the aforementioned challenges. Two broad-spectrum techniques were selected, i.e., Near Infrared Spectroscopy (NIRS) and 0.01 M CaCl₂ extractions of soil (1:10 soil:solution ratio) followed by discrete analysis, ICP-AES or ICP-MS for assessing plant available nutrients.

Material and Methods

Near infrared spectroscopy (NIRS) for solid materials was developed in the 1960s to determine the element and compound concentrations of an object via the surface reflectance and calibration of the obtained spectra to the results of conventional reference methods. NIRS has been used for assessing the feed quality of grass and maize silage on a routine basis by Eurofins-Agro since 1986. Eurofins Agro started with NIRS for soil health assessments in 2003, in parallel with conventional soil test methods, so as to build a solid calibration and validation database.

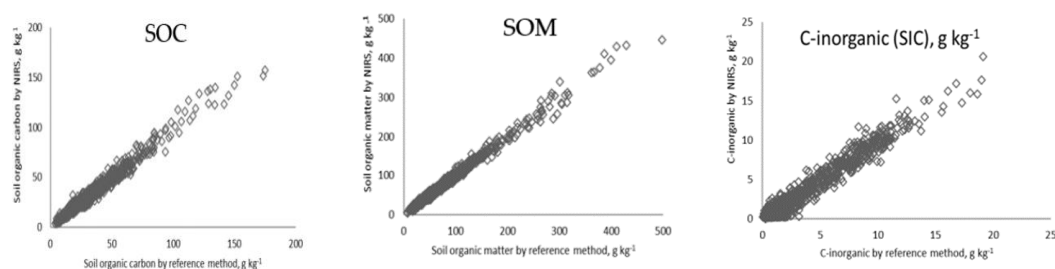
Multi-nutrient extractions with 0.01 M CaCl₂ were first proposed for assessing the readily available nutrients in soil more than half a century ago. Decades later, this method was promoted again by, among others, Houba, Novozamsky, and Van Erp, as it is relatively simple and cheap and a solution of 0.01 M CaCl₂ has a comparable ionic strength to soil solutions of most soils. Thus, the measured nutrients in the extract reflect the availability of the nutrients at the pH and ionic strength of the soil solution. Various essential elements and (heavy) metals can be measured in a single extract simultaneously, which allows us to consider the relationships between available nutrients.

Following soil sampling, drying (40°C), and sieving an amount of 125 g of soil is put into standard glass jars, equilibrated at room temperature, and scanned in replicate runs with a Q-interline FT-NIRS analyzer in a climate-controlled room. Spectral data are measured as absorbance. The spectra are trimmed to include only the

wavelengths between 1000 and 2667 nm with a resolution of 16 cm^{-1} . Spectra are then related to the results of reference methods using statistical models. Soil from the NIRS-jar is used for a 1:10 0.01 M CaCl_2 extraction ratio (w/v).

Results and Discussion

NIRS was extensively calibrated and validated in European countries (including Germany), China, New Zealand and Vietnam, and has been routinely implemented from 2004 onwards (>2 million soil tests since the start; calibrations for > 100 soil characteristics including fractions of organic matter). The results of the research program indicate that the accuracy of NIRS determinations is high for among others texture (clay, sand), soil organic matter (SOM), Soil organic carbon (SOC), ECEC, Ca-CEC, N-total, and inorganic-C (SIC) ($R^2 \geq 0.95$) and good for pH, and some biological characteristics ($R^2 \geq 0.85$), see also the Figure below. The multi-constituent soil analyses (through NIRS) are used in Soil Carbon Check (SCC), a rapid tool to measure and monitor $\text{C}(\text{O}_2)$ sequestration (SDG13) in farmers' fields. The NIRS results are also used in Soil Life Monitor (SLM); to get grip on changes in soil biodiversity. To get insight in fractions of nutrients and bio-availability of (heavy) metals, 0.01 M CaCl_2 is used for 15 essential and beneficial nutrients and for 9 (heavy) metals. The two broad-spectrum soil tests can thus offer a wide range of soil characteristics. These puzzle pieces are converted into the „Soil Health Indicator SHI“, a soil based tool to guide and monitor farmers, advisors, research, retail and government in closing yield gaps. In addition, the accompanying advice reports (SCC, SLM, and SHI) provide guidance to attain healthier soils, thereby contribute to achieving the SDGs.



Literature

- Houba, V.J.G., I. Novozamsky, T.M. Lexmond, J.J. van der Lee. 1990. Applicability of 0.01 M CaCl_2 as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 21, 2281–2290.
- Novozamsky, I., L.L. Barrera, V.J.G. Houba, J.J. van der Lee, R. van Eck. 1990. Comparison of a hot water and cold 0.01 M CaCl_2 extraction procedures for the determination of boron in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 21, 2189–2195.
- Reijneveld, J.A., M.J. van Oostrum, K.M. Broksma, D. Fletcher, and O. Oenema. 2022. Empower innovations in routine soil testing. *Agronomy*, 12(1): 191.
- Reijneveld, J.A., M.J. van Oostrum, K.M. Broksma, and O. Oenema. 2023. Soil Carbon Check: A tool for monitoring and guiding soil carbon sequestration in farmer fields. *frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 10(2): 248-261.
- Van Erp, P.J. The Potentials of Multi-Nutrient Soil Extraction with 0.01 M CaCl_2 in Nutrient Management. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2002.

Comparison of UAV-borne photogrammetric and LiDAR point clouds for maize plant height estimation

Jayan Wijesingha¹, Christoph Hütt², Fruzsina Schmidt¹, Rüdiger Graß¹
and Michael Wachendorf¹

¹Grassland Science and Renewable Plant Resources, Universität Kassel, Witzenhausen, Germany;

²GIS & RS Group, Institute of Geography, Universität Köln, Köln, Germany.

E-Mail: jayan.wijesingha@uni-kassel.de

Introduction

Plant height (PH) measurement is valuable in studying plant development and stress. To gather various plant parameters, including PH, in extensive experimental fields, using unoccupied aerial vehicles (UAVs) equipped with sensors has proven beneficial over tedious traditional methods. The derivation of PH necessitates the acquisition of three-dimensional (3D) data of the plant canopy. PH can be achieved by generating 3D point clouds (PCs) using two distinct techniques: UAV-borne LiDAR data and UAV-borne high-resolution digital images, commonly called photogrammetric PCs.

The LiDAR data uses active measurements to compute the distance between the sensor and the object, and finally, 3D PCs can be obtained based on these distance calculations. In contrast, photogrammetric PCs are derived from multi-view 2D images using computer vision techniques (i.e., structure from motion - SfM). Notably, these two methods differ in their technical approach and require different levels of financial investment. Thus, this study aims to compare the plant canopy PCs generated from UAV-borne photogrammetric and LiDAR methods to estimate the height of maize plants.

Materials and Methods

This study was conducted in maize experiments in Neu-Eichenberg, Hessen, Germany, in September 2020 (SCHMIDT et al., 2022). The UAV LiDAR system employed in this study was a Riegl MiniVUX-1-UAV laser scanner. The laser scanner was mounted on a DJI Matrice 600 Pro UAV. The UAV LiDAR system was flown at 25 m flying height, and the 3D PC data was obtained (hereafter LiDAR PC). On the same day, DJI Phantom-4 advanced UAV with RGB camera was flown at 20 m flying height, and 2D overlapping images were acquired. The RGB images were further processed using Agisoft Metashape software, and a 3D PC was derived (hereafter photogrammetric PC). Both 3D PCs were further processed to get canopy height data which contained the points with plant/canopy height data. The plant-level PH of four plants per each experimental subplot was collected using a ruler, including the location. The experimental plot-level plant height was attained using averaging five randomly selected plant-level PH measurements using the ruler.

To derive plant-level PH from both PCs, a 15 cm radius area of each plant location was selected, and all the points within that area were considered as points belonging to the plant. Different PH metrics were computed from the identified plant-level points (e.g., max and various percentiles). Similarly, plot-level points were masked from each PC based on the plot boundaries, and plot-level PH metrics were computed. The calculated PH metrics from both PCs and levels (plant & plot) were compared

employing the Pearson correlation coefficient (PCC) against ruler-based PH values. The results from PCC analysis, the strongest PH metric, were identified, and 10-fold cross-validated linear regression models were built to predict plant- and plot-level PH from two PC metrics. Finally, the models were compared based on the root mean square value (RMSE) and coefficient of determination (R^2).

Results and Discussion

The PCC analysis showed that the plant-level PH was strongly correlated with both PCs' 99th percentile (PCC LiDAR PC = 0.93 and PCC Photogrammetric PC = 0.92). The cross-validated linear regression model for plant-level PH estimation using the 99th percentile from both PCs resulted in $RMSE_{cv}$ of 6 cm and R^2_{cv} of 0.87. Contrarily, PCC analysis for the plot-level PH indicated that the LiDAR PC's 98th percentile (0.93) and Photogrammetric PC's 90th percentile (0.89) had the highest correlations. The linear regression models with the 98th percentile from LiDAR PC yielded $RMSE_{cv}$ of 5 cm and R^2_{cv} of 0.88. On the contrary, the 90th percentile from Photogrammetric PC achieved $RMSE_{cv}$ of 6 cm and R^2_{cv} of 0.82. Figure 1 illustrates both PCs' observed vs predicted values for both levels' PH estimation.

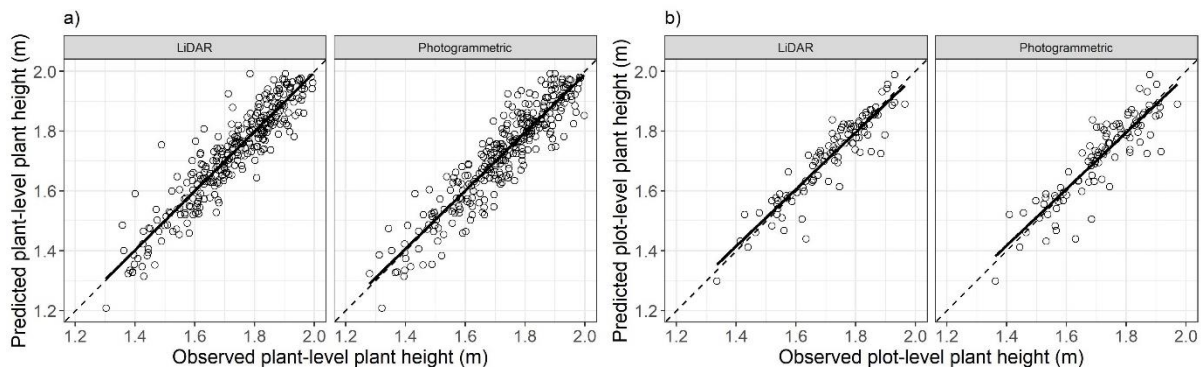


Figure 1: Observed vs predicted plots for plant height estimation from cross-validated linear regression models for a) plant-level and b) plot-level. The broken line shows the 1:1 line.

Based on this study's findings, it was verified that the generated PCs from both approaches could be effectively utilised to estimate maize plant height in both plant- and plot-levels. However, it is important to note that the financial investment required for the two methods and data processing workflows differed significantly. The initial cost of collecting LiDAR data amounted to approximately €100,000, while the photogrammetric method incurred an expenditure of approximately €10,000. Consequently, this study proposes that the more cost-effective UAV-borne photogrammetric PC is suitable for accurately estimating maize PH.

Reference

SCHMIDT, F., BÖHM, H., PIEPHO, H.-P., URBATZKA, P., WACHENDORF, M., & GRAß, R. (2022). Management Effects on the Performance of Double Cropping Systems—Results from a Multi-Site Experiment. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092104>

UAV-gestützte Bonitur der Blüte und Bestandeshöhe von Winterraps

Jorita Krieger¹, Elisabeth Thiemt² und Heike Gerighausen¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig; ²Bundessortenamt, Hannover, Prüfstelle Scharnhorst. E-Mail: jorita.krieger@julius-kuehn.de

Einleitung

Die Phänotypisierung der Rapsblüte ist ein wesentlicher Baustein in der Pflanzenzüchtung und erfordert regelmäßige Bonituren der Bestände. Diese sind nicht nur arbeits- und zeitintensiv, sondern können auch subjektiven Einflüssen unterliegen (Böttcher et al., 2016). Der Einsatz unbemannter Fluggeräte (UAV) ermöglicht eine schnellere und objektivere Bonitur, wodurch u. a. das Testsortiment vergrößert und die Effizienz im Züchtungsprozess erhöht werden kann (Hassan et al., 2019, Kawamura et al., 2020).

Ein Ziel im Projekt Standards4DroPhe ist es Algorithmen aus UAV-RGB-Bilddaten abzuleiten, um Blühbeginn und -verlauf des Winterrapses optisch erfassen und zu digitalen Boniturdaten verarbeiten zu können. Zudem soll die Berechnung der Bestandeshöhe aus digitalen Höhenmodellen (DEM) optimiert werden.

Material und Methoden

In der Saison 2020/21 und 2021/22 wurden am Julius Kühn-Institut (JKI), Standort Braunschweig (sandiger Lehm, 637 mm, 9,5 °C), Feldversuche mit 16 Genotypen und zwei N-Stufen (120 und 170 kg ha⁻¹ N) als Spaltanlage mit vier Wiederholungen angelegt und vom Bundessortenamt (BSA), Standort Scharnhorst (lehmgiger Sand, 680 mm, 9,7 °C, in-situ-Daten aus der Sortenprüfung zur Verfügung gestellt. An beiden Standorten wurden die Bestände dreimal wöchentlich von BBCH 60 bis 65 bonitiert und Blühbeginn (FB, Anzahl Tage nach 01.01.) bzw. -verlauf (FD, prozentualer Anteil blühender Pflanzen) sowie die Bestandeshöhe (HGH) bei Vollblüte erfasst. Parallel zu den Bonituren erfolgten Überflüge mit niedrigpreisigen UAV-Systemen (Tab. 1), bei einer Bodenauflösung von 0,7 cm.

Tab. 1: Ausgewählte Charakteristika der verwendeten UAV

Standort	Saison	UAV	RGB-Sensor	RTK-GPS
BSA*	2020/21	DJI Phantom 4 Pro V2 (UAV 1)	20 MP, GS	ja
	2021/22	DJI Mavic 2 Pro (UAV 2)	20 MP, RS	nein
JKI	2020/21	DJI Mavic 2 Enterprise Dual (UAV 3)	12 MP, RS	nein
	2021/22	DJI Mavic 2 Enterprise Dual (UAV 3)	12 MP, RS	nein
		DJI Phantom 4 RTK (UAV 4)	20 MP, GS	ja

GS = Global Shutter, RS = Rolling Shutter, *Befliegungen über einen Dienstleister

Die Prozessierung der UAV-Bilddaten erfolgte mit Agisoft Metashape Pro (V. 1.8.3) und die Weiterverarbeitung der Orthofotos und DEM in R (V. 4.2.1). Aus den Orthofotos wurden 15 Vegetationsindices berechnet, um den Kontrast bzgl. Boden- bzw. Pflanzeigenschaften (z. B. Blüte) zu erhöhen. Diese waren die Grundlage, um parzellenscharfe, zonale Statistiken aus den jeweiligen Pixelwerten zu extrahieren. Die

Index-Statistiken wurden über das multivariate Verfahren Partial Least Squares Regression (PLSR) (Schneider und Brick, 2019) ausgewertet. Die DEM waren die Basis für die Berechnung der Bestandeshöhe (HGH) ($= \text{DEM}_{\text{mit Bewuchs}} - \text{DEM}_{\text{ohne Bewuchs}}$).

Ergebnisse und Diskussion

Im Ergebnis der ersten zwei Versuchsjahre wurde bei der UAV-gestützten Schätzung des FB am BSA über das 90 %-Quantil der geringste Fehler erreicht. Der Validierungsfehler (RMSE_{Val}) lag hier bei zwei bis vier Tagen (Abb. 1). Beim FD lag der RMSE_{Val} auf beiden Standorten noch deutlich über 5 % und wurde 2021 über Verwendung des 25 %-Quantils minimiert. Im Folgejahr wurden dagegen die besten Ergebnisse über das 90 %-Quantil (BSA) bzw. über die Varianz (JKI) erreicht. Bei beiden Merkmalen variierte die Modellgüte sowohl zwischen den Jahren als auch zwischen den Standorten, was vermutlich auf unterschiedliche Sensorcharakteristika zurückzuführen ist (Tab. 1). Die Standorte unterschieden sich zudem deutlich in der Bestandesdichte.

Für die HGH konnte nur mit UAV-Systemen, die über RTK-GPS verfügen, der im Projekt definierte maximale Fehler von 5 cm eingehalten werden. Die Bestandesoberfläche des Winterrapses ist deutlich heterogener als beim Getreide. Folglich zeigte i. d. R. das 80 %-Quantil die höchste Übereinstimmung zur manuell erfassten HGH, während Kawamura et al. (2019) im Reis dies über 3 % der höchsten Pixelwerte erreichten. Die Versuche wurden 2023 fortgesetzt, um die vorläufigen Modelle weiterzuentwickeln.

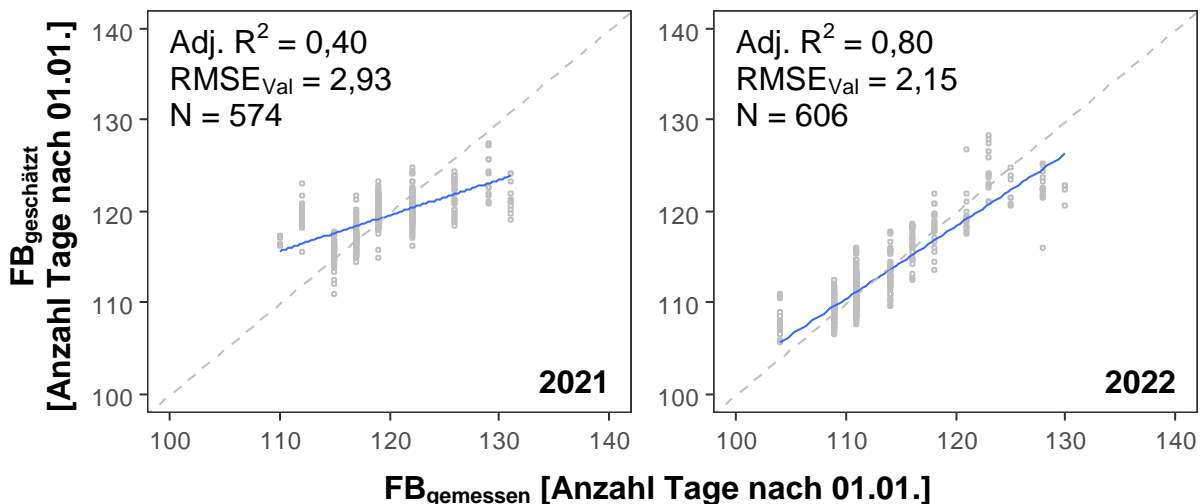


Abb. 1: Modellgüte der UAV-gestützten Schätzung des Blühbeginns (FB), PLSR mit 15 RGB-Indices, Indexstatistik: 90 %-Quantil, Standort: BSA

Literatur

- Böttcher, Ulf; Rampin, Enrico; Hartmann, Karla; Zanetti, Federica; Flenet, Francis; Morison, Muriel; Kage, Henning (2016): A phenological model of winter oilseed rape according to the BBCH scale. In *Crop Pasture Sci.* 67 (4), p. 345. DOI: 10.1071/CP15321.
- Hassan, Muhammad Adeel; Yang, Mengjiao; Fu, Luping; Rasheed, Awais; Zheng, Bangyou; Xia, Xianchun et al. (2019): Accuracy assessment of plant height using an unmanned aerial vehicle for quantitative genomic analysis in bread wheat. In: *Plant methods* 15, S. 15-37.
- Kawamura, Kensuke; Asai, Hidetoshi; Yasuda, Taisuke; Khanthavong, Phanthasin; Soisouvanh, Pheunphit; Phongchanmixay, Sengthong (2020): Field phenotyping of plant height in an upland rice field in Laos using low-cost small unmanned aerial vehicles (UAVs). In: *Plant Production Science* 23 (4), S. 452–465.
- Schneider, Jan Niklas; Brick, Timothy Raymond (2019): *pls: Pleasure - Partial Least Squares Analysis with Permutation Testing*. Version 0.0.1. Available online at <https://CRAN.R-project.org/package=pls>.

Spatio-temporal variability of legume content in alfalfa-grass mixtures using UAV-borne images

Leon Weigelt, Matthias Wengert, Michael Wachendorf and Jayan Wijesingha

University of Kassel, Grassland Science and Renewable Plant Resources, Witzenhausen.

E-Mail: leon.weigelt@uni-kassel.de

Introduction

Alfalfa is an essential forage crop with high protein content and a valuable nitrogen source in crop rotations, especially in organic agriculture. Perennial alfalfa-grass mixtures frequently feature high variability of legume content and, thus, nitrogen fixation potential. For efficient use of the scarce reserves of available nitrogen, precise knowledge of its spatial and temporal availability is important. Destructive sampling and fractionizing are considered to be the most accurate, but also the most labor-intensive and time-consuming methods for dry matter yield and legume content determination. Unoccupied aerial vehicle (UAV) borne remote sensing is a useful tool for obtaining spatio-temporal information about legume content and above-ground biomass yield. Multispectral sensors proved to be well-suited to estimate legume content in legume-grass mixtures in plot trials (GRÜNER et al., 2021). This study aimed to model the percentage of legumes in the total dry matter yield (PL) using UAV-borne images on a practical field scale.

Material and Methods

UAV-borne visible light (RGB) and multispectral images, as well as destructive biomass samples were collected at two fields in Hesse, Germany, just before mowing. One data set for the field named 'Hebenshausen' was collected in 2021. For increased sample size and improved practical relevance, an entire field called 'Kreuz' was sampled four times, during the summer of 2022. At 'Kreuz', the alfalfa-grass mixture consisted of *Medicago sativa*, *Lolium perenne*, *Festuca pratensis*, *Phleum pratense*, and *Trifolium repens* as the dominant species. Reference samples for determining FM (fresh matter), and DM (dry matter) were collected from 20 randomly distributed 1 m² subplots at each sampling date within a plot of 50 x 75 m at 'Hebenshausen', and 100 x 100 m at 'Kreuz'. The harvested samples were weighed in the field (fresh matter yield, FMY) and a subsample was dried at 105 °C for 48 hours to calculate the DM content, which was used for calculating dry matter yield (DMY). After cutting the subplots and measuring the yield, a subsample was fractionized into grass, herbs, and legumes to determine PL. For the subsequent georeferencing and orthorectification of the UAV-borne images, the coordinates of six ground control points (GCPs) were measured. To ensure an image overlap of 80 % for both sides and forward, the camera was set to trigger automatically at a flying altitude of 50 m above ground level. Partial least squares regression (PLSR) was employed to model PL from multispectral data utilizing the destructive reference samples for model calibration and validation. Subsequently, maps were produced based on the model to illustrate the spatio-temporal variation of PL in the whole field.

Results and Discussion

PL could be modeled with high accuracy with data from 'Hebenshausen' (nRMSE_{val} 12.3 %, R²_{val} 0.88, see Table 1). When adding data from 'Kreuz' (2022) to the model,

the median normalized root-mean-square error ($nRMSE_{val}$) decreased to 9.8 % while R^2_{val} decreased to 0.65.

Table 1. Modeling results for legume content [% of DM]

Data set	Number of samples (validation)	Modeling method	Median $nRMSE_{val}$ [% of DM]	Median R^2_{val}
Hebenshausen	20 (4)	PLSR	12.3 %	0.88
Hebenshausen + Kreuz	93 (19)	PLSR	9.8 %	0.65

The decreased R^2 might result from low variance in PL measured during 2022 when the growth of the alfalfa-grass mixture was strongly influenced by drought. This led to a premature generative phase of the grass and a mean PL of 98 % at the third cut. During drought, we could observe an increased spatial variability of PL in the edge areas of the field 'Kreuz' (Figure 1) outside of the sampled area.

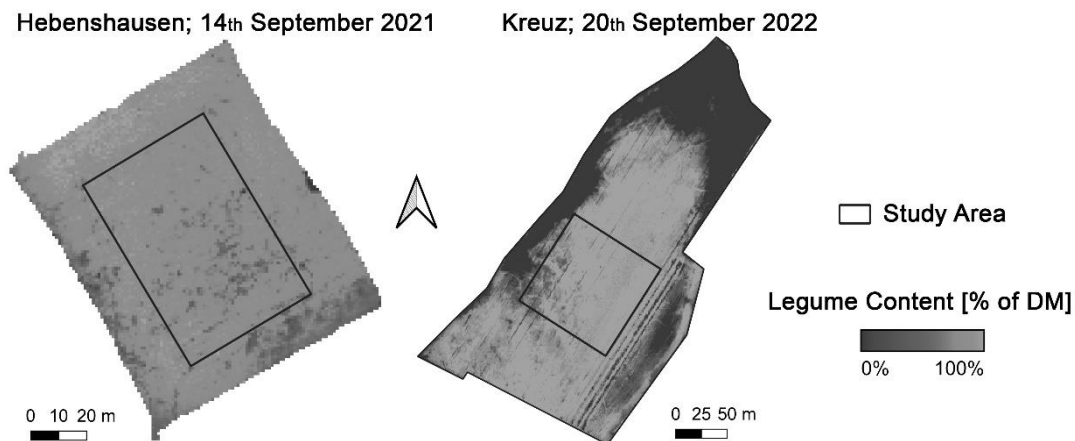


Figure 1. Maps of the spatial variability of the legume content at two dates of both fields.

In future studies, modeling accuracy could potentially be increased through sensor fusion such as incorporating RGB-image-derived plant height variables (GRÜNER et al., 2021). The maps produced from the models show a clear spatial variability of PL across the examined fields. Thus, they underline the importance to consider the intra-plot variability of PL in alfalfa-grass plots and their likely influence on spatial variability of the availability of nitrogen for the subsequent crop. This study showed that UAV-borne images can be a potential technique to model PL at high spatial resolution and coverage. The method, therefore, is a promising tool for the investigation of alfalfa-grass mixtures. However, model accuracy tended to decrease when more data points featuring low variance were included. Therefore, more samples from fields with high variance in PL should be included in further studies to increase modeling accuracy, which is exactly where additional information for farming practices is needed most.

Literature

GRÜNER, E., ASTOR, T., WACHENDORF, M. (2021): Prediction of Biomass and N Fixation of Legume-Grass Mixtures Using Sensor Fusion. *Frontiers in Plant Science*, 11. DOI: 10.3389/fpls.2020.603921.

Estimating canopy parameters in wheat using canopy and bare soil spectra as well as radiative transfer model inversion

L. J. Koppensteiner¹, H.-P. Kaul¹, S. Raubitzek², P. Weihs³, N. Barta⁴, P. Rischbeck⁵, T. Neubauer², P. Euteneuer⁶, A. Klimek-Kopyra⁷, A. Gronauer⁴ and R. W. Neugschwandtner¹

¹Institute of Agronomy/University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna; ²Institute of Information Systems Engineering/University of Technology, Vienna; ³Institute of Meteorology and Climatology/University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna; ⁴Institute of Agricultural Engineering/University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna; ⁵Department of Crop Sciences/University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna; ⁶Experimental Farm Groß-Enzersdorf/University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna; ⁷Department of Agroecology and Plant Production/University of Agriculture, Krakow. E-Mail: lukas.koppensteiner@boku.ac.at

Introduction

Radiative transfer models (RTMs) are mechanistic models, that were developed to better understand the interaction between solar radiation and vegetation canopy (Monteith, 1965).

In this study, the canopy parameters green area index (GAI, $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) and nitrogen content (NY, g m^{-2}) were estimated in wheat (*Triticum aestivum* L.) using canopy and bare soil spectra as well as the RTM PROSAIL that was inverted using an artificial neural network (ANN).

Materials and Methods

The RTM PROSAIL simulates the spectral reflectance of vegetation canopy from 400 to 2500 nm in 1 nm increments. Model inputs include information on leaf characteristics, canopy architecture, viewing geometry and background soil (Figure 1).

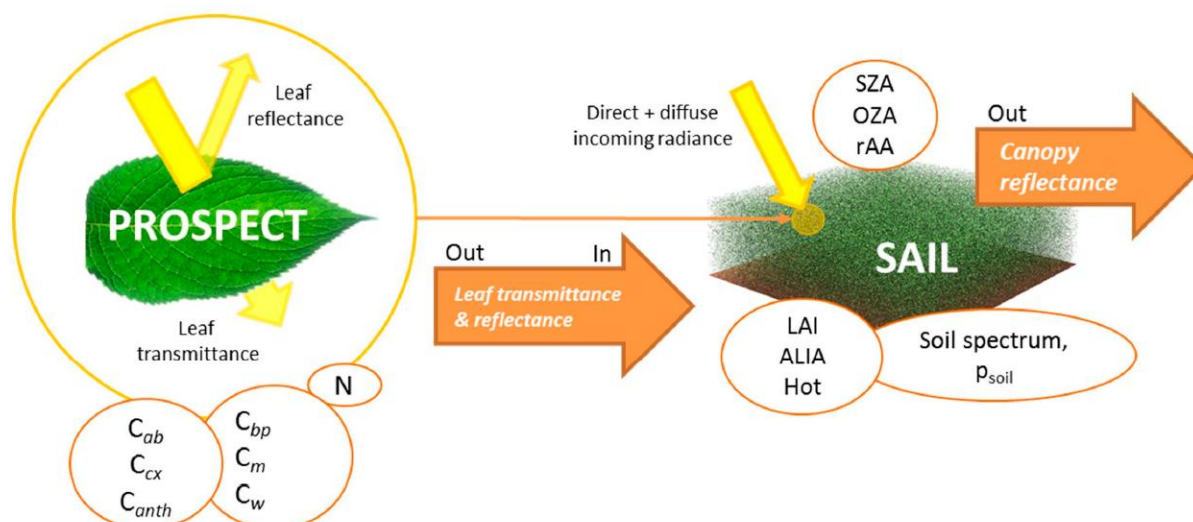


Figure 1: Simulation of canopy reflectance using the coupled PROSPECT + SAIL model (PROSAIL) (Berger et al., 2018).

N: leaf structure index (unitless), C_{ab}: chlorophyll a + b content ($\mu\text{g cm}^{-2}$), C_{cx}: carotenoid content ($\mu\text{g cm}^{-2}$), C_{anth}: anthocyanin content ($\mu\text{g cm}^{-2}$), C_{bp}: brown pigment content (unitless), C_m: dry matter content (g cm^{-2}), C_w (or EWT): equivalent water thickness (ml cm^{-2}), LAI: leaf area index ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$), ALIA: average leaf inclination angle ($^\circ$), Hot: hot-spot parameter (m m^{-1}), soil spectrum (% reflectance), p_{soil}: soil brightness factor (unitless), SZA: sun zenith angle ($^\circ$), OZA: observer zenith angle ($^\circ$) and rAA: relative azimuth angle ($^\circ$).

The model was trained and tested using a dataset consisting of 100 000 simulated observations. Each observation consists of a random set of PROSAIL input parameters, a randomly selected background soil reflectance and the respectively simulated canopy reflectance. An ANN was set up to invert the RTM PROSAIL. Model inputs are viewing geometry as well as soil and canopy spectra. Model outputs are PROSAIL parameters including leaf area index (LAI, $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) and chlorophyll content (C_{ab} , $\mu\text{g cm}^{-2}$). The model performance was evaluated using the simulated test set and two-year field experimental data of measured soil and canopy spectra as well as destructively sampled GAI (macro stages 1–7) and NY (macro stages 1–5).

Results and Discussion

Based on the simulated dataset, the comparison between true and predicted values showed high R^2 for both LAI (0.882) and C_{ab} (0.941) (Figure not shown).

The predictions on LAI and Canopy chlorophyll content ($\text{LAI} \times C_{ab}$) were calibrated with field experimental data on GAI and NY of the season 2020/2021 using regression analysis. The resulting calibrated predictions on GAI and NY were validated with field experimental data of the season 2019/2020. Results on these calibration and validation steps for predictions on GAI are presented in Figure 2. Both GAI and NY showed good R^2 (GAI: 0.836 and NY: 0.823) and RMSE (GAI: $0.321 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ (mean = $1.290 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$) and NY: 0.818 g m^{-2} (mean = 4.223 g m^{-2})) for the validation season 2019/2020.

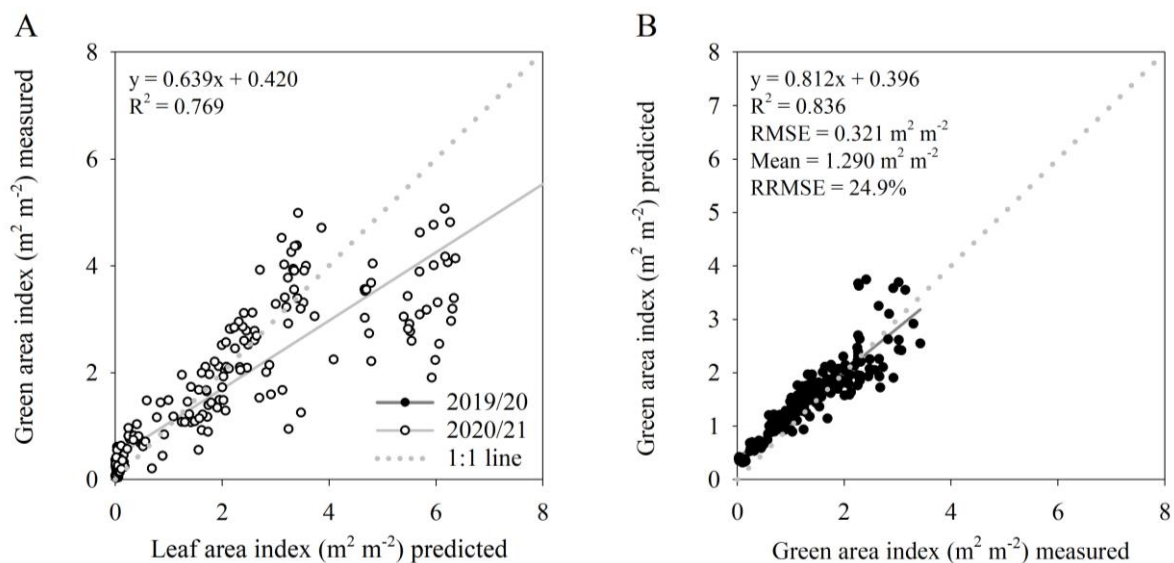


Figure 2: Calibration of predicted leaf area index ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, macro stages 1–7) to measured green area index ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) using experimental data of 2019/20 (A) and the respective validations using experimental data of 2020/21 (B).

This preliminary results indicate, that the proposed methodology of estimating canopy parameters in wheat using canopy and soil spectra as well as radiative transfer model inversion is promising.

References

- Berger, K., Atzberger, C., Danner, M., D'Urso, G., Mauser, W., Vuolo, F., Hank, T., 2018. Evaluation of the PROSAIL Model Capabilities for Future Hyperspectral Model Environments: A Review Study. *Remote Sensing*, 10, 85. <https://doi.org/10.3390/rs10010085>.
- Monteith, J.L., 1965. Light Distribution and Photosynthesis in Field Crops. *Annals of Botany*, 29, 17-37.

Utilizing multispectral vegetative indices to predict spring barley yield using remote sensing under different drought conditions and sowing patterns

Asmae Meziane¹, Akansha Rawat¹, Veronic Töpfer², Andrea Matros², Gwendolin Wehner², Susanne Hamburger³, Ada Linkies³, Annegret Schmitt³ and Til Feike¹

¹Institute for Strategies and Technology Assessment, Julius Kühn Institute, Kleinmachnow;

²Institute for Resistance Research and Stress Tolerance, Julius Kühn Institute, Quedlinburg;

³Institute for Biological Control, Julius Kühn Institute, Dossenheim;

E-Mail: asmae.meziane@julius-kuehn.de

Introduction

Accurate yield prediction is crucial to mitigate the impact of climate change and optimize yield production. Early yield prediction during the growing season is critical for accurately informed decision-making regarding resource allocation, risk management, and policy-making (Bailey-Serres et al., 2019).

In the context of shifting weather patterns and changing availability of water resources, the importance of timely yield prediction becomes even more pronounced. One promising approach is integrating multispectral data with predictive models, as it can provide valuable insights into environment \times management \times genotype interactions and aid in developing crop adaptation strategies (Maes & Steppe, 2019). Multispectral data are processed into vegetative indices (VI) that can provide information during the growing season on chlorophyll content, canopy closure, plant vigor, and water stress levels; the in-season information then enables to make yield projections.

This study aims to develop predictive yield models for five spring barley genotypes, i.e., Morex, Golden Promise, BCC1589, HOR7985, and RGT Planet, under different irrigation treatments and sowing patterns. By using vegetative indices derived from multispectral data, we seek to capture the optimal phenological stage to predict yield under two sowing patterns and three levels of drought stress.

Materials and Methods

The field experiment was conducted in 2021 and 2022 at the experimental fields of the Julius Kühn Institute in Berlin-Dahlem. Three irrigation treatments were applied: rainfed, supplementary irrigation (applied when plant available water capacity (PAWC) < 30% and refilled to 70%), and non-limiting irrigation (applied when PAWC < 50% and refilled to 100%). Two sowing patterns were implemented with a sowing density of 290 seeds/m²: equidistant sowing in a triangular pattern with a 6 cm distance between single plants and conventional row drilling at an 11 cm row distance.

Throughout the growing season, multispectral data was collected using the Micasense Altum camera mounted on a DJI M300 copter. The copter was operated at a flight height of 20 m with a speed of 2.1 m/s. The side overlap ratio of the images was 70%, and the front overlap ratio was set at 80%. From the multispectral data, we retrieved relevant vegetation indices, including the normalized difference vegetation index (NDVI), optimized soil-adjusted vegetation index (OSAVI), and crop water stress index (CWSI) using an image processing pipeline including Pix4D mapper, QGIS, and Rstudio. We used linear mixed models, including the different vegetation indices at different phenological stages as covariates under the combination of the different experimental treatments. The selection of the best-performing model for

each genotype under separate treatments was based on the Akaike Information Criterion (AIC).

Results and Discussion

Across all five genotypes, the covariates selected for the best model are NDRE (which indicates chlorophyll content) at both vegetative and reproductive growth stages and vegetative indices indicative of crop vitality, i.e., NDVI and SAVI at vegetative growth stages. For predicting the yield of the elite genotype, RGT Planet, the best model included OSAVI at tillering and NDRE at booting as covariates. There was no significant difference between predictive models for the two sowing patterns. Finally, the best predictive model under the rainfed treatment used NDRE and OSAVI as covariates at the end of anthesis. The selected models were cross-validated using observed data, which provided satisfying results. An accurate and early yield forecast, specifically during vegetative growth stages, may help farmers and stakeholders with early risk monitoring and management. Our findings highlight the potential efficacy of utilizing UAV-derived multispectral data and vegetation indices for predicting yield in barley genotypes under varying irrigation treatments, i.e., drought situations.

References

- Bailey-Serres, J., Parker, J. E., Ainsworth, E. A., Oldroyd, G. E. D., & Schroeder, J. I. (2019). Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*, 575(7781), 109–118. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1679-0>
- Maes, W. H., & Steppe, K. (2019). Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture. *Trends in Plant Science*, 24(2), 152–164. <https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2018.11.007>

Field-Level Irrigation Mapping With Integrated Use of Optical and Radar Time Series in Temperate Regions

Gohar Ghazaryan^{1,2}, Stefan Ernst², Farina Sempel¹ and Claas Nendel^{1,3,4}

¹Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg, ²Earth Observation Lab, Geography Department, Humboldt-University Berlin, Berlin. E-Mail: gohar.ghazaryan@zalf.de

³Institute of Biochemistry and Biology, University of Potsdam, Potsdam

⁴Integrative Research Institute on Transformations of Human-Environment Systems (IRI THESys), Humboldt-University Berlin, Berlin

Introduction

Irrigation plays a vital role in food production, representing the largest segment of freshwater use globally. With climate variation, water scarcity, and population growth, the need for accurate irrigation monitoring is growing, which can support sustainable water use and food security (Meier et al., 2018). Remote Sensing (RS) data has become increasingly used for monitoring irrigated areas and detecting irrigation extent at regional and global scales. Commonly used datasets for this are optical time series and derived Vegetation Indices (VIs) (Ren et al., 2021). Despite progress, existing irrigation data are often coarse and lack temporal details, limiting effective monitoring and decision making especially at a field level. Incorporating high-resolution data from Landsat and Sentinel-2 can further improve the classification results.

Most of the recent studies focus on arid and semi-arid areas. In more humid areas, the separability of the irrigated and rainfed cropping systems is more challenging, as the greenness signal might be similar and the need for integration of other data is essential. Furthermore, the methods based on optical data are affected by data availability which can be significantly affected by cloud cover. Synthetic Aperture Radar (SAR) data, sensitive to surface moisture content, presents new monitoring possibilities (Gao et al., 2018). Combining various datasets, including optical, SAR, and thermal data, has the potential for improved irrigation pattern recognition. This study aimed to use multi-source RS data for mapping irrigation in two federal states in northern Germany: Brandenburg and Lower Saxony. Irrigation is increasingly gaining importance as an essential factor for crop production in this region especially in areas with shallow soils.

Materials and Methods

Several RS datasets, including Sentinel-1, Sentinel-2, and Landsat-8 thermal data for 2016 and 2018, were used for field level irrigation mapping. Level-2 quality data was used to filter out clouds. We computed several VIs, such as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Normalized Difference Moisture Index (NDMI) and calculated Tasseled cap components. The Land Surface Temperature (LST) was calculated based on Landsat data, employing a single-channel method. After speckle filtering, the Sentinel-1 (VV, VH, and VH/VV ratio) data was integrated into the framework. The processed RS variables were then aggregated for specific time steps corresponding to the growth stages of winter and spring crops.

Temporal aggregates from RS time series were used as an input to random forest (RF) and eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) classifiers. Field-scale irrigation data reported by farmers for 2016 and 2018 were used for the classification, which included detailed information from 370 fields. The data included a variety of crops

grouped into four broader classes, namely spring cereals, winter cereals, maize, and other crops, which primarily included data from sugar beet and potato fields.

Results and Discussion

The combined use of the datasets from different sensors and the different indices provided the highest accuracies for mapping irrigated fields in Northern Germany (74-85%). XGboost outperformed RF for irrigation mapping in all tests. Irrigation probability for maize and potato was generally higher than for cereals, for which supplementary water supply does not necessarily result in an economically viable yield increase. More confusion in the areas cultivated with cereals can be affected by the lower number of reference data for this class. The time-series aggregation proved an effective approach for creating consistent input features. LST data had the highest variable importance in the classification as it accounted for the temperature differences and cooling effect on crops (Fig1). This supports prior studies showing that irrigated areas have lower temperatures due to the cooling effect of water and higher evapotranspiration (Demarez et al., 2019). Moreover, the fusion of Sentinel 1 and Sentinel 2 data boosted classification accuracy. Notably, VIs related to greenness and Sentinel-1-based VV and VH metrics were also among the important variables, especially for maize and other crop classes, due to their higher productivity and greenness in irrigated crops.

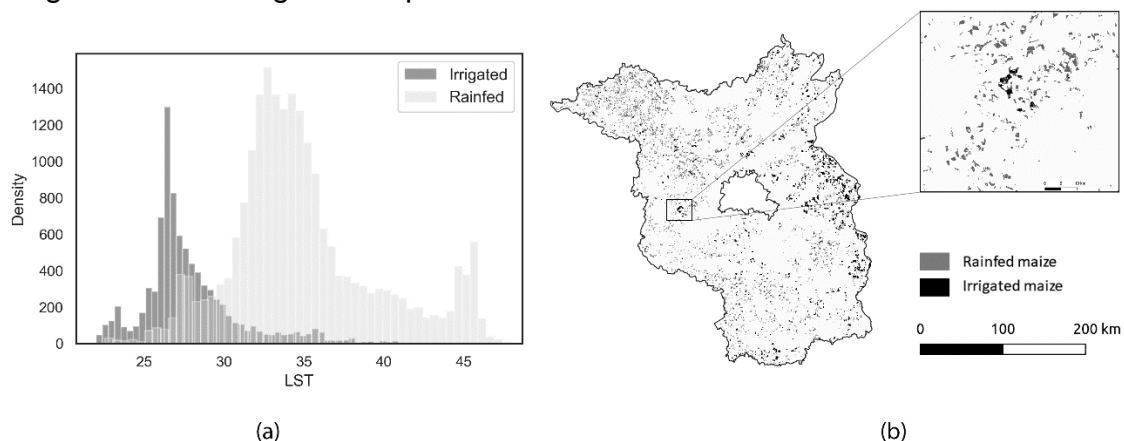


Fig 1. (a) Difference of Land Surface Temperature (LST) in irrigated and rainfed maize and (b) Maize irrigated areas in Brandenburg.

Overall, the study presents a framework for field level irrigation mapping over large areas, which can inform crop models and assist the estimation of water resource demands.

References

- Demarez, V., Helen, F., Marais-Sicre, C., Baup, F., 2019. In-Season Mapping of Irrigated Crops Using Landsat 8 and Sentinel-1 Time Series. *Remote Sens.* 11
- Gao, Q., Zribi, M., Escorihuela, M.J., Baghdadi, N., Segui, P.Q., 2018. Irrigation Mapping Using Sentinel-1 Time Series at Field Scale. *Remote Sens.* 10, 1495.
- Meier, J., Zabel, F., Mauser, W., 2018. Global Irrigated Areas. *Suppl. Meier J AI 2018 Glob. Approach Estim. Irrig. Areas – Comp. Differ. Data Stat. Hydrol. Earth Syst. Sci.* 222 1119-1133 <https://doi.org/10.5194/hess-22-1119-2018>.
- Ren, J., Shao, Y., Wan, H., Xie, Y., Campos, A., 2021. A two-step mapping of irrigated corn with multi-temporal MODIS and Landsat analysis ready data. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 176, 69–82.

Germany-wide suitability analysis of sorghum cultivation for climate change mitigation

Amir Hajjarpoor¹, Amna Eltigani², Christiane Seiler³, Andrea Matros³, Lorenz Kottmann², Christiane Balko⁴, Steffen Windpassinger⁵, Janina Goldbach⁶, Joachim Eder⁶, Ashifur Shawon Rahman¹, Maria Quade¹, Christian Jorzig¹, Dragan Perovic³, Andreas Stahl³ and Til Feike¹

¹Julius Kühn Institute (JKI), Institute for Strategies and Technology Assessment, Kleinmachnow; ²JKI, Institute for Crop and Soil Science, Braunschweig; ³JKI, Institute for Resistance Research and Stress Tolerance, Quedlinburg; ⁴JKI, Institute for Breeding Research on Agricultural Crops, Groß-Lüsewitz; ⁵Justus Liebig-University Gießen, Department of Plant Breeding; ⁶Bavarian State Research Center, Institute for Crop Science and Plant Breeding, Freising. E-Mail: Amir.Hajjarpoor@julius-kuehn.de

Introduction

It is important to introduce new crops that can better thrive under climate change conditions. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) is a potentially suitable C4 crop and a promising supplement to maize due to its high heat and drought stress tolerance. Its deep rooting system may also help increase soil organic carbon and support climate change mitigation in crop production. One of the major limitations of expanding sorghum production into higher latitudes and altitudes is its low tolerance to chilling stress and high risk of low temperatures occurring in early and late season in those regions. While chilling stress in sorghum can occur with temperatures below 20°C affecting vigor and metabolism (Casto, Murphy, & Gehan, 2021), seedling emergence can be delayed or aborted with temperatures below 13°C (Parra-Londono et al., 2018). However, so far, little is known about the production potential of sorghum in different regions in Germany and its potential to support climate change mitigation. On the other hand, achieving optimal crop yield is largely determined by matching a site's available thermal units with the ones required by the selected cultivar. This study, therefore, aims to develop an algorithm to find optimal sowing dates and length of the growing season to utilize the concept of thermal units and determine the optimal maturity groups of sorghum cultivars in different regions of Germany.

Materials and Methods

A spatiotemporal analysis spread over 18 sites located across various soil-climate-regions (Boden-Klima-Räume; BKR) of Germany. To determine suitable sowing windows, growing periods, and corresponding maturity groups, a dataset spanning 30 years of historical weather data (1991-2020) was utilized. Additionally, 30 years of future climate data (2031-2060) based on the MPI-ESM (ECHAM6/JSBACH/MPIOM/HAMOCC) CMIP5 model were incorporated. The analysis accounted for two representative concentration pathways (RCP 4.5 and RCP 8.5) to explore different climate scenarios.

Temperature and rainfall thresholds were utilized to establish weather indices (WIs) and develop an algorithm for predicting optimal sowing dates and the duration of the growing season. To verify the efficacy of the algorithm, it was tested using selected data points of experimental sorghum cultivation in Bavaria, Germany.

The algorithm follows a simplified procedure: If the average temperature (T_{mean}) remains above 12°C without rainfall for five consecutive days, and there are no minimum temperatures (T_{min}) below 5°C forecasted for the next seven days, the season is considered to have begun. The growing season is deemed to conclude if

the minimum temperature falls equal to or below 5°C. Additionally, during the subsequent 14 days, if the cumulative thermal time remains below 10 thermal units (TU, °C), indicating insufficient TU for the crop to recover from cold stress or complete seed ripening, the season is considered to have ended.

Finally, the cumulative TU between the start and end dates was calculated using a three-segmented function (Soltani & Sinclair, 2012). This calculation aimed to quantify the duration of the growing season for different maturity groups of cultivars. The cardinal temperatures utilized in the function were as follows: $T_B = 8\text{ °C}$, $T_{OP1} = 34\text{ °C}$, $T_{OP2} = 37\text{ °C}$, and $T_C = 45\text{ °C}$.

Results and Discussion

While lower latitude regions are generally more favorable for summer crops, our findings indicated that altitude plays a more significant role in crop suitability in Germany. In high-altitude sites, as found in southern parts of Bavaria and Baden-Württemberg, characterized by elevations of approximately 500-750 meters, the growing season for sorghum was relatively short. Moreover, the projected future climate did not exhibit a notable improvement regarding the duration of the growing season in these areas. Nonetheless, our analysis reveals that on a broader scale, future climate will likely lead to an expansion of the sorghum-growing season in most regions of Germany and will provide more cumulative thermal units for the days between sowing and harvesting. This expansion will likely involve earlier sowing and later harvesting, regardless of the specific site or the RCP considered. Consequently, selecting later maturity cultivars could potentially enhance the yield potential of sorghum in Germany in the future.

Outlook and Conclusions

Since insufficient cold tolerance of sorghum genotypes is considered one of the major challenges of larger sorghum cultivation in Germany, we run a German-wide assessment on the risk for cold stress damage during early vegetative growth as well as anthesis. We will further assess the different production regions in Germany regarding their drought risk using a phenology model and drought degree-days as a stress index. To be competitive against the high-yielding C4 maize, sorghum needs to play its advantages regarding its better drought stress tolerance. To be able to capture the full complexity of the soil-plant-atmosphere-system regarding drought effects, freeze damage and compound effects of seasonal climatic conditions, we will parameterize and apply process-based crop models to conduct comprehensive simulations of sorghum vs. maize under current and future climatic conditions.

This study is going to provide Germany-wide information on yield and yield stability for sorghum vs. maize and provides crucial insights regarding the production potential and promising regions for sorghum as a novel crop in Germany.

References

- Casto, A. L., Murphy, K. M., & Gehan, M. A. (2021). Coping with cold: Sorghum cold stress from germination to maturity. *Crop Science*, 61(6), 3894–3907. <https://doi.org/10.1002/csc2.20609>
- Parra-Londono, S., Fiedler, K., Kavka, M., Samans, B., Wieckhorst, S., Zacharias, A., & Uptmoor, R. (2018). Genetic dissection of early-season cold tolerance in sorghum: genome-wide association studies for seedling emergence and survival under field and controlled environment conditions. *Theoretical and Applied Genetics*, 131(3), 581–595. <https://doi.org/10.1007/s00122-017-3021-2>
- Soltani, A., & Sinclair, T. R. (2012). Modeling physiology of crop development, growth and yield (A. Soltani & T. R. Sinclair, eds.). <https://doi.org/10.1079/9781845939700.0000>

Effect of timing and intensity of heat and drought stress on farm wheat yields in Germany

Riedesel, L.¹, Horney, P.¹, Möller, M.², Golla, B.¹, Piepho, H-P.³, Kautz, T.⁴ and Feike, T.¹

¹Julius-Kühn Institut, Kleinmachnow; ²Julius-Kühn Institut, Braunschweig; ³Universität Hohenheim, Stuttgart; ⁴Humboldt Universität, Berlin. E-Mail: ludwig.riedesel@julius-kuehn.de

Introduction

Climate change-induced adverse weather conditions have successively increased in frequency and intensity since the mid-20th century until today, leading to globally increasing yield losses. These yield losses pose increasing income risks for European and German agriculture. However, there are large regional differences regarding yield effects of extreme weather events in Germany. Hence, to develop targeted adaption strategies, it is vital to improve the understanding of the spatio-temporal development of weather extremes and the corresponding weather-yield relations.

Weather indices (WIs) are used to determine region-specific influences of weather extremes on crop yields. Therefore, WIs must accurately represent actual weather conditions, spatially and temporally, to determine yield effects for a particular region (Dalhaus and Finger, 2016). In that regard, the aim of this study was to analyze the impact of timing (i.e., effect of different observation periods) and intensity (i.e., different threshold values of a weather variable) of heat and drought regarding their impact on winter wheat (*Triticum aestivum*) yields. Therefore we specifically analyze i) differences in explanatory power of various spatio-temporally explicit heat and drought WIs and ii) regional differences in heat- and drought-related on-farm yield effects in wheat.

Material und Methods

We use the FADN yield data set, which contains farm yield data of 10,983 farms in 5,446 major crop-producing municipalities of Germany between 1995 and 2019. Furthermore, we analyze interpolated (1 × 1 grid level) weather data from the German Weather Service (DWD) and interpolated (1 × 1 grid level) observational phenology data from the model PHASE stamp out major arable production regions based on the ATKIS data set. We aggregate these data sets at municipality level and derive various heat and drought WIs that differ in timing and intensity. We define timing through the observation periods stem elongation and booting (SEB; BBCH 31-50), reproductive phase (RP; BBCH 51-75) and generative phase (GP; BBCH 51-87). We define moderate, severe and extreme intensities for heat where the daily temperature (Tmax) exceeds 27°C, 29°C and 31°C respectively and for drought where the plant available water (PAW) falls below 50%, 30% and 10% of plant available water capacity, respectively. We use mixed models to derive the variance reduction (i.e., explanatory power) after Piepho (2019) and the region specific effect strength (i.e., estimated coefficient) of each WI individually. We use the explanatory power as an indicator to identify WIs that best explain yield losses. Furthermore, we multiply the region specific effect strength with the number of days where a WI exceeds the threshold intensity, to derive average yield losses per municipality.

Results and Discussion

Our results reveal the highest explanatory power for moderate heat WIs during the reproductive phase (RP) and for moderate drought WIs during the late vegetative phase (SEB). Heat stress shows only limited relevance during SEB. We confirm previous literature emphasizing early-season droughts as particularly harmful in central Europe, even at moderate drought conditions. We further find high explanatory power for severe and extreme drought intensities during RP, which also aligns with the literature. Moreover, we find higher explanatory power when the yield-sensitive periods are defined more precisely (i.e., RP vs. GP), which is consistent with previous literature.

At the national level, our results reveal higher adverse yield effects due to heat than due to drought, which is controversial in the literature. Both heat and drought stress cause the highest yield losses in the regions of Brandenburg, Saxony-Anhalt, and in northwestern Bavaria consistently, which show the most days above the thresholds as well as the highest effect size per day above the threshold (i.e., estimated coefficient). Our analysis reveals that a higher stress intensity generally accompanies (1) fewer days above the threshold and (2) a larger effect size per day above the threshold. However, similar occurrences of heat and drought stress intensities caused very diverse yield losses across Germany, which is in line with previous literature (Zampieri et al., 2017). Potential reasons for this finding include region- or farm-specific impacts such as genetic (G) differences (e.g., different crop varieties), environmental (E) influences (e.g., soil type and soil temperature) and differences in crop management (M) (e.g., sowing date). Furthermore, specific WI may be influenced by (i.e., correlated with) other variables not considered in the regression analysis. That way, weather conditions during the growing season before and after the effectiveness of the considered WIs may influence their yield effect. Additionally, compound weather events may affect the spatial differences in our study, as dry and hot conditions often co-occur. Further studies should specifically analyze the site-specific WI effect on crop yields incorporating G x E x M data and analyzing compound events to improve the understanding of weather-yield relations further.

Literature

- Dalhaus T, Finger R. Can Gridded Precipitation Data and Phenological Observations Reduce Basis Risk of Weather Index-Based Insurance? *Weather, Climate, and Society*. 2016;8(4):409–419. doi:10.1175/WCAS-D-16-0020.1
- Piepho HP. A coefficient of determination (R²) for generalized linear mixed models. *Biometrical journal Biometrische Zeitschrift*. 2019;61(4):860–872. doi:10.1002/bimj.20180027
- Zampieri M, Ceglar A, Dentener F, Toreti A. Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess at the global, national and subnational scales. *Environmental Research Letters*. 2017;12(6). doi:10.1088/1748-9326/aa723b

Zukünftige Flächenausweitung wird ein zunehmendes Dürreerisiko für Sojabohnen in Europa kompensieren

Claas Nendel ^{1,2,*}, Moritz Reckling ^{1,3}, Susanne Schulz ¹, Michael Berg-Mohnicke ¹, Julie Constantin ⁴, Philippe Debaeke ⁴, Stefan Fronzek ⁵, Munir Hoffmann ⁶, Snežana Jakšić ⁷, K.C. Kersebaum ^{1,8}, Agnieszka Klimek-Kopyra ⁹, Hélène Raynal ⁴, Céline Schoving ^{4,10}, Tommaso Stella ¹ und Rafael Battisti ¹¹

¹Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg, Germany

²Institute of Biochemistry and Biology, University of Potsdam, Potsdam, Germany

³Department of Crop Production Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden

⁴Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), Castanet-Tolosan Cedex, France

⁵Finnish Environment Institute (SYKE), Helsinki, Finland

⁶Agvolution GmbH, Göttingen, Germany

⁷Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad, Republic of Serbia

⁸Tropical Plant Production and Agricultural Systems Modelling, Georg-August-Universität, Göttingen, Germany

⁹Faculty of Agriculture and Economics, University of Agriculture; Kraków, Poland

¹⁰Terres Inovia, Baziege, France

¹¹School of Agronomy, Federal University Goiás, Goiânia, Brazil.

E-Mail: claas.nendel@zalf.de

Einleitung

Die EU ist bestrebt, die Produktion von Eiweißpflanzen zu steigern. Erstens, um die derzeitigen Anbausysteme weiter zu diversifizieren und die Ökosystemleistungen zu steigern. Zweitens, um die Abhängigkeit von Importen aus dem Ausland zu verringern und die Qualitätskontrolle der Produkte, die auf den EU-Markt gelangen, zu verbessern. Sojabohnen sind aufgrund ihres hohen Proteingehalts und ihres großen wirtschaftlichen Potenzials für diese Zwecke hervorragend geeignet. Derzeit werden die Potenziale der Sojabohne in Europa nicht ausreichend genutzt, während sie in den USA und Brasilien ein dominierendes landwirtschaftliches Erzeugnis ist und weltweit zu den zehn wichtigsten Kulturpflanzen gehört. Im Zuge der erwarteten Klimaerwärmung gehen Agrarwissenschaftler davon aus, dass sich die Bedingungen für den erfolgreichen Anbau von Sojabohnen in Europa zur Erzielung wettbewerbsfähiger Erträge deutlich verbessern werden. In diesem Beitrag zeigen wir die derzeitige Eignung von Sojabohnen für verschiedene Standorte in Europa, prognostizieren die potenzielle Produktivität unter den derzeitigen klimatischen Bedingungen und untersuchen die potenzielle Produktivität unter den künftigen klimatischen Bedingungen auf der Grundlage von Multimodell-Simulationen.

Material und Methoden

Wir verwenden ein Ensemble bewährter Wachstumsmodelle für Sojabohnen, um Sojabohnenerträge in ganz Europa zu simulieren. Wir haben Daten aus Soja-Experimenten aus Müncheberg (Deutschland), Toulouse (Frankreich), Krakau (Polen) und mehreren Standorten in Serbien verwendet, um die vier Wachstumsmodelle MONICA (Nendel et al. 2011, Battisti et al. 2017), HERMES (Kersebaum 2007), APSIM (Mohanty et al. 2012) und STICS (Jégo et al. 2010) für frühe bis sehr frühe Reifegruppen in Europa zu kalibrieren. Die Daten für Sojabohnen umfassten die Reifegruppen von 0000 bis II. Die Daten wurden aufgeteilt, um die Modelle zu kalibrieren und zu testen. Wir haben einen Zeitraum von 30 Jahren

simuliert, das 75 %-Perzentil für jede Gitterzelle und Reifegruppe berechnet und die Phänologie und die Reaktion auf die Durchschnittstemperatur, Kälteperioden, Niederschläge bei der Ernte und Trockenheit analysiert. Auf der Grundlage dieser Verteilung haben wir dann eine Ertragskarte für ganz Europa erstellt, die den Ertrag der günstigsten Reifegruppe pro Gitterzelle ausweist.

Ergebnisse und Diskussion

Die Projektionen suggerieren, dass sich die Sojaproduktion auf dem europäischen Kontinent nach Norden verlagern und dass das Gesamtertragspotenzial mit dem höheren Potenzial für den Anbau ertragreicher Reifegruppen in Mitteleuropa steigen wird, wo die Wasserknappheit die Produktion bislang noch nicht einschränkt. Sie zeigen auch, dass die potenzielle Anbaufläche für Sojabohnen im Regenfeldbau in Südeuropa abnehmen dürfte, da in den Böden potenziell weniger Wasser zur Verfügung steht.

Wir kommen zu dem Schluss, dass das Gesamtpotenzial für den Sojabohnenanbau in ganz Europa im Zuge des Klimawandels erheblich zunehmen wird, da die neu verfügbaren Flächen in Mitteleuropa diejenigen Flächen überwiegen, die durch die Dürre im Süden verloren gehen. Dies wird mit großer Wahrscheinlichkeit dazu beitragen, dass Europa zukünftig weniger abhängig von Sojabohnenimporten aus Übersee werden wird.

Literatur

- Battisti R, Parker PS, Sentelhas PC, Nendel C (2017) Gauging the uncertainty sources for soybean yield simulations using the MONICA model. *Agr Syst*, 155: 9–18
- Jégo G, Pattey E, Bourgeois G, Morrison MJ, Drury CF, Tremblay N, Tremblay G (2010) Calibration and performance evaluation of soybean and spring wheat cultivars using the STICS crop model in Eastern Canada. *Field Crop Res*, 117: 183–196
- Kersebaum, K.C. (2007): Modelling nitrogen dynamics in soil–crop systems with HERMES. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 77, 39–52
- Mohanty M, Probert ME, Sammi Reddy K, Dalal RC, Mishra AK, Subba Rao A, Singh M, Menzies NW (2012) Simulating soybean–wheat cropping system: APSIM model parameterization and validation. *Agr Ecosyst Environ*, 152: 68–78
- Nendel C, Berg M, Kersebaum KC, Mirschel W, Specka X, Wegehenkel M, Wenkel KO, Wieland R (2011) The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecol Model*, 222: 1614–16

Subsurface drip fertigation to achieve high yields with minimum nitrogen leaching losses

Ana Callau-Beyer, Martin Mungai Mburu, Zahir Shah Safari, Caspar-Friedrich Weßler and Hartmut Stützel

Institute of Horticultural Production Systems, Vegetable Systems Modelling Section, Leibniz University Hannover, Hannover, Germany. E-Mail: callau@gem.uni-hannover.de

Introduction

In Germany, the agricultural sector is responsible for more than 60% of the total emissions of reactive nitrogen (BMU, 2017); mainly due to the asynchrony between nitrate availability and crop demand (Noyce et al., 2019). The need for agricultural practices, which can achieve high yields with low environmental impacts, is urgent. Subsurface drip fertigation (SDF) is the fertigation (irrigation with dissolved fertilizer) of crops through driplines placed below ground. SDF allows applying water and fertilizers directly in the rooting zone at exactly the rates demanded by the crops. An effective management of the system should minimize the movement of water and nutrients below the root zone in order to maximize water and nutrient use efficiencies and yields. Compared to other fertilization strategies, SDF has the least effect on the soil nitrogen cycle and meets the crop demands at best (Barakat *et al.*, 2016). This technique can therefore make cropping systems not only more environmentally friendly and sustainable, but also more resilient to climatic fluctuations.

Materials and Methods

In this work, the focus is on yields and nitrogen use efficiencies achieved by crops grown under SDF. A comparison of SDF with control crops, i.e. crops grown with conventional fertilizer application practices, is presented. The results are based on a set of field experiments with red cabbage (*Brassica oleracea*) conducted between 2014 and 2018 in the experimental station Ruthe of Leibniz University Hannover (52.2°N, 9.8°E, 73 m a.s.l.). The effect of the temporal and spatial distribution of nitrogen supply is assessed. Furthermore, a comparison of nitrogen uptake by red cabbage with different levels of nitrogen supply directly to the root zone is presented based on another set of field experiments conducted between 2019 and 2022 in the experimental station Herrenhausen of the Leibniz University Hannover (52.5°N, 9.7°E, 55 m a.s.l.). The nitrogen uptake capacity is analysed by supplying different amounts of nitrogen distributed throughout the growing season and monitoring any losses beneath the root zone.

Results and Discussion

SDF on average increased nitrogen use efficiencies and yields compared to control. Plant nutrient uptake was enhanced by the application of the fertilizer throughout the crop growing season, leaving less nitrate in the soil to be leached into groundwater. Nitrogen balance results indicate that crops grown under SDF outperform control crops highlighting the importance of synchronizing nitrate availability, i.e. fertilizer application, and crop demand, which is possible by the SDF system.

Moreover, plants grown with SDF are able to take up high amounts of nitrogen, as they properly supplied in time and space, i.e. in small doses and high frequencies, directly to the root zone. Our results agree with other publications in which it was demonstrated that risks of lixiviation and denitrification can be reduced by placing the

fertilizer in the root zone (Siyal, 2012; Wiesler and Horst, 1994) and by dose splitting (Gärdenäs *et al*, 2005; Hanson *et al*. 2006; Mmolawa and Or, 2000). SDF system resulted in high yields with minimum nitrogen leaching losses even during years characterized by wet atmospheric conditions, i.e. high soil moisture conditions due to enough rainfall. Results indicate that losses of nitrogen below the root zone can be minimized by supplying the fertilizer in small amounts during crop growth.

References

- Barakat, M., Cheviron, B., & Angulo-Jaramillo, R. 2016. Influence of the irrigation technique and strategies on the nitrogen cycle and budget: A review. *Agricultural Water Management*, 178, 225-238.
- BMU–Federal Ministry for the Environment. 2017. Nitrogen Input in the Biosphere–First Nitrogen Report from the Federal Government; Federal Ministry for the Environment: Berlin, Germany.
- Gärdenäs, A. I., Hopmans, J. W., Hanson, B. R., & Šimůnek, J. 2005. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. *Agricultural Water Management*, 74, 219-242.
- Hanson, B. R., Šimůnek, J., & Hopmans, J. W. 2006. Evaluation of urea–ammonium–nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling. *Agricultural water management*, 86 (1-2), 102-113.
- Mmolawa, K., & Or, D. 2000. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant and soil*, 222(1-2), 163-190.
- Noyce, G.L., Kirwan, M.L., Rich, R.L., & Megonigal, J.P. 2019. Asynchronous nitrogen supply and demand produce nonlinear plant allocation responses to warming and elevated CO₂. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(43): 21623-21628.
- Siyal, A. A., Bristow, K. L., & Šimůnek, J. 2012. Minimizing nitrogen leaching from furrow irrigation through novel fertilizer placement and soil surface management strategies. *Agricultural Water Management*, 115, 242-251.
- Wiesler, F., & Horst, W. J. 1994. Root growth and nitrate utilization of maize cultivars under field conditions. *Plant and soil*, 163, 267-277.

Contrasting historical and modern German wheat cultivars: Experimental evidence for distinct response to fertilization, plant protection and growth regulators

Ehsan Eyshi Rezaei¹, Katharina Hey² and Stefan Siebert²

¹Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF). E-Mail: EhsanEyshi.Rezaei@zalf.de

²Department of Crop Sciences, University of Göttingen

Introduction

Even though breeding advancements have helped to improve wheat productivity over the past few decades, there's still a need to aim for higher yields to meet the world's increasing food demand (van Dijk et al., 2021). It's essential to understand how both historical and modern wheat cultivars react to different management approaches. Such understanding can aid in the development of cultivars that exhibit increased productivity and improved resource efficiency (Zhang et al., 2015; Voss-Fels et al., 2019). The goal of the study was to assess how agronomic practices (including plant protection and growth regulators) and the nitrogen application rate affect not only the yield but also the yield components of both historical (1895-1960) and modern (1960-2007) winter wheat cultivars in Germany.

Materials and methods

The study comprised of a two-year field experiment conducted from 2018 to 2020, which incorporated 16 crop cultivars that were developed between 1895 and 2007 in Germany. The experiment tested three levels of nitrogen fertilizer application (0, 120, and 240 kg N ha⁻¹) and evaluated four distinct agronomic practices: chemical-free farming (CF), plant protection (PP focused on controlling pests and diseases), growth regulation (GR), and a combination of PP and GR. For each growing season, the main plot comprised 12 levels (derived from four agronomic practices and three N application rates). The subplots incorporated 16 cultivars, organized as a split-plot within a randomized block design consisting of 12 blocks. This configuration resulted in a total of 192 plots per growing season. Sowing and harvesting dates were October 11 and July 30 in the first season and October 15 and July 29 in the second year. The parameters analyzed in this study included grain yield, yield components, the harvest index, and grain nitrogen yield.

Results and discussion

The study results demonstrated that breeding new cultivars, implementing different agronomic practices (APs), and varying nitrogen rates had a profound impact on grain and nitrogen yields (Figure 1a). Persistent improvements in yield (+32%), yield components, and harvest index (+25%) were observed across all treatments in modern cultivars developed post-1960 compared to historical cultivars (Figure 1). Grain nitrogen content in historical cultivars are less responsive to increases in nitrogen application rates compared to modern cultivars (Figure 1a). This underscores the critical role of breeding in augmenting winter wheat productivity in Germany, regardless of specific agronomic practices and nitrogen application rates. The enhancement in yield seen in modern cultivars is primarily attributed to an upsurge in both harvest index and grain number, whereas alterations in thousand-grain weight exert less influence (Figure 1b). Increased nitrogen application rates negatively impacted historical cultivar yield and yield components. In contrast,

modern cultivars demonstrated notable yield enhancement due to increased nitrogen fertilization, particularly under intensive agronomic practices (Figure 1). The results of this study are in line with those of other studies, which showed that the grain yield of modern Italian durum wheat cultivars (1974-2000) was 57 % higher than that of historical cultivars (dating back to 1950), primarily due to increased grain numbers, harvest index, and overall nitrogen uptake (Giunta et al., 2007).

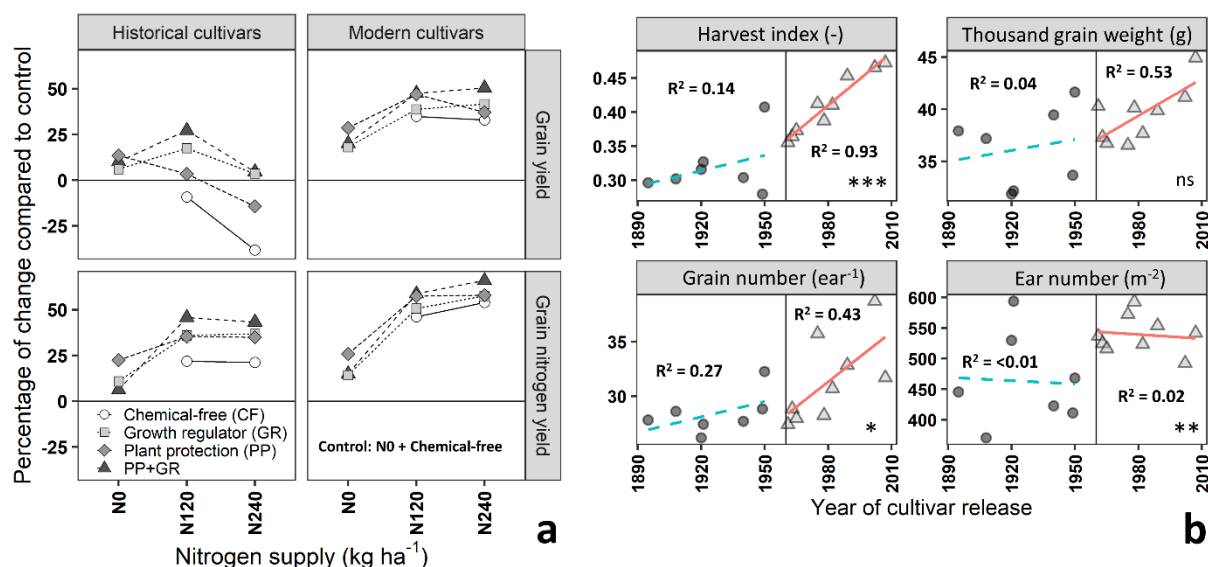


Figure 1. The percentage change in grain and nitrogen yields across various agronomic practices and nitrogen application rates compared to the control treatment for historical (1960-1985) and modern (1985-2007) cultivars (a). The trend of harvest index, thousand grain weight, grain number, and ear number for cultivars released before and after 1960 (b). Each point is the median of the specific cultivar across treatments, blocks and growing seasons. The results of the t-test, measuring the significance level for comparing the historical and modern cultivars, are presented at the bottom of each panel. ns denotes non significant results, * represents significance at the 5 % probability level, ** at 1 %, and *** indicates significance at the 0.1 % probability level.

References

- Giunta, F., Motzo, R., Pruneddu, G., 2007. Trends since 1900 in the yield potential of Italian-bred durum wheat cultivars. *European Journal of Agronomy* 27, 12–24.
- van Dijk, M., Morley, T., Rau, M.L., Saghai, Y., 2021. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010-2050. *Nature food* 2, 494–501.
- Voss-Fels, K.P., Stahl, A., Wittkop, B., Lichthardt, C., Nagler, S., Rose, T., Chen, T.-W., Zetzsche, H., Seddig, S., Majid Baig, M., Ballvora, A., Frisch, M., Ross, E., Hayes, B.J., Hayden, M.J., Ordon, F., Leon, J., Kage, H., Friedt, W., Stützel, H., Snowden, R.J., 2019. Breeding improves wheat productivity under contrasting agrochemical input levels. *Nature plants* 5, 706–714.
- Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., Searchinger, T.D., Dumas, P., Shen, Y., 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature* 528, 51–59.

Winterzwischenfruchtanbau mit Ganzpflanzennutzung als Vorfrucht zu Mais: Wickenarten in Reinsaat und im Gemenge mit Grünschnittroggen im Vergleich

Sina Stepczynski, Herwart Böhm, Stephanie Witten, Julika Wiskandt, Marie-Theres Machner und Karen Aulrich

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Deutschland
E-Mail: sina.stepczynski@thuenen.de

Einleitung

In einem Zweikultursystem mit einem legumen Partner in der Erstkultur können beide Kulturen entweder für die Futtererzeugung genutzt oder die Zweitkultur für die menschliche Ernährung (z.B. Soja) oder auch für die energetische Nutzung verwendet werden. Im Anbausystem erhöhen legume Winterzwischenfrüchte die Biodiversität, sie durchwurzeln den Boden über Herbst und Winter und schützen vor Bodenerosion. Werden sie geerntet, kann die oberirdische Biomasse als proteinreiches Raufutter dienen und die unterirdische Biomasse verbleibt im Boden. Wicken haben geringe Standortansprüche und ihre Wüchsigkeit führt zu einer schnellen Bodenbedeckung im Frühjahr. Der von den Wicken fixierte Luftstickstoff steht zum Teil für die Folgekultur zur Verfügung, wobei die Wicken selbst hohe Rohproteingehalte in der Ganzpflanze aufweisen. In einem dreijährigen Feldversuch am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau wird die Eignung der Winterwicke (*Vicia villosa*), der Pannonischen Wicke (*Vicia pannonica*) und der Saatwicke (*Vicia sativa*) in Reinsaat und im Gemenge mit Grünschnittroggen im Anbausystem der Ganzpflanzennutzung (GPS) als Winterzwischenfrucht in Norddeutschland und die Vorfruchtwirkung zu Mais geprüft.

Material und Methoden

Der Versuch wurde 2021 auf dem ökologisch bewirtschafteten Standort Trenthorst (Langzeitmittel (1986 - 2022): 686 mm; 9,2 °C) nach Sommerweizen angelegt (Braun-/Parabraunerde; Bodenart: sL). Der Anbau erfolgte in einem randomisierten Blockdesign mit vier Feldwiederholungen. Am 09.10.2021 wurden jeweils zwei Sorten der Winterwicke (WWI), cv. Latigo und Villana, der Pannonischen Wicken (PWI), cv. Beta und Detenicka sowie der Saatwicken (SWI), cv. Carbure und Rubis in Reinsaat (250 kf Körner m⁻²) und im Gemenge mit Grünschnittroggen (RW), cv. Protector (175 kf Körner m⁻² RW+125 kf Körner m⁻² Wicke) ausgesät. Als Kontrolle diente eine Variante ohne Zwischenfrucht und als Referenz eine Variante mit Grünschnittroggenreinsaat (350 kf Körner m⁻²). Am 04.06.2022 wurden die 27,5 m² großen Parzellen bei einem BBCH-Stadium der Saatwicke von 71, der Pannonischen Wicke von 65 und der Winterwicke von 64 geerntet. Die Ertragsfeststellung erfolgte mit einem Mähwerk und einem Schwadlüfter mit separater Wägung (Schnitthöhe 6 – 8 cm). Die Kontrollparzellen wurden mit 135 kg N ha⁻¹ (Gülle) gedüngt und eingearbeitet (Schälpflug; Arbeitstiefe: 10 - 15 cm). Die geernteten Roggen-Referenzparzellen wurden ebenfalls mit 135 kg N ha⁻¹, die GPS-Varianten mit 115 kg N ha⁻¹ Gülle gedüngt und mit Grubber bzw. Fräse flach (Arbeitstiefe: 5 - 8 cm) eingearbeitet. Die Aussaat des Mais erfolgte in den Kontrollen am 29.04.2022 und in den GPS-Parzellen am 08.06.2022. Die Ernte des Mais erfolgte am 19.09.2022 (Kontrollen) und am 17.10.2022 (GPS-Parzellen). Die Proben der Zwischenfrüchte wurden bei 40 °C getrocknet und für die Bestimmung des Rohproteingehaltes

(Dumas, N*6,25) vermahlen (0,5 mm Sieb). Durch eine vorherige Handbeerntung (0,5 m²) der Parzellen wurden die Gemengepartner getrennt erfasst. Von allen Proben wurde die Trockenmasse (TM) bestimmt (24 h, 105 °C). Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm R (R x64 4.3.1).

Ergebnisse und Diskussion

Im Reinsaatbau wurde ein durchschnittlicher Wickenbiomasseertrag von 52,9 dt TM ha⁻¹ erreicht. Die Pannonische Wicke (PWI) erzielte dabei im Mittel die höchsten Erträge mit 57,9 dt TM ha⁻¹. Die Zwischenfruchtgemenge erzielten mit einem durchschnittlichen Gesamtertrag von 73,2 dt TM ha⁻¹ einen signifikanten Mehrertrag, dabei erreichten die Gemenge mit der Pannonischen Wicke die höchsten Biomasseerträge (77,1 dt TM ha⁻¹). In den Wickenreinsaaten wurde mit 152 g kg⁻¹ TM ein im Vergleich zu den Gemengen signifikant höherer Rohproteingehalt (78 g kg⁻¹ TM) erzielt ($p < 0,05$). Die Pannonische Wicke wies in Reinsaat mit 130 g kg⁻¹ TM signifikant geringere Rohproteingehalte als die Saatwicke (163 g kg⁻¹ TM) und die Winterwicke (163 g kg⁻¹ TM) auf ($p < 0,05$). Bei einer Düngereinsparung von 20 kg N ha⁻¹ im Beerntungssystem der Wickenreinsaaten und -gemenge (Düngung 115 kg N ha⁻¹) ist eine identische Ertragsleistung der Folgefrucht Mais zu erwarten wie nach einer Roggenreinssaat (Düngung 135 kg N ha⁻¹). Bei Betrachtung des Jahresgesamtertrags von Erstkultur und Mais wiesen die Gemenge der Pannonischen Wicke mit Grünschnittroggen die höchste Ertragsleistung mit durchschnittlich 190 dt TM ha⁻¹ auf. Dies liegt vor allem an den hohen Zwischenfruchterträgen im Gemenge pro Flächeneinheit. Die früher gesäte Maiskontrolle ohne Winterzwischenfrucht (Düngung 135 kg N ha⁻¹) erzielte einen Jahresgesamtertrag von 184 dt TM ha⁻¹, welcher signifikant höher lag als der der Reinsaatzwischenfruchtvarianten einschließlich der Roggenreinssaat ($p < 0,05$).

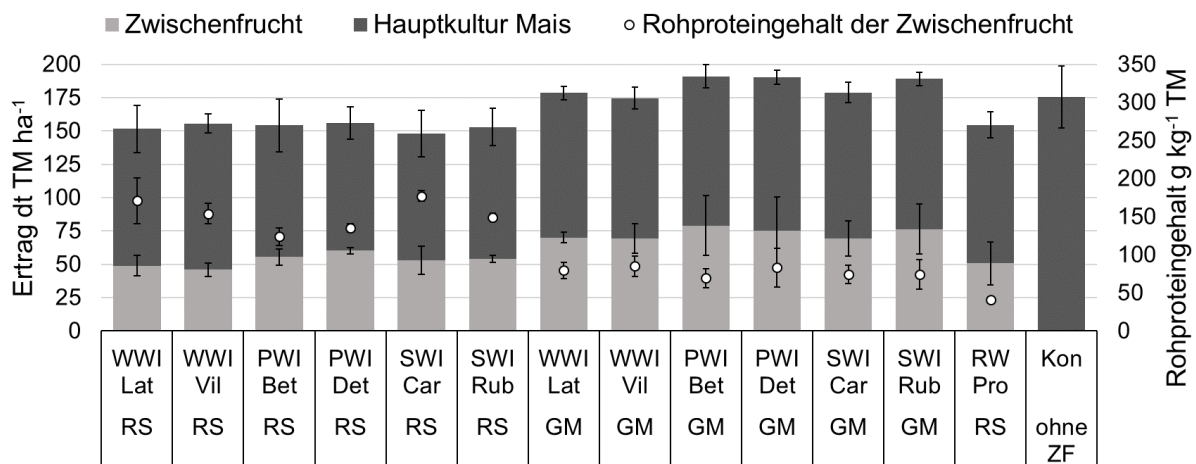


Abb. 1: Biomasseerträge und Rohproteingehalte der Reinsaaten (RS) und Gemenge (GM) von Winter- (WWI), Pannonischen- (PWI) und Saatwicken (SWI) und Grünschnittroggen (RW), sowie die Biomasseerträge der Hauptkultur Mais im Vergleich mit einer früh ausgesäten Variante Mais (Kon) ohne Zwischenfrucht (ZF).

Alle geprüften Wickenarten bzw. -sorten zeigten sich sowohl in Reinsaat als auch im Gemenge mit Roggen als vielversprechende Zwischenfrucht. Die hohen Rohproteingehalte der Wicken-Reinsaaten und die hohen Erträge der Gemenge weisen auf ein großes Potential für die Futternutzung hin. Eine umfassende Bewertung der Gesamtproduktivität des Zweikultursystems kann erst nach den drei Versuchsjahren erfolgen.

Standortspezifische Einflüsse von Zwischenfrüchten auf die optimale N-Düngung der 1. und 2. Folgekultur

Insa Kühling¹, Ingo Pahlmann² und Henning Kage¹

¹Acker- & Pflanzenbau, Uni Kiel ²TH Ostwestfalen-Lippe, Höxter
E-Mail: kuehling@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Mit dem Anbau von Zwischenfrüchten (ZF) können vielfältige positive Wirkungen in Ackerbausystemen erzielt werden wie z.B. Verringerung der Nitratauswaschung, Erosionsschutz oder Erhöhung der Biodiversität. Weniger gut quantifiziert sind dahingegen die potentiellen Einspareffekte in der Stickstoff (N)-Düngung der Folgekulturen. Im 4-jährigen Verbundprojekt „THG-ZwiFru“ wurden an vier Standorten in Deutschland (Kiel, Uelzen, Göttingen, Hohenheim) umfangreiche Feldversuche durchgeführt, um u.A. eine präzisere Einschätzung der optimalen N-Düngung nach dem Anbau von Winter-ZF zu erlangen und daraus den Beitrag zum Klimaschutz abzuleiten.

Material und Methoden

In identischen Feldversuchen an allen Standorten wurden verschiedene Winter-ZF (Ölrettich, Rauhafer, Sommerwicke, Winterroggen) im Vergleich zur Brache ohne Bewuchs etabliert. Die folgenden 2 Kulturen (1. Sommerung: Mais auf den nördlichen Sandstandorten, Zuckerrüben auf den südlichen Lössstandorten, 2. Winterweizen einheitlich) wurden jeweils als Steigerungsversuche mit 4 N-Stufen als randomisierte Spaltanlage angelegt (N-Stufen innerhalb ZF). Ergebnisse aus Uelzen mussten wegen Verfälschungen durch massiven Ausfallraps-Aufwuchs verworfen werden. Die agronomisch optimale N-Düngung wurde durch ex-post abgeleitete N-Responsefunktionen („quadratisch+Plateau“, Abb. 1) für jede Wiederholung der ZF an allen Standorten und Jahren ermittelt. Daraus wurden Effektstärken der ZF im Vergleich zur Brache als Mittelwertdifferenzen mittels „bootstrap estimations“ berechnet (Ho et al. 2019). Anschließend wurden die Effekte je Region (Sandstandorte, Lössstandorte) aggregiert. Die Berechnungen erfolgten zu Preisniveaus der Erntesaison 2022.

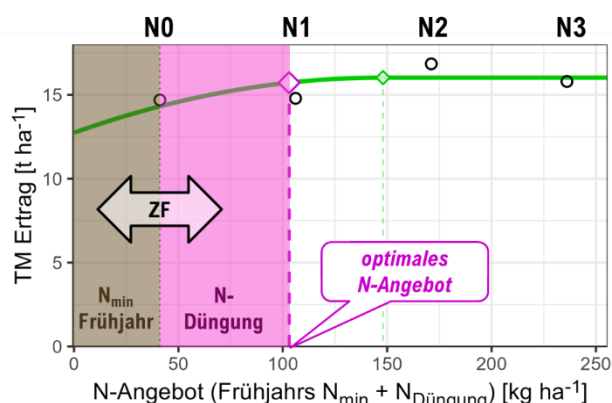


Abb. 1:

Exemplarische Darstellung zur Herleitung der ökonomisch optimalen N-Aufwandmenge (=N-Angebot-N_{min} Frühjahr) in Abhängigkeit der N-Responsefunktion (quadratisch-Plateau), Stickstoff- und Produktpreisen (Marktsituation Ernte 2022) sowie Frühjahrs-N_{min}-Gehalten in 0-90 cm am Beispiel Silomais in Kiel.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse aus den Feldversuchen zeigten große Unterschiede in der Vorzüglichkeit einzelner ZF-Arten und optimalen Anbaustrategien für die jeweiligen Standorteigenschaften: Auf den sandigen Maisstandorten konnten nach ZF höhere

Erträge bei geringeren optimalen N-Mengen in der 1. und 2. Folgekultur (Silomais, Winterweizen) realisiert werden (Abb. 2, links). Auf den Lössstandorten konnten zwar auch höhere Erträge in Zuckerrüben nach ZF erzielt werden, allerdings nur bei gleichzeitig auch höheren N-Aufwandmengen im Vergleich zur Brache, die Wirkung in der 2. Folgekultur Winterweizen war marginal (Abb. 2, rechts).

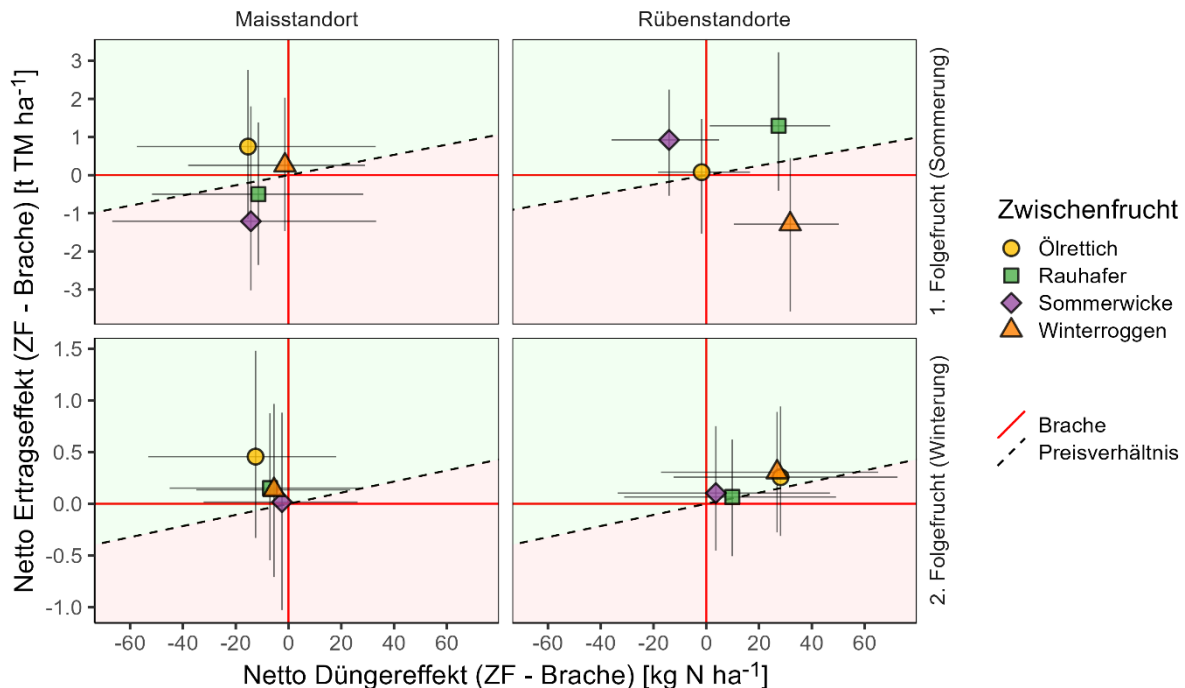


Abb. 2: Wirkung der Zwischenfrüchte (ZF) auf den Netto-Düngerbedarf im ökonomischen Optimum im Unterschied zur Brache und die dazugehörigen Netto-Ertragseffekte in der 1. und 2. Folgekultur nach ZF-Anbau. Oberhalb der gestrichelten Linie liegt der ökonomisch rentable Bereich, unterhalb rentiert sich der ZF-Anbau nicht. Punkte sind mittlere Effektstärken aus 2 Jahren und 1 (Mais) bzw. 2 (Rüben) Standorten mit 95%-Konfidenzintervallen als Fehlerbalken.

Ursache für den unterschiedlichen N-Düngerbedarf und Ertragseffekt nach ZF im ökonomischen Optimum kann die sehr unterschiedliche Mineralisationsdynamik in Abhängigkeit der Bodeneigenschaften (Sand, Löss) und N-Aufnahmedynamik der Folgekulturen (Mais, Rübe) sein. Während der Mais in seiner N-Aufnahme von der Remineralisation der ZF-Residuen profitieren kann (Kühling et al. 2023), verlaufen N-Bedarf und -Angebot bei Zuckerrüben asynchron und es kommt zu partieller N-Immobilisation (Koch et al. 2022). Die relative Vorzüglichkeit einer standortangepassten ZF fällt auf sandigen Maisstandorten am ehesten auf Ölrettich oder Rauhafer und auf lehmigen Rübenstandorten eher auf Sommerwicke oder Rauhafer. Der Klimaschutzbeitrag der angepassten N-Düngung nach ZF war auf dem Sandstandort insgesamt größer, auf Lössstandorten ergaben sich nur für die legume ZF Sommerwicke positive Effekte.

Literatur

- Ho J, Tumkaya T, Aryal S, et al (2019) Moving beyond P values: data analysis with estimation graphics. *Nat Methods* 16:565–566. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0470-3>
- Koch H, Grunwald D, Essich L, Ruser R (2022) Temporal dynamics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) N supply from cover crops differing in biomass quantity and composition. *Front Plant Sci* 13:. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.920531>
- Kühling I, Mikuszies P, Helfrich M, et al (2023) Effects of winter cover crops from different functional groups on soil-plant nitrogen dynamics and silage maize yield. *under Rev Eur J Agron* 148:. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126878>

Mechanism stimulating the preferential use of post-anthesis photo-assimilate for grain filling stage to improve yield stability in winter wheat

Tien-Cheng Wang^{1,2}, Li-Yu Liu³, Kirsten Weiß¹ and Tsu-Wei Chen¹

¹Albrecht Thaer Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften/ Humboldt Universität zu Berlin, Berlin;

²System Modellierung Gemüsebau/ Leibniz Universität Hannover, Hannover;

³Biometrics Division, Department of Agronomy/ National Taiwan University, Taipei, Taiwan;
E-Mail: wangtien@student.hu-berlin.de

Einleitung

Achieving stable and high yield across a wide range of environmental scenarios is an essential topic under climate change. However, the mechanisms that improve yield stability remain unclear due to the complex interactions between managements, cultivars and environmental factors. In this study, we hypothesize that agronomic managements stimulating canopy development can enhance yield stability and cultivar specific physiological mechanism for achieving yield stability exist.

Material und Methoden

To validate this hypothesis, field experiments were conducted in Hannover over a period of three years (2018-2021). The experimental design employed a split-split-split plot design, incorporating eight agronomical managements and eight elite cultivars of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) with three replicates. Stability index (superiority measure) were calculated for traits from two perspectives: genotype (P_g) and management (P_m).

Ergebnisse und Diskussion

Our results reveal interactive effects among different managements on P_m , emphasizing the mechanistic interactions between nutrient management, canopy development and yield stability. To identify cultivar specific mechanisms, we selected two cultivars with similar P_g but contrasting canopy growth and stay-green period. A preferential use of post-anthesis photo-assimilates were observed in the cultivar with a longer stay-green period and a higher tiller number. Furthermore, results indicate contrasting correlation of stay-green period and water soluble carbohydrate at maturity in straw between cultivars. Based on these findings, it can be inferred that P_g is associated with the physiological coordination of canopy growth, stay-green period, and grain growth allocation preference.

Literatur

Wang T-C, Casadebaig P, Chen T-W. 2023. More than 1000 genotypes are required to derive robust relationships between yield, yield stability and physiological parameters: a computational study on wheat crop. Theoretical and Applied Genetics 136, 34.

Spatiotemporal dynamics of the carbon footprint of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*) in Germany

Dima Sabboura, Donghui Ma, Max Forchert, Isabella Karpinski and Til Feike

Institute for Strategies and Technology Assessment, Julius Kühn Institute, Kleinmachnow
Dima.Sabboura@julius-kuehn.de

Introduction

Mitigating greenhouse gas (GHG) emissions from agriculture is of utmost importance in the fight against climate change. With agricultural activities accounting for a significant portion of GHG, including nitrous oxide (N₂O) emissions, developing and implementing economically viable and societally acceptable mitigation practices is essential. Narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*), a legume known for its suitability to grow under temperate climatic conditions and remarkable nutritional composition, holds potential to contribute to reducing carbon footprints associated with agricultural activities and human nutrition (van de Noort, 2016). Lupin stands out for its rich content of unsaturated fats and proteins, surpassing the levels found in lentils and chickpeas. With its ability to fix atmospheric nitrogen through symbiotic relationships with soil bacteria, narrow-leaved lupin offers additional benefits by reducing the reliance on synthetic fertilizers, which is responsible for a significant share of the GHG emissions of crop production (van de Noort, 2016). Processed into protein-rich plant-based milk and meat substitutes lupin can provide a valuable contribution to reducing the carbon footprint of the German food sector.

Understanding the spatiotemporal dynamics of the carbon footprint of narrow-leaved lupin cultivation in Germany is crucial for assessing its potential as a sustainable and climate friendly agricultural practice. Hence, this study aims to explore the intricate relationship between the growth patterns of narrow-leaved lupin, the associated GHG emissions and its climate change mitigation potential for major growing regions of Germany.

Material and Methods

For this study, we assess the GHG emissions of different lupin genotypes grown over 14 sites in its main growing regions in Germany during 2002 to 2015. The data stems from post-registration variety trials conducted by the state level authorities, published in annual reports (e.g., Jentsch et al., 2017; Zenk et al., 2017). The data comprises genotype-, location- and year-specific yield data including grain yield, thousand kernel mass and grain protein content, as well as location- and year-specific management data including timing, type and amounts of sowing, fertilization and plant protection measures.

We quantified the GHG emissions associated with lupin cultivation using a life cycle assessment (LCA) approach. The LCA considered all relevant stages of cultivation, including land preparation, sowing, fertilization, pesticide application, and harvesting. We defined the system boundary from cradle to farm gate. We calculated CO₂ emissions specifically as a subset of overall GHG emissions. For estimating the CO₂ emissions stemming from the material and energetic inputs, i.e., Diesel for various field operations, we utilized published emission factors (EF) provided by different established databases. Regarding the N₂O emissions we used the IPCC Tier 1 approach. For the LCA calculations, we assumed the lupin cultivation for all genotypes, locations and years to take place on a farm with a total cropland of

500 ha, an average plot size of 20 ha and an average farm to field distance of 4 km. Data management and various calculation steps of the LCA were conducted in R Studio to quantify the greenhouse gas emissions and CO₂ emissions associated with lupin cultivation. As functional units (FU), we consider GHG emissions per unit land, i.e., carbon footprint land (CFPL; CO₂-equivalents (CO₂e) ha⁻¹), GHG emissions per unit grain, i.e., carbon footprint grain (CFPG; CO₂e kg grain⁻¹) and GHG emissions per unit protein, i.e., carbon footprint protein (CFPP; CO₂e kg protein⁻¹). We used statistical tests, ANOVA, to evaluate significant differences in CFPL, CFPG and CFPP between genotypes, locations and years.

Results and Discussion

Regarding the emissions sources we found that N₂O emissions contributed the highest share of total GHG emissions in the cultivation of lupin across all genotypes, years and locations in Germany. N₂O emissions are followed by emissions stemming from Diesel for various field operations, from seeds for sowing and from fertilizer use, which is only applied in a limited number of cases. GHG emissions stemming from plant protection products are also low, as plant protection intensity is generally low in lupin production. We find significant differences between genotypes, locations and year for all investigated FU. While there are large differences for the three FU between years, differences between locations and especially genotypes are much smaller.

As direct and indirect N₂O emissions for the largest share stem from fixed N and respective N in above and below ground crop residues of lupin, there is little potential for further reducing those emissions considering CFPL. However, if grain and protein yield can further be increased through breeding progress and advances in management, there is some potential to improve CFPG and CFPP.

To evaluate the climate change mitigation potential of lupin and other legumes more comprehensively, it is crucial to conduct the LCA on the level of a crop rotation, which we plan to conduct as a next step. This allows taking the contribution of lupin in substituting mineral N for the subsequent crop into account. For this, the application of agroecosystems models can help to expand the spatiotemporal extent of the analysis to other regions and time and to employ a model base Tier 3 approach for estimating N₂O emissions. We further plan to expand the LCA to a cradle-to-consumer approach taking the value chain for e.g., milk substitutes, i.e., lupin-drink, into account to fully capture the climate change mitigation potential of regionally produced lupin-based proteins.

References

- Jentsch, U., Günther, K., Guddat, C. (2017) Landessortenversuche in Thüringen, Blaue Lupin, Versuchsbericht 2016. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena; Themenblatt-Nr.: 23.02
- Van de Noort, M., 2016. Lupin: An Important Protein and Nutrient Source, Sustainable Protein Sources. Elsevier <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00010-x>
- Zenk, A., Pietz, G., Michel, V. (2017) Sommergetreide und Leguminosen 2017, Ergebnisse Landessortenversuche - Anbaugebiet „D-Nord/ MV Süd“. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Gülzow – Prützen

Assessing the spatio-temporal tropospheric ozone impact on leaf growth and grain yield of wheat across Europe through crop modeling and remote sensing data

Thuy Huu Nguyen¹, Giovanni Alessandro Cappelli², Lisa Emberson³, Ignacio Gonzalez Fernandez⁴, Anisoara Irimescu⁵, Francesco Savian², Fabrizio Ginaldi², Nathan Booth³, George Boldeanu⁵, Victoria Bermejo⁴, Sam Bland³, Michael Frei⁶, Frank Ewert^{1,7} and Thomas Gaiser¹

¹University of Bonn, Institute of Crop Science and Resource Conservation, Bonn, Germany

²CREA-AA, Council for Agricultural Research and Economics, Research Centre for Agriculture and Environment, Bologna, Italy

³Department of Environment & Geography, University of York, York, UK

⁴CIEMAT Ecotoxicology of Air Pollution, Madrid, Spain

⁵National Meteorological Administration, Remote Sensing and Satellite Meteorology Laboratory, Bucharest, Romania

⁶Department of Agronomy and Crop Physiology, Institute of Agronomy and Plant Breeding, Justus Liebig University Giessen, Giessen, Germany

⁷Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg, Germany

E-Mail: tngu@uni-bonn.de

Einleitung

Europe is one of the largest producers of wheat representing 28% and 34% of the global wheat area and production, respectively (FAOSTAT, 2020). Water stress and ozone are known to cause yield loss of wheat across Europe when acting as individual stressor. There is a growing evidence that these stressors cause synergistic effects on yield when they are combined. Analyzing spatio-temporal leaf growth dynamics and grain yield in responses to variability of climate and ozone conditions, especially focusing on water stress and ozone in wheat growing areas in EU, is rarely done. The combination of process - based crop modelling tools, field experiment data, and remotely sensed data can be used to demonstrate crop responses to environmental conditions, and thus provides opportunities to perform reliable climate impact assessment studies under current and climate change scenarios which also incorporate the effect of ozone stress (Emberson et al., 2018). The objectives of the study are (i) to investigate the leaf area and yield responses of three crop models under different water stress and ozone levels at the field scale; (ii) to investigate the spatial and temporal ranges in crop growth (leaf area and yield) across Europe that corresponding to spatial and temporal variation of environmental conditions through comparisons of modeling performance based on remotely sensed green leaf area (GLAI) data and statistical grain yield. -

Material und Methoden

Three crop models (LINTULCC2, DO3SE, and WOFOST) with different complexity were employed for modeling exercises. To achieve the objectives, we performed three main working exercises. Firstly, model calibration and validation were carried out according the model protocols using field data for spring wheat under open top chamber (OTC) and ambient air (with different ozone levels and/or water stress) in Spain. Secondly, the models were further calibrated by adapting spring to winter wheat regarding of phenology. Finally, application of three crop models was performed for winter wheat at 360 locations across EU (Germany, Italy, Romania, Spain, and UK) using dynamic GLAI from the Sentinel-2 images and statistical grain

yield data. Different indexes (root mean square error, mean bias error, and coefficient correlation) were used to evaluate the modeling performance and comparison. -

Ergebnisse und Diskussion

Comparing high ozone and well-watered treatment (NFA++_WW) versus low ozone and well-watered (CFA_WW), the observed yield decrease due to ozone alone was 155 g m^{-2} (equivalent to 16.9 %) while the reduction of yield caused by water deficit (DW) alone (CFA_WW versus CFA_DW) was 190 g m^{-2} (or 20.7 %). Our result was lower than those reported in a review for European of O_3 levels, in which an O_3 exposure between 80–100 ppb produced yield reductions around 30 % (Pleijel et al., 2019). Our lower yield loss due to ozone could be due to the lower ozone levels ($51.8 \text{ ppb} \pm 12.2$). However, our findings were consistent with the work of Feng et al., (2022) who investigated the different responses and yield reductions of 18 cultivars with elevated ozone of $70.3 \text{ ppb} \pm 21.0$. High ozone together with soil water stress (NFA++_DW) caused the highest reduction of observed grain yield (30.7 %) comparing to CFA_WW which was also simulated rather well by three models. Drought together with ozone could speed up the earlier leaf senescence (thus reductions of green leaf area) that consequently reduce grain yield (Fuhrer, 2003). The large standard deviation of GLAI at each measured date from 30 fields in one tile indicated the inter-field variability. The spatial variability of simulated GLAI was less pronounced as compared to the observed data. These could be due to some factors which influenced the leaf variability among fields that were not well-considered in the modeling configuration. Including the effect of ozone in the crop models generally improved yield predictions across Europe. Both observation and modeling simulation results showed that the combination of these two factors led to a further yield loss. We also conclude that combinations of climate change and air pollution can result in bigger negative effects on yield than the two stresses separately. Appropriate simulation of leaf growth dynamics across locations and consistent linkages of atmospheric water demand and soil water fluxes are important improvements for DO3SE model when apply this newly developed model at larger scales. -

Literatur

- Emberson, L.D., Pleijel, H., Ainsworth, E.A., van den Berg, M., Ren, W., Osborne, S., Mills, G., Pandey, D., Dentener, F., Büker, P., Ewert, F., Koeble, R., Van Dingenen, R., 2018. Ozone effects on crops and consideration in crop models. *Eur. J. Agron.* 100, 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.002>
- FAO 2020. [Crops and livestock products]. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Extracted from: [<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>]. Data of Access: the dataset was accessed on 22-12-2022
- Feng, Y., Nguyen, T.H., Alam, M.S., Emberson, L., Gaiser, T., Ewert, F., Frei, M., 2022. Identifying and modelling key physiological traits that confer tolerance or sensitivity to ozone in winter wheat. *Environ. Pollut.* 304, 119251. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119251>
- Fuhrer, J., 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO_2 , ozone, and global climate change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 97, 1–20. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00125-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00125-7)
- Pleijel, H., Broberg, M.C., Uddling, J., 2019. Ozone impact on wheat in Europe, Asia and North America - A comparison. *Sci. Total Environ.* 664, 908–914. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.089->

Transgenerational effects of heat and drought stress on germination in oilseed rape

Dima Sabboura^{1,4}, Rohith Reddy Kandhimalla¹, El Sayed El Habbasha², Doreen Gabriel³, Timo Kautz⁴, Sophie Brunel-Muguet⁵ and Til Feike¹

¹Institute for Strategies and Technology Assessment, Julius Kühn Institute, Kleinmachnow, Germany

²Field Crops Research Department, National Research Centre, Cairo, Egypt

³Institute for Crop and Soil Science, Julius Kuehn Institute, Braunschweig, Germany

⁴Department of Crop Science, Humboldt Universität zu Berlin, Berlin, Germany

⁵French National Institute for Agriculture, Food, and Environment (INRAE), Caen, France

Email: Dima.Sabboura@julius-kuehn.de

Introduction

As climate change continues and global warming intensifies, the frequency and severity of extreme weather events including heatwaves and droughts are increasing. These events pose significant challenges to oilseed rape (OSR; *Brassica napus* L.), an essential oil crop in temperate climates, as it becomes increasingly exposed to adverse weather conditions and abiotic stress. Several studies describe the effect of abiotic stress on OSR, but there is only little known regarding abiotic stress effects on seeds and their subsequent ability to germinate. Heat stress impairs the respiratory system of crops by disrupting mitochondrial functioning, resulting in reduced oxygen uptake within seeds (Burris, 1995). The combined influence of heat and drought stress during germination adversely affects germination, leading to the emergence of abnormal seedlings characterized by missing roots, alterations in the seed coat, and stunted growth of roots trapped within the seed coat (Rashid et al., 2018 & Egli et al., 2005). Moreover, germination rates can decline due to mechanical damage inflicted upon the embryo (Gillen et al., 2012). Notably, heat stress also plays an important role in initiating the physiological deterioration of seeds (Toledo et al., 2011). To provide additional insights, this study aims to assess the effect of heat and drought stress during different phenological stages on the next generation's seed germination.

Material and Methods

We conducted a pot experiment in controlled greenhouse chambers growing single OSR plants cv. Ability in 2L pots filled with local topsoil. We applied four factor combinations. 1.) Four levels of heat stress, 24°C/16°C, 30°C/16°C, 34°C/16°C, and 38°C/16°C. Heat stress was applied for 14 hours with a four-hour adjustment period. 2.) Two levels of drought stress, i.e., without drought stress (PAW > 60% PAWC) and with drought stress (PAW < 20% PAWC). 3.) Two levels of treatment timing, flowering stage (BBCH 61) and seed filling stage (BBCH 75), and 4.) two levels of treatment duration, 6 days and 12 days. We evaluated the main branch, first and second side branches, and remaining branches separately.

For the germination test, we placed the harvested seeds of each treatment x branch-level combination on wetted filter paper in 10 cm² Petri-dishes in a climate chamber at 22°C. We ran the experiment in three replications, counting germinated seeds 12, 14, 16, 18, 20, 22, and 36 hours after wetting. We assessed the time until 50% and 100% of seeds germinated and used the germination-metrics package in R Studio for further statistical analysis. It provides functions to compute various germination indices, such as median germination time, mean germination rate, and germination speed.

Results and Discussion

We find significant effects of the four treatment factors and branch levels regarding different germination indices. The results show that the single effect of either heat or drought stress requires a more extended treatment duration to significantly affect the maximum germination percentage compared to the combined effect of heat and drought stress. This suggests that the simultaneous presence of heat and drought stress has a more pronounced impact on germination. When heat and drought stress were applied during the flowering stage, it resulted in a decrease in germination percentage and an increase in germination time. This indicates that the combination of heat and drought stress during the crucial flowering stage adversely affected the germination process. Furthermore, drought stress had a negative impact on germination percentage across all branches. However, the combined effect of heat and drought stress only effectively reduced the germination percentage in the first two branches. This suggests that the first two branches were more susceptible to the combined stressors than the rest. Interestingly, the impact of heat stress during the flowering stage was more pronounced on the first branch compared to the other branches. This indicates that the first branch is more sensitive to heat stress during the flowering stage, which can have implications for overall crop productivity. These findings emphasize the importance of considering both heat and drought stress, particularly during the flowering stage, to effectively manage and optimize germination processes in oilseed rape cultivation. Understanding the differential responses of different branches to stress factors can aid in developing targeted strategies for mitigating the adverse effects of stress on crop performance.

Overall, the results highlight the complex interactions between heat, drought, and different stages of plant development in influencing germination outcomes. Further studies and experimentation are warranted to elucidate the underlying mechanisms and identify potential mitigation strategies for enhancing germination performance under heat and drought stress conditions.

References

- Burris, L.G.a.J.S., Effect of heat stress during seed development and maturation on wheat (*Triticum durum*) seed quality.II. Mitochondrial respiration and nucleotide pools during early germination. *Canadian Journal of Plant Science*, 1995. 75(4): p. 831-839
- Egli, D.B., et al., Air Temperature During Seed Filling and Soybean Seed Germination and Vigor. *Crop Science*, 2005. 45(4): p. 1329-1335
- Gillen, A.M., et al., Effects of Maturity and *Phomopsis longicolla* on Germination and Vigor of Soybean Seed of Near-Isogenic Lines. *Crop Science*, 2012. 52(6): p. 2757-2766
- Rashid, M., et al., Heat stress during seed development affects forage brassica (*Brassica napus* L.) seed quality. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2018. 204(2): p. 147-154
- Toledo, M.Z., et al., Physiological quality and enzymatic activity of crambe seeds after the accelerated aging test. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 2011. 33(4)

Drought avoidance strategy diverges among maize (*Zea mays* L.) varieties at early growth stages

Shu-Yin Tung^{1,2}, Tina Koehler^{3,4}, Franziska Steiner⁵, Nicolas Tyborski⁶, Andreas Wild⁷, Andrea Carminati³, Barbara Eder⁸, Annette Freibauer¹, Jennifer Groth⁸, Wouter Vahl⁸, Tillmann Lueders⁶, Carsten Mueller⁹, Alix Vidal¹⁰, Johanna Pausch⁷ und Sebastian Wolfrum¹

¹Institute for Agroecology and Organic Farming/Bavarian State Research Center for Agriculture, Freising, Germany; ²School of Life Sciences/Technical University of Munich, Freising, Germany; ³Physics of Soils and Terrestrial Ecosystems/ETH Zurich, Zurich, Switzerland; ⁴Soil Physics/Bayreuth Center of Ecology and Environmental Research (BayCEER)/University of Bayreuth, Bayreuth, Germany; ⁵Chair of Soil Science/Technical University of Munich, Freising, Germany; ⁶Ecological Microbiology/Bayreuth Center of Ecology and Environmental Research (BayCEER)/University of Bayreuth, Bayreuth, Germany; ⁷Agroecology/Bayreuth Center of Ecology and Environmental Research (BayCEER)/University of Bayreuth, Bayreuth, Germany; ⁸Institute for Crop Science and Plant Breeding/Bavarian State Research Center for Agriculture (LfL), Freising, Germany; ⁹Department for Geoscience and Natural Resource Management/University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark; ¹⁰Soil Biology Group/Wageningen University, Wageningen, Netherlands. E-Mail: shu-yin.tung@fl.bayern.de

Einleitung

Spring drought is predicted to become more frequent owing to climate change (Spinoni et al. 2018). Spring drought coincides with the vegetative stage of maize in Central Europe, which is critical for biomass accumulation and formulation of plant structure. Drought at this stage hence negatively affects total biomass and grain yield (Mi et al. 2018). Maize landraces possess large genetic diversity, but little is utilized in the breeding of modern hybrids. Hence, maize landraces have high potential in expanding the diversity of drought resistance traits, which helps to cope with the unpredictable weather.

This study investigates the physiological and growth responses to drought of multiple landraces, hybrids, and modern open-pollinated varieties (OPVs) of maize. We aim to unravel the divergence of drought response strategy within maize, in hope of improving the stability of maize production under the threat of increasing spring drought.

Material und Methoden

A high-throughput phenotyping experiment with 38 maize varieties was conducted in a greenhouse, encompassing landraces, hybrids, and OPVs. Half of the plants were well-watered, and the others were exposed to moderate drought. The experiment was terminated when the transpiration of the last plant declined by 50%, at which mean BBCH was 37.5. Biomass samples were collected, dried, and weighed. A detailed description of the experimental setup was reported by Koehler et al. (2023). During the growth, visible light images of above- and belowground plant parts were taken 3-5 times per week. Growth responses were evaluated through image analyses.

Drought responses were evaluated by four indicators: critical soil water content (SWC_{crit}), difference of normalized growth rate peak day ($\Delta nGRPD$), and reduction ratios of root biomass (RR_{root}) and root/shoot ratio ($RR_{rsratio}$). Each indicator spreads across a spectrum between conservative and growth-oriented strategies (Tardieu et al. 2018; Welcker et al. 2022). The conservative strategy is mainly expressed by the drought avoidance mechanism, which refers to morphological and physiological

adaptations that sustain plant water status (Fang and Xiong 2015). For example, high SWC_{crit} and $\Delta nGRPD$ imply water loss reduction, and negative RR_{root} and $RR_{rsratio}$ indicate increased water uptake. Conversely, the growth-oriented strategy prioritizes growth at the risk of water depletion. Dissimilarity in the drought response strategy was uncovered by performing a hierarchical clustering analysis using the four indicators.

Ergebnisse und Diskussion

Moderate drought at the vegetative stage was found to significantly affect the growth responses and the final biomass. The drought-stressed plants decreased shoot and root growth rates earlier than the well-watered plants. As a result, their final shoot and root biomasses were substantially reduced, while the root/shoot ratio increased.

Divergence in drought responses between conservative and growth-oriented strategies were observed among maize varieties. The growth-oriented strategy was the key to a better sustainment of shoot biomass compared to the conservative strategy. This indicates the water preservation has a higher cost than plant growth in our drought scenario. The result is in agreement with Gupta et al. (2020) that excessive physiological drought responses might hinder growth.

The variation in drought response strategy was not driven by the types of the varieties (landrace/hybrid/OPV). The studied hybrids did not exhibit similar drought responses. It is likely because the adaptive physiological traits for drought resistance have been overlooked in the selection processes (Welcker et al. 2022). Moreover, the three variety types were not significantly different in the absolute value and the reduction ratio of shoot biomass under drought condition. In other words, landraces were equally competitive as hybrids and OPVs in drought resistance. Hence, landraces are promising in expanding the diversity of drought responses, leading to the improvement of drought resistance in maize.

Literatur

- Fang, Yujie; Xiong, Lihong (2015): General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. In *Cellular and Molecular Life Sciences* 72 (4), pp. 673–689. DOI: 10.1007/s00018-014-1767-0.
- Gupta, Aditi; Rico-Medina, Andrés; Caño-Delgado, Ana I. (2020): The physiology of plant responses to drought. In *Science* 368 (6488), pp. 266–269. DOI: 10.1126/science.aaz7614.
- Koehler, Tina; Schaum, Carolin; Tung, Shu-Yin; Steiner, Franziska; Tyborski, Nicolas; Wild, Andreas J. et al. (2023): Above and belowground traits impacting transpiration decline during soil drying in 48 maize (*Zea mays*) genotypes. In *Annals of botany* 131 (2), pp. 373–386. DOI: 10.1093/aob/mcac147.
- Mi, Na; Cai, Fu; Zhang, Yushu; Ji, Ruipeng; Zhang, Shujie; WANG, Yang (2018): Differential responses of maize yield to drought at vegetative and reproductive stages. In *Plant, Soil and Environment* 64 (6), pp. 260–267. DOI: 10.17221/141/2018-PSE.
- Spinoni, Jonathan; Vogt, Jürgen V.; Naumann, Gustavo; Barbosa, Paulo; Dosio, Alessandro (2018): Will drought events become more frequent and severe in Europe? In *Int. J. Climatol* 38 (4), pp. 1718–1736. DOI: 10.1002/joc.5291.
- Tardieu, François; Simonneau, Thierry; Muller, Bertrand (2018): The Physiological Basis of Drought Tolerance in Crop Plants: A Scenario-Dependent Probabilistic Approach. In *Annual review of plant biology* 69, pp. 733–759. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042817-040218.
- Welcker, Claude; Spencer, Nadir Abusamra; Turc, Olivier; Granato, Italo; Chapuis, Romain; Madur, Delphine et al. (2022): Physiological adaptive traits are a potential allele reservoir for maize genetic progress under challenging conditions. In *Nature Communications* 13 (1), p. 3225. DOI: 10.1038/s41467-022-30872-w.

Generating high-throughput functional phenotyping data to support crop modelling in designing drought resilient crop cultivars

Mercy Appiah^{1*}, Issaka Abdulai¹, Alan Schulman^{2,3}, Menachem Moshelion⁴, Elvira S. Dewi^{1,5}, Agata Daszkowska-Golec⁶, Gennady Bracho-Mujica¹ und Reimund P. Rötter^{1,7}

¹Tropical Plant Production and Agricultural Systems Modelling (TROPAGS)/University of Göttingen, Göttingen; ²Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki; ³Institute of Biotechnology and Viikki Plant Science Centre/University of Helsinki; ⁴Institute of Plant Sciences and Genetics in Agriculture/The Hebrew University of Jerusalem, Rehovot; ⁵Department of Agroecotechnology/Universitas Malikussaleh, Aceh; ⁶Institute of Biology, Biotechnology and Environmental Protection/University of Silesia in Katowice, Katowice; ⁷University of Goettingen, Centre for Biodiversity and Sustainable Land Use (CBL), Göttingen. E-Mail: mercy.appiah@uni-goettingen.de

Introduction

Drought, as one of the most detrimental climate hazards is projected to occur more frequently and increase in severity by the end of the 21st century (IPCC, 2023). Barley is one of the most important cereals finding its use especially in animal feeding and human consumption i.e. malting (Yawson et al., 2020). Increasing drought occurrence poses risks at barley cultivation, as seen for example in 2018 in Europe, when drought coinciding with exceptionally high temperatures caused notable yield reductions in various European regions, resulting in a sharp price increase (extra 60 €/ton barley, Beillouin et al., 2020). Breeding needs to provide drought resilient cultivars at a pace that keeps up with the ongoing climate change. Designing such cultivars with crop simulation models (CSMs) has great potential to accelerate breeding cycles. By simulating genotype x environment x management interactions, CSMs can create “virtual” genotypes and test their performance under different growth conditions which can inform breeders about favorable traits (Boote et al., 2021). The reliability of such simulations depends on accurate and realistic representations of physiological processes, like drought response behavior, in the CSM. To evaluate and improve or expand the process descriptions currently in place, we have to increase our understanding of crop physiological responses to drought and the resulting agronomic performance. Creating the necessary physiological database that provides sufficient detail is now possible with new sophisticated tools, like high-throughput functional phenotyping platforms (Dalal et al., 2020). We used such a platform to examine the different water use behaviors of spring barley cultivars in response to drought stress around heading to ultimately improve the related process descriptions in CSMs.

Materials and Methods

The Plantarray® (Plant-Ditech), is a high-throughput functional phenotyping platform that continuously and simultaneously measures water flux in the soil-plant-atmosphere-continuum. Gravimetric measurements and internally calculated parameters like daily transpiration, transpiration rate, volumetric soil water content, critical soil moisture threshold (θ_{crit}), stomatal conductance and, plant weight gain provide a very detailed picture of the whole-plant performance. With the associated feedback irrigation system each plant’s individual transpiration rate can be taken into account, e.g. by re-irrigating only a certain percentage of the previous’ day transpiration, which allows for implementing standardized drought treatments and thus easier comparison between plant performance. Such a gradual deficit irrigation,

as implemented in our experiment, better mimics the gradual development of drought as it occurs in the field (Dalal et al., 2020; Negin 2016). We examined the response of four high yielding European spring barley cultivars (*cvs. Chanelle, Baroness, Formula, RGT Planet*) to a 12-day drought period around heading and a subsequent recovery period of 10 days with full irrigation and resulting effects on grain yield parameters. Real time data analysis was conducted with the Plantarray's own analysis software and furthermore with R.

Results and Discussion

For *cv. Chanelle*, we observed non-conserving water use, with high transpiration and maximum productivity under well-watered conditions, yet rapid transpiration decrease under drought. This cultivar recovered poorly upon re-irrigation and suffered the largest grain yield losses. The water conserving behavior of *cv. Baroness* and *cv. Formula*, with low pre-drought transpiration and gradual transpiration reduction under drought coupled with good recovery prevented large yield losses. The best performing cultivar was *cv. RGT Planet*, which demonstrated a plastic water use behavior, i.e. high transpiration like a non-conservator under ample water supply and moderate transpiration decrease like a conservator under drought. It recovered well after drought and produced the highest and most stable yields. Additionally, the continuous measurements facilitated by the Plantarray provided insights on each cultivar's θ_{crit} (i.e. start of actual physiological drought). This can give hints on cultivar specific root characteristics and recovery speed and potential. The new insights we obtained from this experiment can be used to improve CSMs. Currently, transpiration reducing behavior in response to abiotic stress is implemented in CSMs via limiting transpiration after a VPD threshold is passed (Sinclair, 2018). New modules simulating this reduction of stomatal conductance under high VPD (the so-called "limited transpiration trait") have been recently developed and implemented into APSIM-NextGen for wheat (Collins et al., 2021). Based on our results we could test, and possibly re-parameterize this (and other) model(s) for barley. We could furthermore modify the description of the model, so that it not only reflects transpiration reductions based on VPD but also on varying levels of θ_{crit} (Javaux and Carminati, 2021). Adding such a feedback between root and shoot would increase the accuracy of simulated cultivar responses to e.g. mid-season drought and would enable further studies to evaluate in which environments a dynamic water use behavior (as in *cv. RGT Planet*) could indeed be beneficial – thus ultimately providing crucial information for breeding.

Literature

- Beillouin, D. (2020). *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 375, 20190510. doi: 10.1098/rstb.2019.0510
- Boote, K. J. (2021). *in silico Plants* 3. doi: 10.1093/insilicoplants/diab002
- Collins, B. (2021). *in silico Plants* 3. doi: 10.1093/insilicoplants/diab006
- Dalal, A. et al. (2020). *JoVE*. doi: 10.3791/61280-v
- Javaux, M. et al. (2021). *Soil hydraulics affect the degree of isohydricity. Plant Physiol* 186, 1378–1381. doi: 10.1093/plphys/kiab154
- Negin, B. et al., (2016). *Funct Plant Biol* 44, 107–118. doi: 10.1071/FP16156
- Sinclair, T. R. (2018). *Front Plant Sci* 9, 1442. doi: 10.3389/fpls.2018.01442
- Yawson, D. O. et al. (2020). *Sci Rep* 10, 376. doi: 10.1038/s41598-019-57256-3

CERES-Barley calibration for ideotyping drought-tolerant spring barley under German growth conditions

Asmae Meziane, Ashifur Rahman Shawon, Ahmed Attia and Til Feike

Institute for Strategies and Technology Assessment, Julius Kühn Institute, Kleinmachnow, Germany
E-Mail: asmae.meziane@julius-kuehn.de

Introduction

Increasingly adverse weather conditions due to ongoing climate change have exerted negative impacts on crop production and food security. Global agricultural productivity losses have been estimated at 21% since the 19th century (Ortiz-Bobea et al., 2021). Although the elevated atmospheric CO₂ levels exert positive effects on global cereal production, the rise in heat and drought stress results in yield losses and adverse impacts on grain quality, such as altered protein and mineral content (Mariem et al., 2021). To enhance the climate resilience of cereal production, it is vital to comprehend the most affected processes in crop production and develop corresponding adaptation strategies.

Crop modeling serves as a powerful tool for investigating the interactions between genotype (G), environment (E), and management (M) by simulating the plant-soil-atmosphere system. Through *in-silico* experiments, crop models enable the simulation of crop growth, development, and yield formation under future climatic conditions.

The ability to develop adaptation strategies considering genotype (G) x environment (E) x management (M) interactions is crucial in mitigating these challenges. Crop simulation models (CSMs) provide valuable tools for predicting and understanding crop responses under changing environmental conditions. This study aims to define ideotypes that exhibit high yields and yield stability under different drought stress conditions, using the crop model CERES-Barley embedded in DSSAT. By calibrating and validating the model based on field experiments and multi-environment trials, we aim to generate robust predictions and design drought-tolerant *in-silico* genotypes.

Materials and Methods

To effectively employ crop simulation models, calibration for target genotypes and environments is essential, followed by performance evaluation to ensure accurate predictions. In this study, we use detailed multi-environment phenology, growth, and yield data of the elite barley cv. RGT Planet to parameterize the CERES-Barley model. Two years of extensive field experiments were conducted in Berlin, where growth and yield data were collected under three irrigation treatments: rainfed, supplementary irrigation (irrigation is applied when plant available water capacity (PAWC) < 30% and refilled to 70%), and non-limiting irrigation (irrigation is applied when PAWC < 50% and refilled to 100%). We collected growth data throughout the growing season, including crop phenology, canopy height, tiller number, leaf area index (LAI), and above-ground biomass; yield and yield components were assessed at the end of the season. In addition, we utilized experimental data comprising 33 site years of pre-registration trials with RGT Planet from 2014 to 2019. Those data covering all relevant spring barley production regions of Germany include detailed management data, phenology assessment, canopy height, and yield components. The combined experimental data were utilized as input files for the parametrization and evaluation of the CERES-Barley model. We first define specific genotype specific

coefficients based on direct analysis of the experimental dataset, such as maximum seed size. For the subsequent model calibration, we follow a strategic approach, first calibrating crop phenological coefficients, then growth related coefficients, and finally yield related coefficients. We use the time series estimator tool (TSE) within DSSAT to define cultivar and ecotype specific coefficients, minimizing the normalized root mean square error (nRMSE) between simulated and observed data. We evaluate model performance on independent data.

We then use the parametrized and evaluated CERES-Barley model to explore its performance under current and future climatic conditions. To create drought-tolerant ideotypes and explore traits related to drought tolerance, we ran an extensive modeling study. We use the weather data of the 17 RCP-climate scenarios of the DWD core ensemble (DWD, 2018) from 1971-2099 and cluster the available yearly data into different groups of drought conditions. We, therefore, consider the spring barley-growing season, i.e., January to August, and categorize the different scenario-year combinations into clusters based on drought timing, duration, and intensity. Using those weather clusters, we run sensitivity analysis to define different sets of cultivar parameters that result in high yields and high yield stability to identify crop ideotypes for various drought situations.

Results and Discussion

The calibrated and evaluated CERES-Barley model provided robust simulation results for the elite cv. RGT Planet. The ideotyping exercise showed that cultivar coefficients and respective crop traits differ substantially between different drought situations. Accordingly, the assessment enabled the identification of ideotypes that optimize yield and yield stability under different drought stress conditions. The findings highlight the importance of considering the genotype \times environment \times management interactions in designing adaptation strategies for cereal production. By utilizing crop modeling approaches, we can gain insights into the complex dynamics of crop responses to climate change and develop genotypes better suited to future climates.

References

- DWD (2018) Deutscher Wetterdienst - Datensätze auf der Basis der RCP – Szenarien.
https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimaprojektionen/fuer_deutschland/fuer_dtstl_rcp-datensatz_node.html
- Mariem, S. Ben, Soba, D., Zhou, B., Loladze, I., Morales, F., & Aranjuelo, I. (2021). Climate Change, Crop Yields, and Grain Quality of C3 Cereals: A Meta-Analysis of CO₂, Temperature, and Drought Effects. *Plants* 2021, Vol. 10, Page 1052, 10(6), 1052. <https://doi.org/10.3390/PLANTS10061052>
- Ortiz-Bobea, A., Ault, T. R., Carrillo, C. M., Chambers, R. G., & Lobell, D. B. (2021). Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change* 2021 11:4, 11(4), 306–312. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>

Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit von konventionellen und neuen Unkrautbekämpfungsverfahren in Zuckerrüben

Olga Fishkis¹, Jessica Weller², Jörn Strassemeyer³, Jörn Lehmus², Franz Pöllinger³
und Heinz-Josef Koch¹

¹Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen; ²Julius Kühn-Institut/ Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Braunschweig; ³Julius Kühn-Institut/ Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow. E-Mail: fishkis@ifz-goettingen.de

Einleitung

Die Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben erfolgt derzeit auf über 90 % aller Rübenfelder in Deutschland durch die Ausbringung von Herbiziden (Roß et al., 2018). Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wird jedoch aufgrund ihrer aquatischen und terrestrischen Toxizität stark kritisiert und muss gemäß der „Farm to Fork“-Strategie der EU bis 2030 um 50 % reduziert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, will die Europäische Kommission die mechanische Unkrautbekämpfung fördern. Die Auswirkungen der mechanischen Unkrautkontrolle auf Bodenbiota, Bodenerosion, THG-Emissionen wurden jedoch bisher noch nicht untersucht. Daher war es das Ziel dieser Studie, eine ganzheitliche ökologische und ökonomische Bewertung mechanischer, mechanisch-chemischer und chemischer Unkrautregulierung zu erarbeiten.

Material und Methoden

Feldversuche wurden über 3 Jahre auf 7 Feldern in der Nähe von Göttingen und Braunschweig durchgeführt, um die Auswirkungen einer herkömmlichen mechanischen und mechanisch-chemischen Unkrautbekämpfung auf (1) Bodenorganismen (Regenwürmer und Insekten), (2) Bodenerosion durch Wasser, und (3) den Zuckerrübenenertrag im Vergleich zur chemischen Unkrautbekämpfung zu bewerten.

SYNOPS-GIS Modellierung wurde angewendet, um die toxikologischen Risiken für Nichtzielorganismen sowohl für herkömmliche chemische und kombinierte Verfahren als auch für neue kombinierte Verfahren wie die Reihenanwendung von Conviso One und eine Punktspritzung praxisüblicher Herbizide für ganz Deutschland zu bewerten.

Auf der Grundlage von Literaturrecherchen und Open-Source-Webanwendungen wie KTBL (<https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html>; 29.04.2021) und BioGrace (Version 4d: Standard Values, <https://www.biograce.net/home> 07.05.2021) wurden Ressourcenverbrauch, Treibhausgasemissionen und wirtschaftliche Parameter für elf herkömmliche und neue Unkrautbekämpfungsverfahren berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Feldversuche zeigen, dass die mechanische Unkrautbekämpfung keine signifikanten langfristigen Auswirkungen auf die Anzahl endogäischer und anektischer Regenwürmer sowie auf die Häufigkeit von Laufkäfern, Kurzflügelkäfern, Spinnen und Schadinsekten hatte. Der Rübenenertrag unterschied sich nicht signifikant zwischen den Unkrautbekämpfungsverfahren. Entgegen unseren Erwartungen konnten wir nach dem Hacken keine erhöhte Bodenerosion durch Wasser beobachten. Das Hacken verkrusteter Böden trug sogar zu einer erhöhten Infiltration und einem geringeren Oberflächenabfluss bei, was die kumulative Bodenerosion

deutlich verringerte. Da die Bodenerosion in dieser Studie jedoch anhand von Regensimulationen auf kleinen Parzellen ermittelt wurde, sind weitere Messungen im Feldmaßstab mit realen Hanglängen erforderlich, um einen möglichen Skaleneffekt zu erfassen.

Die Gesamtbetrachtung der mehrdimensionalen Risiken verschiedener konventioneller und neuer Verfahren zeigt, dass derzeit keine Methode als uneingeschränkt umweltfreundlich bezeichnet werden kann. Die toxikologische Risikobewertung mit SYNOPSIS-GIS zeigt, dass die Flächenspritzung von praxisüblichen Herbiziden in den meisten Boden-Klima-Räumen (BKR) und Jahren mit einem niedrigen toxikologischen Risiko verbunden ist. Die Flächenspritzung mit einem Herbizid wie Conviso One ist zwar vorteilhaft für Energieverbrauch, Klimawirkung und Toxizität für Bodenorganismen, weist aber die höchste akute Toxizität auf. Herkömmliche mechanische Verfahren sind toxikologisch zwar unbedenklich, im Vergleich zum ganzflächigen Herbizideinsatz aber mit 100-150% höheren THG-Emissionen und mit deutlich höheren Kosten und Zeitaufwand verbunden. Außerdem stehen für die Schlepperhacke in Einzeljahren mit regenreicher Witterung nur wenige Feldarbeitstage zur Verfügung. Der Einsatz des FarmDroid-Hackroboters reduziert die Kosten der mechanischer Unkrautkontrolle erheblich und erhöht die Zahl der verfügbaren Feldarbeitstage, ist aber in Bezug auf die CO₂-Emissionen und die Gesamtkosten im Nachteil im Vergleich zur konventionellen Flächenspritzung. Insgesamt hat ein Kleinroboter kombiniert mit einer Punktspritzung Vorteile. Diese Technik (noch nicht praxisreif) weist einen geringeren Ressourcen- und Energieverbrauch als die konventionelle Flächenspritzung sowie ca. 30% geringere THG-Emissionen auf und hat ein um 87% niedrigeres toxikologisches Risiko. In Bezug auf die Nachhaltigkeit ist die Flächenanwendung von CONVISO ONE nur für Felder mit großem Abstand zu Gewässern zu empfehlen. Bei geringem Gewässerabstand ist der solarbetriebene Hackroboter mit oder ohne Punktspritzung vorteilhaft.

Insgesamt zeigte es sich, dass stark reduzierte Herbizidaufwandmengen nicht immer zu einem geringen toxikologischen Risiko führen. Diese mögliche Diskrepanz zwischen Aufwandmenge und Umwelttoxizität sollte in Bewertungsansätzen wie dem „Harmonisierten Risikoindikator“ der EU beachtet werden. Der verstärkte Einsatz mechanischer Unkrautbekämpfungsverfahren, wie in der „Farm to Fork“-Strategie angestrebt, würde die THG-Emissionen im Vergleich zur herkömmlichen Flächenspritzung stark erhöhen, insbesondere wenn die schleppergestützte Hacke eingesetzt wird. Dies sollte bei der Umsetzung der „Farm to Fork“-Strategie berücksichtigt werden.

Gefördert durch Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Literatur

- BioGrace-I GHG calculation tool-version 4d (2015). Align Biofuel GHG Emission Calculations in Europe (BioGrace), <https://www.biograce.net/home>, (Zugriff am 07.05.2021)
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): Leistung-Kostenrechnung Pflanzenbau, Web-Tool, <https://daten.ktbl.de/dslkrpflanze/postHv.html>; (Zugriff am 29.04.2021)
- Roß, C.; Nause, N.; Stockfisch, N. (2018): Bodenschutz und reduzierter Herbizideinsatz. dzz (Die Zuckerrübenzeitung) 54 (4), 30–31

Gerste als Begleitpflanze im Zuckerrübenanbau – Neue Anbausysteme etablieren, um neuen Herausforderungen zu begegnen

Christel Anne Roß, Heinz-Josef Koch und Nicol Stockfisch

IfZ - Institut für Zuckerrübenforschung an der Universität Göttingen, Göttingen.

E-Mail: ross@ifz-goettingen.de

Einleitung

In Deutschland und der gesamten EU soll der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln reduziert werden. Gleichzeitig kann es durch veränderte klimatische Bedingungen zu früherem Aufkommen oder regionalem Neuauftreten von Schaderregern kommen (Krengel-Horney et al. 2021). Im Zuckerrübenanbau ist die Kontrolle virusübertragender Blattläuse eine der großen Herausforderungen. Als Überträger von Vergilbungsviren können Blattläuse für bis zu 37 % Ertragsverlust in den befallenen Zuckerrüben verantwortlich sein (Hossain et al. 2021). Zu hohen Verlusten kommt es vor allem, wenn die Infektion früh im Jahr stattfindet (Stevens et al 2004). Ziel der hier vorgestellten Versuche ist es, durch die Aussaat von Gerste als Begleitpflanze zu Zuckerrüben den Blattlausbefall in den Zuckerrüben zu verringern.

Material und Methoden

In den Jahren 2021 und 2022 wurden von vier europäischen Zuckerrübeninstituten im Rahmen des europäischen Netzwerkes Coordination Beet Research International (COBRI) Feldversuche mit Gerste als Begleitpflanze durchgeführt. Die vier beteiligten Institute sind: IRBAB in Belgien, IRS in den Niederlanden, NBR in Dänemark und Schweden sowie IfZ in Deutschland. Verglichen wurde eine Variante mit Gerste, die zeitgleich mit den Zuckerrüben ganzflächig ausgesät wurde, mit einer Kontrolle ohne Gerste. In Deutschland wurde in jedem der beiden Jahre an jeweils einem Standort eine Blockanlage mit vier Wiederholungen pro Variante angelegt. Insektizide wurden nicht ausgebracht. Es wurden Blattläuse auf den Zuckerrübenpflanzen bonitiert, die Höhe und Bodenbedeckung von Gerste und Zuckerrüben zu mehreren Terminen gemessen und der Ertrag erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass im Jahr 2022 auf dem Standort des IFZ in der Variante mit Gerste weniger Läuse zu finden waren als in den Kontrollparzellen. Durch die Konkurrenz der Gerste kam es jahres- und standortabhängig zu einem verminderten Zuckerrübenenertrag. Dies, und die Tatsache, dass die Aussaat der Gerste mit zeitlichem und finanziellem Aufwand verbunden ist, machen das Verfahren noch nicht praxistauglich. Die Gerste wurde im Mai chemisch entfernt. Vor dem Hintergrund der Reduktion chemischer Pflanzenschutzmittel ist dies keine optimale Lösung. In den nächsten Versuchsjahren werden Aussaatdichte, die räumliche Anordnung von Zuckerrübe und Gerste (ganzflächig; nur zwischen den Rübenreihen) sowie verschiedene Kontrollmöglichkeiten der Gerste untersucht. Ziel ist es, eine möglichst hohe Wirkung der Begleitpflanze bei der Läusekontrolle und gleichzeitig eine möglichst geringe Konkurrenzwirkung auf die Zuckerrübenpflanzen zu erzielen. Ob sich ein solches Verfahren etabliert, hängt nicht nur von dem Optimierungspotential des Anbauverfahrens ab, sondern auch von den zukünftigen,

auf jedem Standort unterschiedlichen Erwartungen des Ertragsverlusts durch Vergilbungsviren.

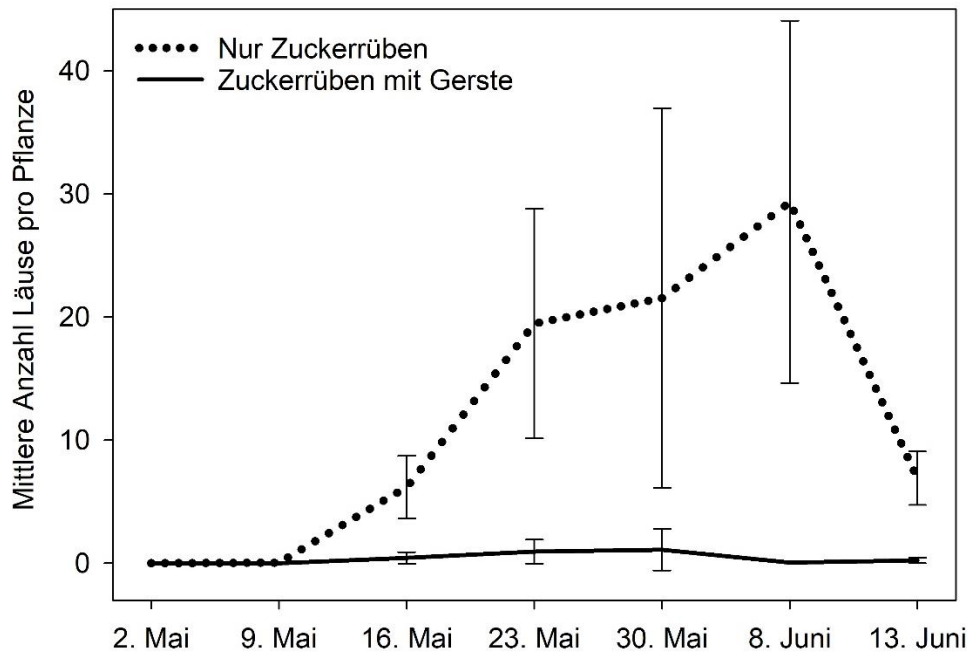


Abb. 1: Die mittlere Anzahl Läuse pro Pflanze war in den Plots mit Gerste als Begleitpflanze im Vergleich zu den Kontrollplots ohne Gerste zu allen Boniturterminen ab Mitte Mai reduziert. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung am Standort in der Nähe von Göttingen 2022 (n = 4).

Literatur

- Hossain, R.; Menzel, W.; Lachmann, C.; und Varrelmann, M. (2021) New insights into virus yellows distribution in Europe and effects of beet yellows virus, beet mild yellowing virus, and beet chlorosis virus on sugar beet yield following field inoculation. *Plant Pathol.* 2021; 70:584–593. <https://doi.org/10.1111/ppa.13306>
- Krengel-Horney, S.; Adler, C.; Berger, B.; Feike, T.; Flath, K.; Hausmann, J.; Herrmann, D.; Jehle, J.; Joachim, C.; Karpinski, I.; Maixner, M.; Möller, M.; Paap, M.; Schittenhelm, S.; Schrader, G.; Seidel, P.; Stahl, A.; Strassemeyer, J.; Ulber, L.; von Hörsten, D.; von Redwitz, C.; Wegener, J. K.; Zamani-Noor, N.; Kehlenbeck, H. (2021) Klimawandel und mögliche Herausforderungen für den Pflanzenschutz – Gestern, heute, morgen. *Journal für Kulturpflanzen*, 73 (7-8). S. 292–305 DOI: 10.5073/JfK.2021.07-08
- Stevens, M.; Hallsworth, P.B.; und Smith, H.G. (2004) The effects of Beet mild yellowing virus and Beet chlorosis virus on the yield of UK field-grown sugar beet in 1997, 1999 and 2000. *Annals of Applied Biology* 144(1):113-119. DOI:10.1111/j.1744-7348.2004.tb00

Einfluss der Vorfrucht auf das Wurzelwachstum von Winterweizen

Jessica Arnhold, Dennis Grunwald und Heinz-Josef Koch

Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-Mail: arnhold@ifz-goettingen.de

Einleitung

Beim wiederholten Anbau von Weizen kommt es häufig zu Ertragseinbußen und einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Trockenstress, einhergehend mit einem Befall durch den Pilz *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (Ggt), dem Erreger der Schwarzbeinigkeit (Sieling et al., 2005; 2007). Durch die daraus resultierende Seneszenz der Pflanzenwurzeln werden der Wasser- und Nährstofftransport der Wurzeln unterbrochen (Kirk & Deacon, 1986). Da Ertragseinbußen jedoch auch ohne eine Ggt-Infektion beobachtet werden, wird vermutet, dass u.a. eine Veränderung der Durchwurzelung für den Ertragsverlust mitverantwortlich ist (Sieling et al., 2007). Die vorgestellten Ergebnisse sind Teil des Verbundprojektes *RhizoWheat – Rhizosphärenprozesse und Ertragsdepressionen in Weizenfruchtfolgen*.

Material und Methoden

Die Untersuchungen fanden in einem Fruchtfolgeversuch in Harste bei Göttingen statt, der 2006 auf einer Pseudogley-Parabraunerde mit schluffig-lehmiger Textur etabliert wurde. In den Jahren 2020 bis 2022 wurde die räumliche und zeitliche Dynamik des Wurzelwachstums von Winterweizen (Sorte Nordkap) im ersten (W1) und zweiten (W2) Anbaujahr nach Raps sowie in langjähriger Selbstfolge (WM, seit 2006) untersucht.

Mittels destruktiver Bohrkernmethode wurden Wurzelproben zu den BBCH-Stadien 29 und 69 aus dem Ober- (0-15 und 15-30 cm) und Unterboden (30-120 cm) entnommen, um u.a. die Wurzellängendichte (WLD) des Weizens zu bestimmen. Außerdem wurde nach der Weizenernte die Befallsstärke der Schwarzbeinigkeit bestimmt, um den Take-all-Index (TAI) zu berechnen.

Ergebnisse und Diskussion

Während zum BBCH-Stadium 29 keine Unterschiede in der Durchwurzelung zwischen den Varianten zu sehen waren, zeigte sich über alle Jahre im BBCH-Stadium 69 eine signifikant höhere WLD für W1 im Vergleich zu W2 und WM im Unterboden (Abb. 1). Im Oberboden wurde nur im Jahr 2021 unter W2 und WM eine geringere WLD im Vergleich zu W1 gefunden (Daten nicht gezeigt), in den Jahren 2020 und 2022 wurden nahezu gleich hohe WLD unter W1, W2 und WM festgestellt. Dies könnte mit einem starken Auftreten von Schwarzbeinigkeit im feuchten Versuchsjahr 2021 in W2 und WM zu erklären sein, während in W1 kein Befall festgestellt wurde. Im trockeneren Versuchsjahr 2022 wurde in allen Varianten nur ein sehr geringer Befall mit Schwarzbeinigkeit gefunden.

In allen Jahren zeigte sich ein signifikant geringerer Kornertrag für W2 und WM im Vergleich zu W1 (Abb. 1). Hingegen war lediglich 2021 der Kornertrag für W2 signifikant geringer als für WM (Daten nicht gezeigt). Zusätzlich wurde in 2021 eine enge negative Korrelation zwischen TAI und Kornertrag festgestellt (Daten nicht gezeigt). Dass im Jahr 2022, trotz nur vereinzelt auftretender Schwarzbeinigkeit, W2 und WM geringere Erträge aufwiesen als W1, deutet auf einen Fruchtfolgeeffekt jenseits der Schwarzbeinigkeit hin.

Zusammenfassend betrachtet beeinflusst die Fruchtfolgeposition des Weizens die WLD und den Kornertrag. Die WLD könnte der Schlüsselparameter sein, um Unterschiede im Kornertrag in verschiedenen Fruchtfolgepositionen zu erklären. In weiteren Untersuchungen soll das Vorfruchtspektrum um Zuckerrübe und Mais erweitert werden und auch das Wurzelwachstum der Vorfrüchte erfasst werden.

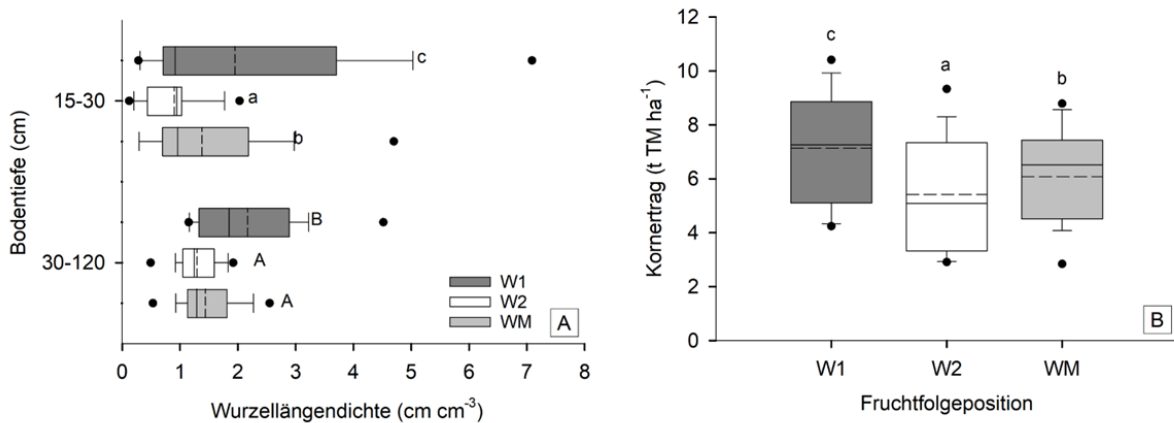


Abb. 1: Einfluss der Fruchtfolgeposition von Winterweizen (W1 = erster Weizen nach Winterrraps, W2 = zweiter Weizen nach Winterrraps, WM = Weizenmonokultur) auf die Wurzellängendichte in zwei Bodentiefen, BBCH 69 (A) und den Kornertrag (B): 2020 – 2022, n = 18, unterbrochene Linie = Mittelwert, Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Fruchtfolgepositionen ($p < 0,05$).

Literatur

- Kirk J. J., Deacon J. W. (1986). Early senescence of the root cortex of agricultural grasses, and of wheat following root amputation or infection by the take-all fungus. *New Phytologist* **104**: 63 – 75
- Sieling K., Stahl C., Winkelmann C., Christen O. (2005). Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. *European Journal of Agronomy* **22**: 71 – 84
- Sieling K., Ubben K., Christen O. (2007). Effects of preceding crop, sowing date, N fertilization and fluquinconazole seed treatment on wheat growth, grain yield and take all. *Journal of Plant Diseases and Protection* **114** (5): 213 – 220

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B0910C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

Potentials and challenges of pesticide-free cereal production – evidence from the NOcsPS field experiment in Dahnsdorf

Robin Lieb, Bettina Klocke, Jürgen Schwarz und Til Feike

Julius Kühn Institute (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Strategies and Technology Assessment, Kleinmachnow, E-Mail: robin.lieb@julius-kuehn.de

Introduction

In the light of the increasing societal and political wish to reduce the intensity of chemical-synthetic plant protection (csPP) the EU's "Farm-to-Fork-Strategy" aims to decrease the amount and risk of csPP by 50% by 2030. At the same time, global demand for agricultural products is increasing while the available arable land is estimated to shrink in the future. To meet these different expectations, the NOcsPS (LaNdwirtschaft 4.0 Ohne chemisch-synthetischen PflanzenSchutz) project develops and tests a production system that uses demand driven mineral fertilization while omitting csPP (Zimmermann et al., 2021).

Material and Methods

A field experiment with six crop rotation components, including winter wheat and winter rye, is conducted at the Dahnsdorf experimental station in southwest Brandenburg (Germany) in 2019-2023. In the experiment, four treatments are tested: conventional (CONV) and ecological (ECO) cropping as reference systems as well as NOcsPS1 and NOcsPS2, differing regarding their sowing technique pattern and density. In CONV, weeds, pests and diseases are controlled by csPP while using demand-driven mineral fertilizer. The other three treatments received mechanical weeding and no csPP. Due to lower yield expectations, the two NOcsPS-variants received 30% less mineral fertilizer compared to CONV. ECO receives no mineral or organic N fertilizer but the N fixed by the legumes grown in the crop rotation.

This study focuses on three out of six components of the crop rotation, i.e., winter wheat 1 (WW1, cv. Achim, higher resistance), winter wheat 2 (WW2, cv. RGT Reform, higher yielding), and winter rye (WR, cv. KWS Binntto). Among others, we assessed (i) yield and its components, (ii) incidence and severity of fungal diseases, (iii) biomass and weed abundance, as well as (iv) leaf area development.

Results and Discussion

With regard to yield, in WR, the two NOcsPS treatments performed inferior compared to CONV but superior to ECO over all seasons. In both wheats, CONV is superior compared to the others in all years, but in WW2, ECO is not inferior to both NOcsPS in 2021. In WW1, ECO is only inferior to NOcsPS1 in 2020, while performing equally compared to NOcsPS2 in all years and to NOcsPS1 in 2021 and 2022. The relatively good performance of ECO in WW1 compared to the two NOcsPS treatments may be due to their respective pre-crops. Here the pre-crop in ECO is clover grass, while in both NOcsPS summer barley is grown in the previous season. Therefore, ECO received N through the legume-residues. For WW2 pre-crop over all four treatments is pea. Looking at the yield components, we see that the yield differences between the cropping systems can largely be explained by the difference in the number of ears per m² in both wheats and rye. Whereas the TKM is negatively correlated with the number of ears. Furthermore, the weight per ear was higher in CONV vs. both NOcsPS and ECO.

It needs to be noted that disease severity with fungal diseases was low in all investigated seasons, with only light infestation with leaf rust, stripe rust, rhynchosporium, and septoria leaf blotch. Leaf rust was the dominant disease in WR in all years. In CONV, fungicide treatments were required because the disease control threshold was exceeded and cv. KWS Binntto did not show a high resistance. While only one treatment against leaf rust was necessary in 2020-2022, two treatments were carried out in 2023. In all years, leaf rust was successfully controlled. In 2023, another disease, *Cercosporidium graminis* previously unknown in winter rye and usually infecting only fodder grasses, occurred in addition to leaf rust. Control of this disease was possible with the fungicide Prothioconazol, which was used against leaf rust.

In WW, the higher resistance of WW1 compared to WW2 regarding septoria leaf blotch was visible in all years. While early treatment against septoria leaf blotch occurred in WW2 in 2020, 2021, and 2023, it was not required in WW1. Retrospectively, these treatments would not have been necessary in WW2 due to the lack of moisture, but this was not predictable at the time of the decision. This shows the advantage of a resistant cultivar, also with regard to unpredictable weather conditions.

The weeding strategy, i.e. chemical vs. mechanical, has a significant effect on weed abundance. However, there is evidence that the reduced sowing density and wider row distance in NOcsPS2 led to higher weed abundance in all three crops. Furthermore, in all four systems, WR is superior in weed suppression compared to both winter wheats.

From the beginning of the pre-summer drought, which occurred at varying intensities in all years, WW2 developed physiological leaf spots on the flag leaves and the adjacent leaves below. This occurred as early as the beginning of ear emergence with a severity of 5% to 25%. In an ongoing drought, both wheats reacted with leaf rolling, whereas there were no signs of drought stress in WR. Drought stress, especially in growth stages sensitive for yield formation, plus the higher weed abundance in wheat explains the yield gap between both wheats vs. WR in all four systems.

In all years, senescence of the flag leaf and the first leaf below occurs later in CONV compared with the other three systems. This may be due to lower disease infestation, less competition with weeds, and good nutritional status.

Looking at the experience collected since 2019, NOcsPS might actually be an option as a new cropping system that breaks the dichotomy of conventional vs. ecological agriculture. The major challenge for the productivity and especially sustainability of the system is demand-driven fertilizer management. In addition, the choice of a resistant cultivar should be mandatory. In Dahnsdorf, as in many other regions in Germany, abiotic stress impedes yield stability and hence challenges demand-driven fertilization. In the NOcsPS system, we additionally face the challenge of biotic stress potentially causing yield losses. In those dry regions, where fertilization decisions need to be made early in the season, high uncertainty of the expected yield hinders demand-driven nitrogen application. When looking at the yield gap between CONV and both NOcsPS, fertilizer reduction of 30% may have been too high. Therefore, in the upcoming years, NOcsPS2 will be replaced by a NOcsPS-system, which will receive the same amount of fertilizer as CONV to better understand the impact of diseases, weeds and the plant protection strategy.

Literature

Zimmermann, B., I., Claß-Mahler, M., von Cossel, et al., 2021: Mineral-Ecological Cropping Systems—A New Approach to Improve Ecosystem Services by Farming without Chemical Synthetic Plant Protection. *Agronomy*. 11 (9), 171

Unkrautregulierung im ökologischen Zuckerrübenanbau in der Uckermark – Erprobung und Bewertung des autonomen Feldroboters Uckerbot

Steinherr, L.¹, Krachunova, T.², Birkmann, A.¹, Acosta Ortiz, D. I.², Bloch, R.¹
und Bellingrath-Kimura, S. D.²

¹Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE), Eberswalde; ²Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF e.V.), Müncheberg. E-Mail: leonie.steinherr@hnee.de

Einleitung

Die größte Herausforderung im ökologischen Zuckerrübenanbau sind die hohen Kosten für die Beikrautregulierung, die durch zeitintensive Handhackarbeiten innerhalb der Rübenreihen entstehen (Dierauer & Jenni, 2022). Viele Landwirt:innen scheuen daher in den Anbau einzusteigen, obwohl die Nachfrage nach Bio-Zucker(rüben) steigt. Eine wirtschaftliche Alternative zur herkömmlichen Beikrautregulierung, soll zukünftig der „Uckerbot“ sein. Hierbei handelt es sich um einen autonomen, solar- und batteriebetriebenen Hackroboter, der aktuell im Projekt Uckerbots entwickelt wird. Durch KI-gestützte, kamerabasierte Bilderkennungsverfahren kann der Feldroboter einzelne Zuckerrüben und Beikräuter identifizieren und Problembeikräuter zielsicher mechanisch entfernen. Dabei soll die Roboter-KI den Erhalt der Biodiversität fördern, indem nützliche Arten selektiv stehen bleiben. Der Uckerbot wurde mit einzelnen und kombinierten Hackwerkzeugen (Pendelhacke, Bohrer und Elektroschocker) ausgestattet und in Feldversuchen in der Uckermark 2021 und 2022 hinsichtlich seiner Jäteeffizienz mit gängigen mechanischen Unkrautregulierungsmethoden verglichen. Ausgehend von diesen Ergebnissen soll zukünftig ein geeignetes Geschäftsmodell für den Einsatz der neuen Technik in der Region Uckermark entstehen.

Material und Methoden

2021 und 2022 wurde auf der HNEE Lehr- und Forschungsstation Wilmersdorf (mittlerer Jahresniederschlag 516 mm (1981 – 2010); Oberboden: mittel schluffige (Su3) bis stark lehmige Sande (Sl4) je ein Parzellenversuch durchgeführt. 2021 wurde die Wirksamkeit verschiedener Roboter-Werkzeuge (Elektroschocker 35 kV, Bohrer 1- 5 cm Bohrtiefe) durch manuelle Anwendung untersucht. Das Bohren stellte sich als der wirksamere Mechanismus heraus. Darauf aufbauend wurde 2022 die Beikrautregulierung durch den ersten autonom fahrenden Prototyp des Hackroboters Uckerbot mit Bohrer-Mechanismus gängigen Regulierungsstrategien mittels Feldklasse Pacorel Hackaggregaten, einer Reihenfingerhacke sowie einer Kontrollvariante ohne Beikrautentfernung gegenübergestellt. Die vier Varianten wurden zehn- bzw. fünffach (Kontrolle) wiederholt. In beiden Versuchsjahren wurde in allen Varianten eine wöchentliche Bonitur des Beikrautdeckungsgrades und der Rübenverluste durchgeführt. Parallel wurden die am Standort vorkommenden Beikrautarten identifiziert und anhand agrarökologischer Indikatoren zuckerrübenspezifisch in die Kategorien „nützlich“ (biodiversitätsfördernd) und „schädlich“ (ertragsmindernd) unterteilt. Die Frisch- und Trockenmasse (TM) der Beikrautarten wurde für jede Variante in der Reihe einzeln ausgewertet. Die erhobenen Daten wurden mittels Verfahren der schließenden Statistik (u.a. Kruskal-Wallis-Test und Tukey LSD) ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Die vorläufigen Versuchsergebnisse zeigen, dass der Uckerbot Beikraut in der Reihe signifikant effektiv bekämpft. 2022 erreichte der Uckerbot mit dem Bohrer-Mechanismus eine mittlere Jäteeffizienz von 88 % (Abb. 1). Zugleich verdeutlichen die durchschnittlichen Erträge von 45,1 t/ha und ein Zuckergehalt von 17,6 % auf den Versuchsstandorten die gute Standorteignung für den ökologischen Zuckerrübenanbau. Die signifikant geringste TM von „schädlichen“ Unkrautarten (u.a. *Chenopodium album*) wurde in der Uckerbot-Variante ermittelt, während die Trockenmasseerträgen an „nützlichen“ Unkrautarten (u.a. *Anchusa arvensis*) sowohl beim Uckerbot, als auch in den Vergleichsvarianten ähnlich ausfielen. Da bislang kein selektives Jäten durch den Uckerbot stattfindet, sind diese Ergebnisse vermutlich auf die generell höhere Jäteeffizienz des Roboters sowie ein vermehrtes Aufkommen von Meldepflanzen mit hohem Wuchs zurückzuführen, die deshalb primär gehackt wurden. Die höchste Zuckerrüben-Blatt TM wurde in der Uckerbot Variante ermittelt, allerdings ist dies aufgrund von Ausreißern der einzelnen Varianten nur tendenziell signifikant (Abb. 1).

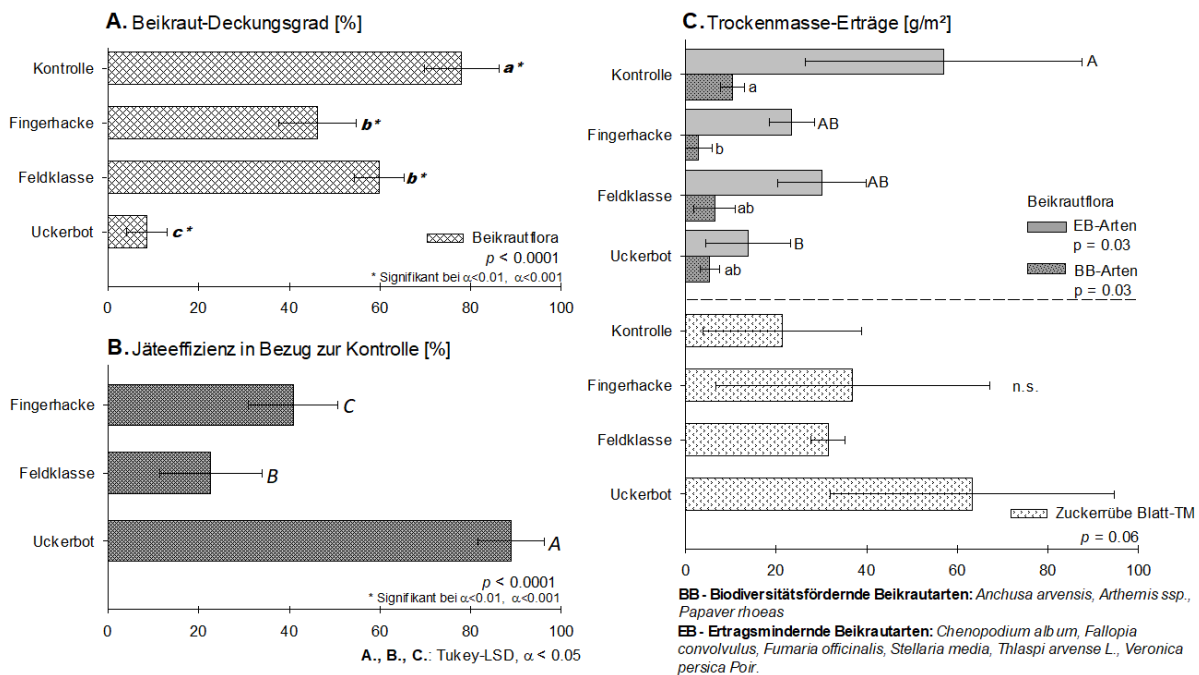


Abb.1: Versuchsergebnisse aus On-Farm Versuch 2022 in Wilmersdorf, Deutschland (exemplarisch). A. Unkraut-Deckungsgrad [%] der Beikrautflora beim Reihenschluss. B. Jäteeffizienz [%] in Bezug zur Kontrolle. C. Trockenmasse-Erträge [g/m²] biodiversitätsfördernde sowie ertragsmindernde Beikrautarten im Vergleich und Zuckerrübe Blatt-TM. Einfaktorielle Auswertung, Tukey LSD. Mittelwerte \pm Standardabweichung

Die Forschungsarbeiten im Verbundvorhaben *Uckerbots* werden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des WIR!-Bündnis Region 4.0 gefördert.

Literatur

Dierauer, H.& Jenni, S.: Biozuckerrüben. Herausforderungen und Chancen des Anbaus. Merkblatt Nr. 1172. 2. Auflage. Hg. v. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL.

Kichererbsen als Anpassung an den Klimawandel? Ergebnisse zum Ertragspotential und Herausforderungen aus einem Netzwerkversuch in Deutschland, Österreich und der Schweiz

Moritz Reckling¹, Mosab Halwani¹, Andrea Winterling², Annegret Pflugfelder³, Sabine Zikeli³, Daniel Lehner⁴, Jürg Hiltbrunner⁵, Verena Preußner⁶, Hans-Hagen Lutzer⁷, Ralf Bloch⁷, Constanze Rusch⁸, Oliver Radtke⁸, Ines Schwabe⁹, Wolfgang Karalus¹⁰, Gunhild Rosner¹, Kotaiba Salama¹ und Carola Blessing¹¹

¹ZALF, Müncheberg. E-Mail: moritz.reckling@zalf.de; ²LfL, Freising; ³Universität Hohenheim, Stuttgart; ⁴HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Stadl-Paura; ⁵Agroscope, Zürich; ⁶LTZ, Emmendingen; ⁷HNE, Eberswalde; ⁸LLG, Bernburg; ⁹TLLR, Jena; ¹⁰SMEKUL, Dresden; ¹¹LTZ, Forchheim

Einleitung

Kichererbsen bieten das Potential, das Kulturartenspektrum um eine weitere Leguminose zu erweitern, welche an hohe Temperaturen und trockene Bedingungen angepasst ist. Erkenntnisse zu dem Anbaupotential, dem Auftreten von Krankheiten, Sortenunterschieden und dem Einfluss der Impfung sind für Deutschland, Österreich und die Schweiz noch weitgehend unbekannt. Um diese Erkenntnisse zu gewinnen, wurden standardisierte Versuche in einem Netzwerk von Forschungseinrichtungen angelegt. Ziel ist eine praxisrelevante Bewertung der agronomischen Eigenschaften von unterschiedlichen Kichererbsensorten der drei Typen, Kabuli (hell), Gulabi (rotbraun) und Desi (dunkel) unter möglichst unterschiedlichen Umweltbedingungen.

Material und Methoden

In einem Netzwerk von Forschungseinrichtungen wurden von 2021-2022 an 15 Standorten in Deutschland, Österreich und der Schweiz (Abbildung 1) standardisierte Versuche zum Ertragspotenzial von Sorten und dem Effekt der Impfung durchgeführt. Es wurden fünf Sorten (zwei Kabuli, zwei Gulabi und ein Desi Typ) sowie eine Variante mit und ohne Saatgutimpfung mit Rhizobien in Parzellenversuchen mit 4 Wiederholungen verglichen. Ein ausführliches Protokoll mit einer Bonituranleitung wurde für die Erhebung von agronomischen Eigenschaften erstellt und an allen Standorten umgesetzt. Neben der Beobachtung der phänologischen Entwicklung wurden Knöllchenbonituren, Ertragskomponenten und Bodenproben untersucht. Die Erträge wurden über alle Standorte und Sorten ausgewertet. Für die statistische Analyse wurde JMP Pro 16 (SAS Institute) und ein Wilcoxon Test verwendet.



Abbildung 1: Netzwerk der Forschungseinrichtungen an 15 Versuchsstandorten in Deutschland, Österreich und der Schweiz

Ergebnisse und Diskussion

Erste Ergebnisse aus dem Jahr 2021 und 2022 zeigten einen durchschnittlichen Kornertrag von 1,7 und 1,9 t ha⁻¹, mit einer großen Streuung zwischen den Standorten (0,2 bis 3,5 t ha⁻¹). Standorte mit höheren Niederschlägen tendierten eher zu geringeren Erträgen als trockene Standorte. Ertragsunterschiede zwischen den Sorten waren hingegen relativ gering, mit mittleren Erträgen von 1,8 bis 2,0 t ha⁻¹ in 2022. Es gab keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen den Kabuli-, Gulabi- und Desi-Typen.

Herausforderungen sind (i) zum Teil geringe Keimfähigkeiten und Triebkraftwerte des Saatguts, (ii) ein unsicherer Feldaufgang, (iii) Wildschäden, (iv) das Auftreten von Krankheiten wie u.a. Fusarien und Ascochyta, (v) ein großes Risiko der Verunkrautung und (vi) eine verzögerte und nicht einheitliche Abreife.

Ertragspotential von Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* MOENCH) unter den Bedingungen Südwestdeutschlands

Samantha Jo Grimes¹, Friedrich Longin² und Simone Graeff-Hönniger¹

¹Kulturpflanzenwissenschaften/Universität Hohenheim, Stuttgart; ²Landessaatzuchtanstalt/ Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: samantha.grimes@uni-hohenheim.de

Einleitung

In Baden-Württemberg werden rund 46 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt. Die Artenvielfalt in der Agrarlandschaft ist jedoch in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen. Eine wichtige Maßnahme zur Erhöhung der Artenvielfalt in der Landwirtschaft wird in der Einführung neuer oder der Wiederentdeckung alter Kulturarten gesehen, die in der Regel eine geringere Bewirtschaftungsintensität erfordern. Der Anbau von Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* Moench) birgt ein großes Potenzial, zu einer regionalen und biodiversitätsfreundlichen Landwirtschaft beizutragen. Um einen Anbauanreiz zu schaffen, muss jedoch auch in diesem Kontext die ökonomische Rentabilität für Landwirte gegeben sein. Aus diesem Grund wurden Anbauversuche durchgeführt, die das Ertragspotential von Buchweizen unter den Bedingungen Südwestdeutschlands prüfen.

Material und Methoden

Insgesamt wurden 34 Buchweizensorten (acht determiniert, 26 indeterminiert), mit einem orthogonalen Kern von drei Sorten über drei Wachstumsperioden (2019, 2020, 2021) an drei Versuchsstandorten (Heidfeldhof, 70599 Stuttgart-Hohenheim; 77731 Eckartsweier, 77731 Willstätt (Ergebnisse nicht dargestellt); Oberer Lindenhof, 72813 St. Johann) in zwei Aussatterminen (normal = Mitte Mai, spät = Ende Juni) in zweifacher Wiederholung in einem alpha-lattice design angebaut. Die Saatstärke betrug 180 Körner m² bei einer Saattiefe von 2 – 2,5 cm und einem Reihenabstand von 14 cm. Neben dem Ertrag (dt ha⁻¹) wurden das Tausendkorngewicht (g, Marvin Seed Analyzer) (Abb. 1 & Abb. 2), das Hektolitergewicht (kg 100 L⁻¹) und der Proteingehalt erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Die über die drei Anbauorte und -jahre gemittelten Erträge der Mai- (16.29 dt ha⁻¹ und 29.16 dt/ha) und Juniaussaat (13.88 dt ha⁻¹ bis 31.23 dt ha⁻¹) erscheinen im Vergleich zu Sommergetreidearten (40-75 dt ha⁻¹) erst einmal gering (BMEL 2019). Dies bedeutet, dass Landwirte hohe Preise für heimisch produzierten Buchweizen abrufen müssen, um ökonomisch arbeiten zu können. Auf der anderen Seite zeigte sich in den Versuchen, dass die Erträge der Juniaussaat nicht signifikant geringer waren als die der Maiaussaat. Buchweizen kann somit potenziell spät in der Fruchtfolge platziert werden. Eine Aussaat kann so z.B. gegen Mitte/Ende Juni nach einer sehr frühen Vorkultur wie Grünroggen, frühreifer Gerste oder Frühkartoffeln erfolgen. Auf diese Weise könnten Landwirte einen zusätzlichen Gewinn zur Hauptkultur erzielen und die Wirtschaftlichkeit von Buchweizen trotz des geringeren Ertrags verbessern. Um das zu erreichen, müsste jedoch die rechtzeitige Reife im Herbst vor der Winteraussaat gesichert sein. In diesem Zusammenhang sind die Sortenwahl und Züchtung von Buchweizen von enormer Wichtigkeit. Eine determinierte Sorte mit früher Reife, hoher Standfestigkeit und großen Körnern (hohes TKG) sollte gewählt werden. Die Saatgutverfügbarkeit aus

Russland/Osteuropa ist stark eingeschränkt. Die Etablierung einer heimischen Buchweizenzüchtung und der damit verbundenen Züchtung klimatisch angepasster Sorten ist daher von hoher Relevanz.

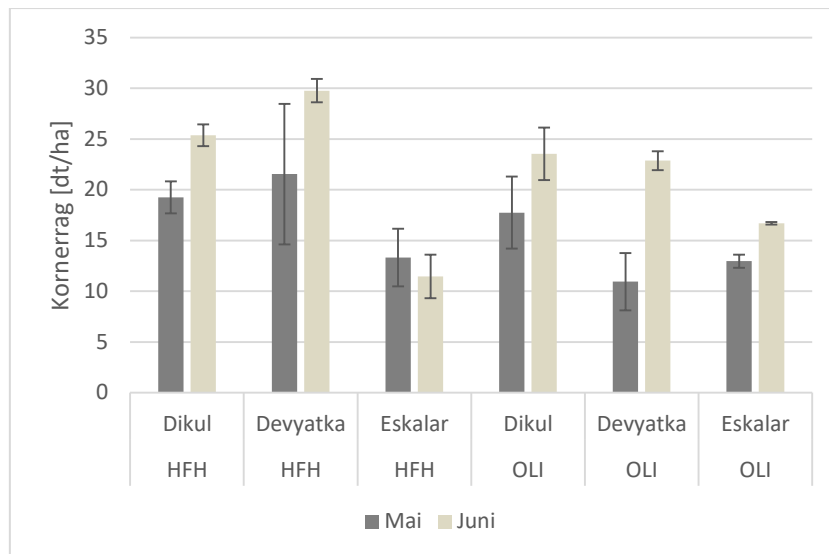


Abb. 1: Mittlerer Kornerrtrag (dt ha⁻¹) von drei Buchweizensorten (Dikul, Devyatka, Eskalar), zwei Aussaatterminen (Mai/Juni) an zwei Standorten (Heidfeldhof (HFH) und Oberer Lindenhof (OLI)) im Jahr 2021. Angegeben sind LS-Mittelwerte ±Standardfehler.

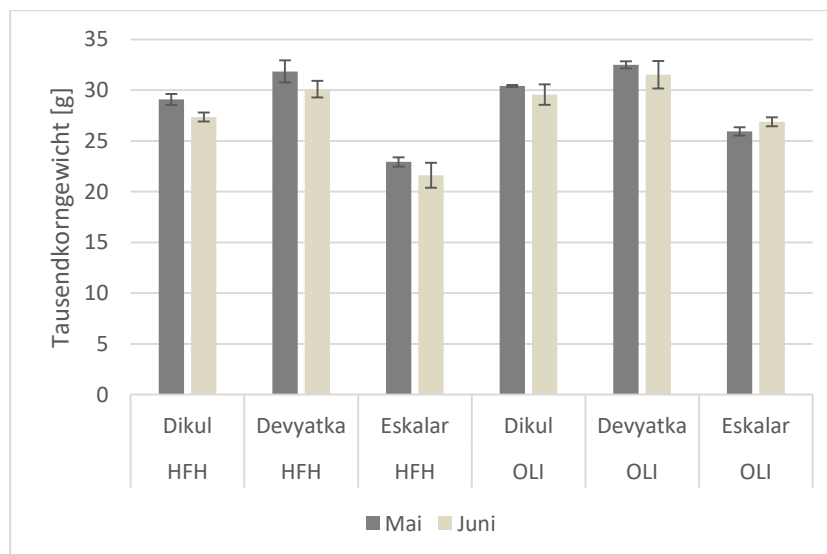


Abb. 2: Mittleres Tausendkorngewicht (g) von drei Buchweizensorten (Dikul, Devyatka, Eskalar), zwei Aussaatterminen (Mai/Juni) an zwei Standorten (Heidfeldhof (HFH) und Oberer Lindenhof (OLI)) im Jahr 2021. Angegeben sind LS-Mittelwerte ±Standardfehler.

Literatur

- Longin, C.F.H. und T. Würschum. 2016. Back to the future – tapping into ancient grains for food diversity. Trends in Plant Science 21: 731-737, DOI: 10.1016/j.tplants.2016.05.005
- BMEL. 2019. Ernte 2019. Mengen und Preise, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ernte-Bericht/ernte-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Schuster, J. 2021. Blinis und Brot: Buchweizen ist wieder Trend, <https://www.landundforst.de/landwirtschaft/pflanze/blinis-brot-buchweizen-trend-564647>

Can plant traits explain the performance of an intercropping system? A wheat-pea field experiment

Johannes Timaeus¹, Odette D. Weedon² and Maria R. Finckh²

¹Universität Bonn, Agrarökologie und organischer Landbau, Bonn; ²Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz, Witzenhausen. E-Mail: jtimaeus@uni-bonn.de

Introduction

The performance advantages of intercropping (IC) such increased protein contents and yield gains have been widely studied. Far less investigations are available studying the role of different classes of plant traits to explain intercropping performance. Plant traits can have a dual role in IC influencing the performance of the IC system and being influenced by the IC system through plasticity. Therefore, traits of several wheat cultivars were investigated in monoculture and in mixture with a pea cultivar.

Materials and methods

The experiment was set up at the Kassel University research station, Neu-Eichenberg, Germany (51°22'24.7" N and 9°54'12.5" E, 247 m above sea level). The research fields are classified as fine loamy loess soil (Haplic Luvisol) with 76 soil points according to the German soil classification system. Mean annual temperature from 2013–2019 was 9.6°C and mean annual precipitation 560 mm. Sowing rate in mixtures was 70% wheat and 50% pea of the sole crop (SC) sowing density (350 and 90 seeds / m², respectively). The experiment was set up as a split-plot design with four replicates. Plot size was 13x1.5 m. Wheat genotypes included western European (Achat, Butaro, Capo) and Hungarian (Toborzo, Nemere, Elit CCP) cultivars. Statistical analysis was carried out as mixed effect modeling either with the lme4 (homogeneous variances) or nlme (heteroskedasticity) package in R.

Results and discussion

In the first season, trait plasticity was observed for wheat with increased plant height, stem weight, flag leaf area (Figure 1, top) and flag-1 area in IC. In the second season trait plasticity of wheat was much less pronounced (Figure 1, bottom). This was accompanied by delayed senescence and increased protein content of wheat grains in IC especially in the first experimental season (Timaeus et al., 2022). Likely, wheat experienced reduced competition for soil resources such as water and nitrogen compared to the wheat SC, resulting in changed physiological processes with respect to photosynthesis and nutrient allocation, which in turn led to the observed trait plasticity, delayed senescence and increased protein content. In this experiment changes in competition are influenced by genuine mixture affect interacting with a density effect. In IC, the number of plant individuals seeded was 245 for wheat and 45 for pea amounting to 83% of the number of seeded individuals in wheat monoculture. Pea height was not affected by the cropping system in the first season but increased in IC in the second season relative to pea SC. Stem width of pea was reduced in both seasons in IC. Pea experienced a massively higher overall plant density in mixtures (2.7 times), likely causing plastic reactions. Therefore, density effects played even a larger role for peas than for wheat. This experiment gives insights into the role of plasticity and how it is interacting with changed competition in

IC relative to SC and this in turn affects IC performance. Whether plasticity is a reaction to density or the crop partner cannot be determined here. Additive mixtures are of relevance in farming practice to exploit complementarity of different crop species by higher total plant densities. Future experiments that aim to disentangle both causes should implement substitutive designs or response surface designs. Very strong correlations of thousand grain weight (TGW) with protein content were detected. Usually yield and yield components are negatively correlated with protein content (Simmonds, 1995). High TGW covaried with other traits that positively correlate with protein content, highlighting the need for cautious application of analytical methods based on correlation and regression. Correlation of traits with wheat grain protein content were overall similar in IC and monoculture with vegetative traits conferring early vigour (early wheat cover, early wheat height, days to heading) correlating positively and yield related traits (harvest index, kernels per ear) correlating negatively with protein content. In conclusion, plant traits per se as well as their plasticity can contribute to explain the performance of IC systems but should be studied in more rigorous experimental systems.

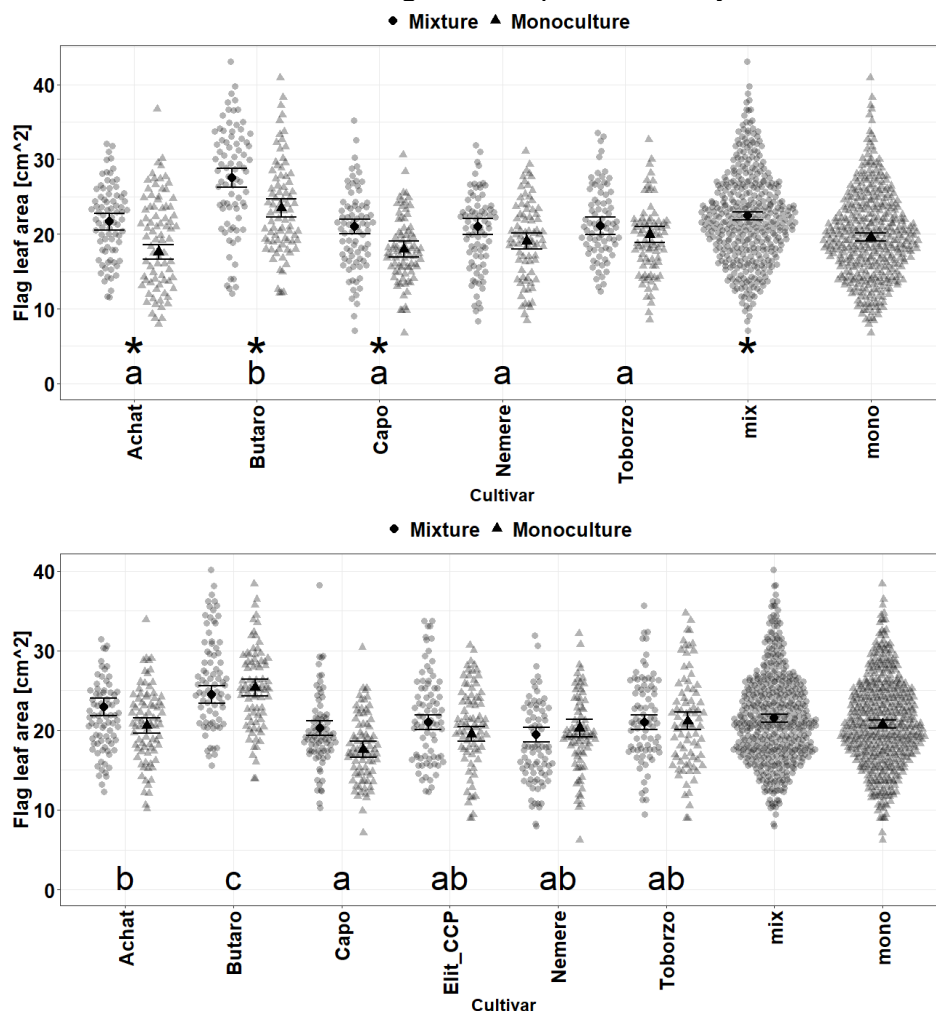


Figure 1 Wheat flag leaf area in 2018/19 (top) and 2020/21 (bottom). Plotted are raw data, estimated marginal means and standard errors from linear mixed effect models. Letters indicate significant differences at $p < 0.05$ from post hoc tests, adjusted for multiple comparisons (Holm).

Literature

Simmonds, N.W., 1995. The relation between yield and protein in cereal grain. *J. Sci. Food Agric.* 67, 309–315.

Timaueus, J., Weedon, O.D., Finckh, M.R., 2022. Harnessing the Potential of Wheat-Pea Species Mixtures: Evaluation of Multifunctional Performance and Wheat Diversity. *Front. Plant Sci.* 13, 1–18.

Digital-unterstützte Messung und Bewertung der Biodiversitätsleistung im Pflanzenbau

Marius Kuhlmann, Rolf Weber und Markus Frank

Institut für angewandte Agrarforschung/Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen,
E-Mail: marius.kuhlmann@hfwu.de

Einleitung

Der weltweite Rückgang der Artenvielfalt stellt eine der größten ökologischen Bedrohungen unserer Zeit dar (Rounsevell et al., 2020). Die Landwirtschaft gilt dabei durch großflächige Landnutzung, Intensivierung und damit einhergehender Beeinflussung von Lebensräumen als Haupttreiber dieses Rückgangs (Schmeller & Bridgewater, 2016). Politische Entscheidungsträger haben hier Handlungsbedarf erkannt, und das Thema Biodiversitätsverlust rückt auch gesellschaftlich zunehmend in den Fokus (IPBES, 2020; Li, 2020). Es kann daher angenommen werden, dass Landwirte in naher Zukunft aufgrund langfristiger Ertragseinbußen, gesetzlicher Anforderungen, staatlicher Förderung oder Anforderungen aus der Wertschöpfungskette, biodiversitätsfreundlichere Bewirtschaftungspraktiken einführen und Nachweise für diese erbringen müssen (Tscharnatke et al., 2014).

Der Beitrag landwirtschaftlicher Bewirtschaftungspraktiken zum Erhalt der Artenvielfalt ist jedoch nur schwer zu erfassen und spielt im Allgemeinen in der Anbauplanung der Landwirte/-innen bisher nur eine untergeordnete Rolle (Nijkamp et al., 2008). Zur besseren Erfassung von Biodiversitätsleistungen und deren Integration in die Anbauplanung und -dokumentation ist die Entwicklung von einheitlichen, und einfach/intuitiv anwendbaren Maßstäben zur Bewertung der Biodiversitätsleistung erforderlich.

Das Ziel des vorgestellten Ansatzes ist die Bereitstellung eines indikator-basierten Modells zur Analyse des Biodiversitätspotenzials auf Ackerflächen und der sie umgebenden Agrarlandschaft. Dabei soll im Wesentlichen der aktive Beitrag der Managementpraktiken von Landwirten/-innen zum Biodiversitätspotential bewertet werden.

Material und Methoden

Auf Basis von Daten aus Metastudien, Monitorings sowie Experteninterviews wurde ein Modell zur Vorhersage von Biodiversitätseffekten pflanzenbaulicher Strategien entwickelt (Dicks et al., 2014; Weber et al., 2023).

Dabei wurden zunächst biodiversitätsfördernde Kulturbewirtschaftungsparameter (*on-crop*) und Maßnahmen außerhalb der direkten Kulturbewirtschaftung (*off-crop*) unter Berücksichtigung ihrer Implementierbarkeit durch elektronische Betriebsmanagement-systeme (FMIS) ausgewählt.

Die Maßnahmen wurden nach Ihrer Wirksamkeit auf wesentliche Einflussfaktoren der Biodiversitätsförderung unter Berücksichtigung ihrer Auswirkungen auf verschiedene Taxa gewichtet und in Erfüllungsgrade unterteilt. Nach der Bewertung der Einflussfaktoren durch die gewichteten Maßnahmen erfolgt analog zu Wood et al. (2015) die Bewertung des Biodiversitätspotenzials unter Annahme eines logistischen Wachstums für die Artenkategorien Insekten, Vögel der Agrarlandschaft, Pflanzen und Säugetieren skalenebenenübergreifend auf den Ebenen „Schlag“, „Saumstrukturen“ und „Agrarlandschaft“.

In einem nächsten Schritt soll diese Bewertungslogik mit der Möglichkeit einer dynamischen Szenarioanalyse an Betriebsmanagementsysteme angebunden werden und damit ein digitales unterstützendes Hilfsmittel für eine biodiverse und nachhaltige Entwicklung der Landwirtschaft bereitstellen.

Ergebnisse und Diskussion

Das entwickelte Bewertungsmodell ermöglicht eine pro- und retrospektive Bewertung der Biodiversitätseffekte pflanzenbaulicher Strategien auf verschiedenen Ebenen, einschließlich des Schlags, der Saumstrukturen und der sie umgebenden Agrarlandschaft. Die Bewertung erfolgt für verschiedene Taxa, darunter Insekten, Vögel der Agrarlandschaft, Pflanzen und Säugetiere. Durch Addition dieser Bewertungen kann eine Gesamtbewertung der angewandten Managementpraktiken auf das Biodiversitätspotenzial vorgenommen werden.

Die Integration dieses Bewertungssystems in ein FMIS (Farm Management Information System) soll es in einem nächsten Schritt Landwirten/-innen ermöglicht werden, Leistungen zur Förderung der Artenvielfalt gezielt in ihre Anbauplanung zu integrieren und automatisiert zu dokumentieren. Durch eine automatisierte Erfassung von Kulturbewirtschaftungsparametern im FMIS, kann der zusätzliche Aufwand für die Bewertung minimiert werden, was die Akzeptanz erhöhen und Anwendung des Systems erleichtern soll.

Literatur

- Dicks, L. V., Ashpole, J. E., Dänhardt, J., James, K., Jönsson, A., Randell, N., Showler, D. A., Smith, R. K., Turpie, S., Williams, D., & Sutherland, W. J. (2014). *Farmland Conservation: Evidence for the effects of interventions in northern and western Europe*. Pelagic Publishing.
- IPBES (2020). Workshop report on biodiversity and pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Li, X. (2020). *Prospects for Forest and Biodiversity Protection*. Green Civilization. Singapore: Springer, 171-188.
- Nijkamp, P., Vindigni, G., & Nunes, P. A. L. D. (2008). Economic valuation of biodiversity: A comparative study. *Ecological economics*, 67(2), 217-231.
- Rounsevell, M. D., Harfoot, M., Harrison, P. A., Newbold, T., Gregory, R. D., & Mace, G. M. (2020). A biodiversity target based on species extinctions. *Science*, 368(6496), 1193-1195.
- Schmeller, D. S., & Bridgewater, P. (2016). The Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES): progress and next steps. *Biodiversity and Conservation*, 25(5), 801-805.
- Tscharntke, T., Tylianakis, J. M., Rand, T. A., Didham, R. K., Fahrig, L., Batáry, P., Bengtsson, J., Clough, Y., Crist, T. O., Dormann, C. F., Ewers, R. M., Fründ, J., Holt, R. D., Holzschuh, A., Klein, A.-M., Kleijn, D., Kremen, C., Landis, D. A., Laurance, W., Lindenmayer, D., Scherber, C., Sodhi, N., Steffan-Dewenter, I., Thies, C., van der Putten, W. H., & Westphal, C. (2014). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biological reviews*, 87(3), 661-685.
- Weber, R., Kuhlmann, M., Lask, J., Braun, J., Frank, M. (2023). Assessing biodiversity potential of arable farms – a conceptual approach (unveröffentlicht). *Cogent food and Agriculture*.
- Wood, S. A., Karp, D. S., DeClerck, F., Kremen, C., Naeem, S., & Palm, C. A. (2015). Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. *Trends in ecology & evolution*, 30(9), 531-539.

Ackerbaulandschaften von 1992/93 zu 2019/20 – landwirtschaftliche Nutzungen, Kleinstrukturen und Arten – Analyse der Veränderungen und Empfehlungen für die Biodiversität

Jörg Hoffmann und Tim Wahrenberg

Julius Kühn-Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung; Kleinmachnow. E-Mail: joerg.hoffmann@julius-kuehn.de

Einleitung

Vor dreißig Jahren wurden landwirtschaftliche Nutzungen und Kleinstrukturen sowie Artengruppen (Pflanzen, Insekten, Wirbeltiere) in ackerbaudominierten Agrarlandschaften im östlichen Brandenburg erhoben und Funktionen der Gebiete für die Biodiversität bestimmt. Die Untersuchungen wurden aktuell in identischen Gebieten mit gleichen Methoden nach 30 Jahren wiederholt. Ziele bestanden u.a. darin, auf der Agrarlandschaftsebene die Veränderungen der Bewirtschaftungen und der Biotopstrukturen mit Bezug auf die Anbaumethoden sowie die Arten zu prüfen. Daraus waren Empfehlungen für einen verbesserten Schutz der Biodiversität abzuleiten (HOFFMANN 2023).

Material und Methoden

In zwei Zeitfenstern, 1992/93 sowie 2019/20, wurden die Biotope in der Landschaft (Referenzraum 24 km², sechs ackerbaudominierte Gebiete mit je 4 km²) durch terrestrische Biotoptypenkartierungen erfasst, digitalisiert und analysiert (HOFFMANN & WAHRENBURG 2021). Es wurde GIS-basiert die Agrarlandschaft (Lage, Größe) ermittelt und innerhalb dieser die Anbaumethoden (konventionell-pestizidbasiert, ökologisch, kleinbäuerlich), die Nutzflächen (Acker, Grünland) und Parameter dieser, u.a. die Anbaukulturen, die Grenzlinienlänge und -dichte, die Pestizidanwendungen sowie die Kleinstrukturen und deren interne Bestandteile, u.a. die Flurgehölze, Kleingewässer und Säume, ermittelt. Parallel erfolgte die Erfassung und Analyse der Pflanzen (Gefäßpflanzenarten) in der Agrarlandschaft sowie in Teilen dieser (Arten der Kleinstrukturen, Äcker, Brachen, Gehölzarten). Zudem wurde die Segetalflora plotbasiert durch Vegetationsaufnahmen im Frühjahr und Sommer (Arten, Deckungsgrad, blühende Arten und Blühintensität) untersucht (HOFFMANN & WAHRENBURG 2021a). Die Insekten wurden am Beispiel der Tagfalter (Arten, Abundanzen, ökologische Merkmale) auf Transekten (jeweils 2,5 km Länge) sowie die Wirbeltiere am Beispiel der Brutvögel (Arten, Abundanzen, ökologische Merkmale) durch Revierkartierungen (jeweils 1 km² Probeflächen) erfasst. Erhalten Daten wurden mit Hilfe statistischer Methoden in Bezug auf die Zeitfenster (Veränderungen in der Agrarlandschaft), in den einzelnen Gebieten sowie hinsichtlich der Anbaumethoden und von ökologischen Merkmalen der Arten analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Agrarlandschaft wies eine marginale Verkleinerung zu Gunsten der Wald- und der Siedlungslandschaft auf. Die Fläche der Kleinstrukturen veränderte sich quasi nicht, jedoch zeigten ausgeräumte Gebiete eine Zunahme und sehr gut strukturierte Gebiete eine Abnahme. Die interne Biotopzusammensetzung der Kleinstrukturen veränderte sich deutlich. Flurgehölze nahmen zu, grasig-krautige Biotope ab. Die Flächengröße der Äcker veränderte sich nicht signifikant; zwischen den

Anbaumethoden bestanden jedoch erhebliche Unterschiede. Die Diversität der Anbaukulturen nahm ab, die Grenzlinienlänge und -dichte der Äcker zu. Im Agrarlandschaftsniveau erhöhten sich die Pestizidanwendungen, jedoch mit lokal konträren Entwicklungen: Zunahme von Landschaftsanteilen langjährig ohne Pestizidapplikationen, starke Zunahme von Ackerflächenanteilen mit erhöhten Anwendungen.

Die Agrarlandschaft erwies sich als relativ artenreich, auch mit Funktionen für gefährdete Tier- und Pflanzenarten. Die floristische Artenvielfalt nahm im Zeitverlauf zu, besonders der Artenanteil der nichteinheimischen Pflanzen sowie der der Gehölze. Größte Artenvielfalt trat in den Kleinstrukturen, auf selbstbegrüntem Ackerbrachen, bei langjährig ökologischer sowie sehr extensiver kleinbäuerlicher Bewirtschaftung auf. Die Artenvielfalt und das Blütenangebot der Segetalflora nahm bei konventionell-pestizidbasierter Anbaumethode sehr stark ab, bei langjährig ökologischer Bewirtschaftung dagegen zu. Im Niveau der Agrarlandschaft nahm die Artenvielfalt der Tagfalter zu, deren Abundanz jedoch leicht ab. Zunahme der Pestizidanwendungen führte zu signifikanter Abnahme der Tagfalterdiversität. Unter den Brutvögeln verringerten sich Artenvielfalt und Abundanz leicht. In allen Artengruppen zeigten sich deutliche artspezifische Veränderungen. Dabei hatten die Anbaumethoden sowie spezifische Maßnahmen klare Effekte auf die Artenvielfalt und deren Veränderungen. Es wurden für die Agrarlandschaftsgestaltung unter Berücksichtigung von zeitlichen, räumlichen und funktionalen Kriterien Richtwerte für den Anteil der Kleinstrukturen sowie für interne Maßnahmen auf den landwirtschaftlichen Flächen (Abb.) abgeleitet. Insbesondere wäre die Pestizidlast in der Landschaft zu mindern, Kleinstrukturen aufzuwerten sowie ökologische Funktionen der Nutzflächen nachhaltig zu verbessern.

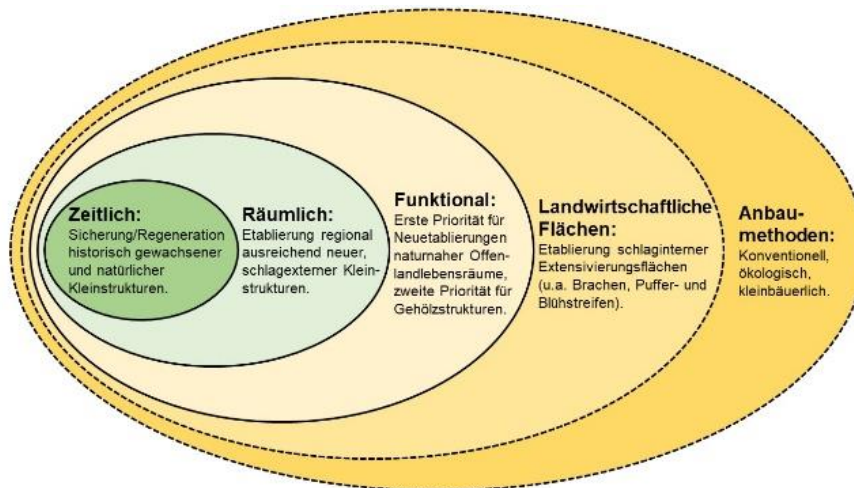


Abb.: Modell für nachhaltigere Agrarlandschaften für Kleinstrukturen mit zeitlichen, räumlichen und funktionalen sowie landwirtschaftlichen (landwirtschaftliche Flächen, Anbaumethoden) Aspekten (HOFFMANN 2023).

Literatur

- HOFFMANN, J., WAHRENBERG, T. 2021: Biotop- und Landnutzungsänderungen in ackerbaudominierten Agrarlandschaften von 1992/93 zu 2019/20 im östlichen Brandenburg. *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg* 30 (2/3): 36-61.
- HOFFMANN, J., WAHRENBERG, T. 2021a: Effects of cultivation practice on floristic and flowering diversity of spontaneously growing plant species on arable fields. *Ecology and Evolution* 00: 1-13. <https://doi.org/10.1002/ece3.8223>
- HOFFMANN, J. (Hrsg.) 2023: Strukturelemente und Nutzungen räumlich identischer Ackerbaugebiete 1991-1993 und 2018-2021: Auswirkungen auf die Biodiversität. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut*: 970 S.

Ertragskartierung aus Satellitenbildern

Carl-Philipp Federolf, Stefan Reusch, Andreas Truszkowski-Graw und Jörg Jasper

Yara International ASA, Research Centre Hanninghof, Dülmen. E-Mail: carl-philipp.federolf@yara.com

Einleitung

Kornerträge und deren Variabilität innerhalb einer Bewirtschaftungseinheit (Betrieb, Schlag, Teilfläche) haben einen erheblichen Einfluss auf pflanzenbauliche Managemententscheidungen (Godwin et al., 2003). Obgleich Systeme zur Ertragskartierung bei Mähreschern seit über 30 Jahren verfügbar sind, fehlen auf den meisten landwirtschaftlichen Betrieben nach wie vor einheitliche, akkurate und verwertbare Ertragskarten.

Mechanistischen Wachstumsmodellen, die grundsätzlich dazu geeignet wären, standortbezogene Ertragsunterschiede zu modellieren, fehlt häufig eine ausreichend hoch aufgelöste Datengrundlage. Zudem wird das (Teil-) schlagspezifische Management in der Regel nicht abgebildet. Zunehmend werden fernerkundliche Daten, wie Vegetationsindizes oder daraus geschätzte Wachstumsparameter, etwa der Blattflächenindex, zu einzelnen oder verschiedenen Stadien herangezogen, um modellierte Parameter mit gemessenen Werten zu rekalisieren (Gasó et al., 2023; Novelli et al., 2019).

Hier vorgestellt wird eine Kombination aus einem einfachen mechanistischen Wachstumsmodell und fernerkundlich erhobenen Daten zur rückblickenden Schätzung der Erträge von Getreidekulturen.

Material und Methoden

In verschiedenen Regionen weltweit wurden von Praxisbetrieben Schlaggrenzen, die angebauten Kulturen und die Durchschnittserträge der jeweiligen Schläge für verschiedene Getreidekulturen

zusammengetragen (Tabelle 1). Die Spanne der gemessenen Erträge lag zwischen 1.73 t ha^{-1} und 12.5 t ha^{-1} , bei einem mittleren Ertrag von 6.34 t ha^{-1} .

Über die Wachstumsperiode wird anhand von Satellitenbildern für jedes Pixel und jeden Tag der Anteil der absorbierten

photosynthetisch aktiven Globalstrahlung (f_{APAR}) geschätzt (vgl. Viña & Gitelson, 2005). Aus der Sonneneinstrahlung (PAR), dem Dampfdruckdefizit (VPD) und der Temperatur (T) wird die tägliche Bruttoprimärproduktion (ΔGPP) modelliert (Gleichung 1), um im Anschluss aufsummiert und in Kornertrag (Y) umgerechnet zu werden (Gleichung 2).

$$\text{Gleichung 1: } \Delta GPP = RUE * f_{APAR} * PAR * f_T * f_{VPD}$$

$$\text{Gleichung 2: } Y = a + b (\sum \Delta GPP)^c$$

Tab. 1: Anzahl Referenzflächen je Kulturart und Region (AU = Australien, CA = Kanada, DE = Deutschland, SE = Schweden, US = USA)

Kultur	AU	CA	DE	SE	US	Summe
Hafer				11		11
Sommergerste			2	31	6	39
Triticale			4			4
Wintergerste			21			21
Winterroggen			6			6
Winterweizen	33		47	75	7	162
Sommerweizen		8		4	9	21
Summe	33	8	80	121	22	264

Darauffolgend wurden für alle Schläge pro Kultur die Regressionskoeffizienten (a , b , c) anhand der Referenzflächen ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Das vorgestellte Modell ist dazu in der Lage, die Erträge von Getreidekulturen in verschiedenen Regionen weltweit zu schätzen, ohne auf größere Dateninputs zurückzugreifen. Im Testdatensatz wurde über alle Kulturen und Regionen für die Schätzung im Vergleich zu den gemessenen Erträgen ein mittlerer Fehler von 1.04 t ha^{-1} ermittelt.

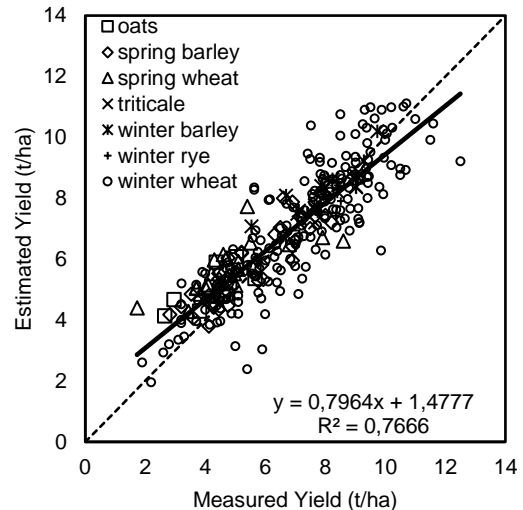
Deutliche Abweichungen der Schätzung von der Messung sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Witterungsverläufe in einzelnen Jahren einen erheblichen Einfluss auf die Allokation von Kohlenhydraten in die Ertragskomponenten haben. Zudem können Ernteverluste nicht abgebildet werden.

Ein wesentlicher Vorteil des vorgestellten Konzeptes ist die Erstellung von Ertragskarten, ohne auf Ertragskartierungssysteme angewiesen zu sein. Zusammen mit dem sehr einfachen Dateninput für den Nutzer (Schlaggrenze, Jahr, Kultur), können so vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für pflanzenbauliche Managemententscheidungen in der Teilfläche optimiert werden.

Dieses Konzept ist global anwendbar und wurde bislang an Winter- und Sommergetreide in relevanten Anbaugebieten weltweit kalibriert und validiert.

Literatur

- Gasó, D. V., de Wit, A., de Bruin, S., Puntel, L. A., Berger, A. G., & Kooistra, L. (2023). Efficiency of assimilating leaf area index into a soybean model to assess within-field yield variability. *European Journal of Agronomy*, 143, 126718. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126718>
- Godwin, R., Wood, G. A., Taylor, J. C., Knight, S. M., & Welsh, J. P. (2003). Precision Farming of Cereal Crops: a Review of a Six Year Experiment to develop Management Guidelines. *Biosystems Engineering*, 84, 375–391. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00031-X](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00031-X)
- Novelli, F., Spiegel, H., Sandén, T., & Vuolo, F. (2019). Assimilation of Sentinel-2 Leaf Area Index Data into a Physically-Based Crop Growth Model for Yield Estimation. *Agronomy*, 9(5), 255. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050255>
- Viña, A., & Gitelson, A. A. (2005). New developments in the remote estimation of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation in crops. *Geophysical Research Letters*, 32(17).



Grafik 1: Korrelation zwischen gemessenen und geschätzten Erträgen aller Schläge ($n = 264$) der Untersuchung.

Sensorgestützte Analyse des räumlichen variablen Stickstoffdüngedarfs – Untersuchungen in einem Trinkwasserschutzgebiet

Ludwig Hagn, Franz-Xaver Maidl und Kurt-Jürgen Hülsbergen

Technische Universität München, Liesel-Beckmann-Straße 2, 85354 Freising.
E-Mail: ludwig.hagn@tum.de

Einleitung

Um die N-Effizienz in Trinkwassereinzugsgebieten und an Standorten mit hohem Ertrags- und Düngungsniveau zu erhöhen, ist eine Feinsteuerung des N-Bedarfs unter Berücksichtigung des Ertragspotenzials und der aktuellen Pflanzenentwicklung mittels teilflächenspezifischer Düngesysteme unerlässlich. Heterogene Bodeneigenschaften (Textur, nutzbare Feldkapazität, etc.) führen zu differenziertem N-Entzug und N-Bedarf der Kulturpflanzen auf Teilschlagebene (Godwin et al. 2003). Bei schlageinheitlicher N-Düngung kann es zur Überdüngung in Niederertragszonen kommen, in Hohertragszonen treten teils negative N-Salden auf (Mittermayer et al. 2022).

Im Trinkwassereinzugsgebiet der Modellregion Burghausen/Burgkirchen in Bayern wurden seit 2021 die Wirkungen der sensorgestützten teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung bei Winterweizen und Wintergerste auf die räumliche Variabilität der Erträge, der N-Entzüge und der N-Salden untersucht und mit der praxisüblichen schlageinheitlichen Düngung verglichen. Es wurde von der Hypothese ausgegangen, dass durch die Anwendung der teilflächenspezifischen Düngung, bei gleichbleibendem Ertragsniveau die Variabilität und die Höhe der N-Salden stark abnimmt und die N-Effizienz steigt.

Material und Methoden

Die Streifenversuche wurden auf heterogenen Flächen (Minimum 5 Hektar) von Landwirten aus der Region angelegt. Die teilflächenspezifischen Ertragszonen der Flächen wurden nach dem rel. BMP Verfahren erfasst (Hagn et al. 2023). Innerhalb der Ertragszonen (Niederertrag, Mittlerertrag und Hohertrag) wurden Ertragspotenziale nach den Erfahrungen der Landwirte zugewiesen. Digitale Düngeparzellen (15m x 40m) wurden zwischen und entlang der Fahrgassen (15m) angelegt. Die Parzellenstreifen wurden im Wechsel der Fahrgassen einheitlich und teilflächenspezifisch gedüngt. Zu den Düngeterminen EC 32 und EC 39 wurden Reflexionsmessungen mit einem Traktormontierten System (TUM-2014-220) durchgeführt. Die Düngemenge wurde anhand von Reflexionsmessungen und Algorithmen (N-Aufnahme und N-Düngealgorithmus) unter Berücksichtigung des Ertragspotenziales nach dem Online mit Map-overlay Verfahren bestimmt (Maidl 2011). Die Applikation erfolgte mit einem Rauch Axis-H 30.2 EMC (+W) Düngerstreuer. Zum Erntetermin wurden die digitalen Parzellen per GPS ausgesteckt und mit einem Parzellenmähdrescher (Wintersteiger) ausgedroschen. Je Parzelle wurden Kornproben genommen, welche im Labor auf Kornfeuchte, N-Gehalt und TKG analysiert wurden.

Ergebnisse und Diskussion

Das Jahr 2021 war in der Region durch starke Niederschlags -und teilweise Hagel-Ereignisse geprägt. Es konnte nur ein Teil der Flächen ausgewertet werden. Des Weiteren wurden die angenommenen Ertragspotenziale durch die ergiebigen Niederschläge übertroffen, weshalb die Auswirkungen des teilflächenspezifischen Düngesystems nur bedingt zu tragen kamen. Nichtsdestotrotz wurde eine Reduktion der Schwankungen der N-Salden bei der teilflächenspezifischen Düngung beobachtet und N-Dünger wurde um 12 kg N ha eingespart. Die N-Salden waren im negativen Bereich.

Trotz der Trockenperiode in den Monaten Mai bis Juli kam es in den Versuchen des Jahres 2022 nur bedingt zu Trockenstress. Die Ergebnisse des Jahres 2022 waren deutlich stärker ausgeprägt, als im Jahr 2021 (Tab. 2). Durch den Einsatz des sensorgestützten Düngesystems wurden teilflächenspezifisch niedrigere N-Salden mit geringen Schwankungen bei gleichbleibendem Ertrag und Kornqualität erzielt. Bei teilflächenspezifischer Düngung betrug die mittlere Stickstoffeinsparung im Jahr 2022 38 kg. Die mittlere N-Effizienz betrug 96%, während die N-Effizienz der schlageinheitlichen Düngung bei 86% lag.

Tab. 2: Ertragsparameter im Mittel der Ertragszonen, Winterweizen, Beispielschlag 2022

Ertragszone	Zielertrag 86% TS (dt ha-1)	Kornertrag 86% TS (dt ha-1)	Korn-N-Entzug (kg ha-1)	N-Düngung (kg ha-1)	N-Saldo (kg ha-1)	N-Effizienz (%)
Schlageinheitliche Düngung						
Hochertrag		87,7	171	206	35	83%
Mittelertrag		91,4	188	206	18	91%
Niederertrag		91,1	178	206	28	86%
Mittel	85	89,7	177	206	29	86%
Teilflächenspezifische Düngung						
Hochertrag	100	88,2	175	177	2	99%
Mittelertrag	80	87,4	141	160	-3	88%
Niederertrag	70	88,2	169	166	-3	102%
Mittel		87,9	162	168	-1	96%

Literatur

- Godwin, R. J., Wood, G. A., Taylor, J. C., Knight, S. M., Welsh, J. P. (2003). Precision Farming of Cereal Crops: a Review of a Six Year Experiment to develop Management Guidelines. *Biosystems Engineering* 84 (4), 375–391. DOI: 10.1016/S1537-5110(03)00031-X.
- Hagn, L., Schuster, J., Mittermayer, M., Hülsbergen, K.-J. (2023). Satellitengestützte Analyse der räumlichen Variabilität für die Ableitung von Ertragszonen und deren Ursachen. In: Referate der 43. GIL-Jahrestagung 13.-14. Februar 2023 Osnabrück.
- Maidl, F.-X. (2011). Verfahren zur Bestimmung des Düngerbedarfs, insbesondere des Stickstoff-Düngerbedarfs und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Patentschrift TU1505 & TU1507/85.
- Mittermayer, M., Maidl, F.-X., Nätscher, L., Hülsbergen, K.-J. (2022). Analysis of site-specific N balances in heterogeneous croplands using digital methods. *European Journal of Agronomy* 133 (5–6), 126442. DOI: 10.1016/j.eja.2021.12644

Erfahrungen beim Einsatz des Stenon FarmLab zur Erfassung der pflanzenverfügbaren P-, K- und Mg-Gehalte sowie der pH-Werte von Böden auf Praxisflächen und in Dauerversuchen

Hans-Werner Olf

Fachgebiet Pflanzenernährung und Pflanzenbau, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Hochschule Osnabrück, Osnabrück. E-Mail: h-w.olf@hs-osnabrueck.de

Einleitung

Für die Ableitung von Düngungsmaßnahmen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sollten regelmäßig Bodenproben entnommen und auf wichtige Bodenkenndaten in entsprechend ausgewiesenen Laboren analysiert werden. Seit kurzem werden dazu auch Geräte zur sogenannten „In-Situ“-Bodenanalyse eingesetzt. Die Firma Stenon bietet für diesen Anwendungszweck das FarmLab an, welches u.a. mit Sensoren zur Erfassung von Impedanz- sowie Absorptionsspektren (NIR bis UV Spektralbereich) von Böden ausgerüstet ist, die GPS-Position, einige Witterungsdaten sowie Bodentemperatur und -feuchte erfasst (Stenon 2021). Alle Messdaten werden in einer Cloud gespeichert, mittels entsprechender Algorithmen ausgewertet und abschließend über eine Web-Applikation in den für Bodenuntersuchungsdaten bekannten Einheiten zur Verfügung gestellt. Mit dieser laut Stenon (2021) „laborunabhängigen Bodenanalyse in Echtzeit“ soll sich die Entnahme und das Einsenden von Bodenproben erübrigen.

Material und Methoden

Das FarmLab wurde im Rahmen einer Erhebungsuntersuchung im westlichen Niedersachsen auf 71 Praxisschlägen sowie auf 3 P-/K-Dauerdüngungsversuchen eingesetzt. Dazu wurden jeweils entsprechend der Vorgaben der Firma Stenon Messungen mit dem FarmLab durchgeführt. Basierend auf den von Stenon entwickelten Algorithmen wurden die Messergebnisse in die üblichen Angaben für die laborgestützte Bodenuntersuchung umgerechnet und konnten in der Stenon-Cloud abgerufen werden.

Parallel wurden an jedem der Messpunkte Bodenproben aus der Krume für die Laboruntersuchung entnommen. Nach Lufttrocknung und Siebung auf 2 mm wurden alle Bodenproben im Labor der Hochschule Osnabrück entsprechend der VDLUFA-Methodenvorschriften auf CAL-P und -K, CaCl₂-Mg und den pH-Wert untersucht. Durch Wiederholungsmessungen und Nutzung von Vergleichsproben aus Ringuntersuchungen wurde sichergestellt, dass die Labormesswerte zutreffen sind. Zur Beurteilung der Vergleichbarkeit zwischen Labor- und FarmLab-Ergebnissen wurden Korrelationsanalysen durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

In der Praxiserhebung konnten aufgrund von fehlenden Einzelwerten bei der FarmLab Messung insgesamt nur 64 Standorte ausgewertet werden. Die im Labor ermittelten P-, K-, und Mg-Gehalte sowie die pH-Werte der untersuchten Praxisflächen decken einen weiten Bereich ab, der als typisch für die Region westliches Niedersachsen angesehen werden kann (Tab. 1). Auf den in der Regel eher leichteren Böden ergaben sich in der Laboruntersuchung pH-Werte bis herunter auf pH 4,3. Demgegenüber lag der niedrigste angezeigte pH-Wert des FarmLab bei 5,5. Auch bei den anderen Kennzahlen zeigte sich, dass in den

Laboruntersuchungen (teilweise deutlich) niedrigere Bodengehalte festgestellt wurden. Die Übereinstimmungen zwischen den FarmLab- und Labordatensätzen sind für die 4 untersuchten Parameter alle als nicht befriedigend zu bezeichnen (R^2 -Werte: P=0,28, K=0,06, Mg=0,02 bzw. pH=0,04).

Tab. 1: Spannweiten für die untersuchten Bodenparameter auf 64 (von 71) Praxis-schlägen im Rahmen einer Erhebungsuntersuchung im westlichen Niedersachsen

	HS Labor	FarmLab
pH-Werte	4,3 - 6,6	5,5 - 6,8
P-CAL (mg/100g)	1,4 - 18,1	3,9 - 22,4
K-CAL (mg/100 g)	3,6 - 23,9	6,1 - 15,9
Mg (mg/100 g)	2,2 - 20,2	4,4 - 18,4

Auf den Dauerversuchsflächen konnten weder für CAL-P noch für CAL-K belastbare Beziehungen zwischen den FarmLab- und den korrespondierenden Labordaten ermittelt werden. Die Bestimmtheitsmaße waren sowohl für den Einzelversuch als auch für den Gesamtdatenpool der jeweils 3 Versuche sehr niedrig (alle R^2 -Werte < 0,2). Während die Abstufung der langjährig unterschiedlichen P- bzw. K-Zufuhr anhand der Labordaten in fast allen Fällen gut abgebildet wurde, zeigten die FarmLab-Daten in der Regel nahezu keine Differenzierung für die 4 Düngungsvarianten an dem jeweiligen Standort an.

In einem DLG-Prüfbericht zum FarmLab wurden nur für Nitrat, N_{\min} und Bodenfeuchte (dies entspricht 3 der 12 von Stenon angegebenen messbaren Bodeneigenschaften) die Voraussetzungen für den Vor-Ort-Einsatz zur Bestimmung von Bodenproben als erfüllt angegeben (DLG 2021). Die Ergebnisse für den FarmLab-Einsatz auf Praxisflächen und in Dauerversuchen stimmen sehr gut überein mit entsprechenden Auswertungen verschiedener Institutionen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz (Tab. 2). Offensichtlich sind noch weitere Evaluierungen notwendig, bevor konkretere Aussagen zur Praxiseignung des Stenon FarmLab gemacht werden können.

Tab. 2: Bestimmtheitsmaße von Prüfungen des Stenon FarmLab unter praxisnahen Bedingungen für verschiedene Messgrößen durch unabhängige, wissenschaftlich arbeitende Institutionen in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Klassifizierung der Bestimmtheitsmaße: dunkelgrau (0,00-0,20), mittelgrau (0,21-0,40), hellgrau (0,41-0,80), weiß (0,81-1,00). (Lorenz et al. 2023, verändert).

Bestimmtheitsmaß R^2	AGES Wien	Agro-scope	LTZ Karls-ruhe	LUFA Nord-West	TU München
pH (CaCl_2)	0,03	0,30	0,47	0,52	0,07
Phosphor (CAL)	0,00	-	0,00	0,11	0,01
Kalium (CAL)	0,38	-	0,03	0,22	0,00
Magnesium (CaCl_2)	0,31	-	0,02	0,55	-
Humus	0,54	0,78	0,01	0,69	0,06
N_{gesamt}	0,21	0,84	0,03	-	0,10
N_{\min}	0,34	0,03	0,06	-	-

Literatur

DLG (2021): Stenon FarmLab – mit Softwareversion d-1.3.0 und Kalibriermodell p-2.1.0. DLG-Prüfbericht 7197, DLG TestService GmbH, Groß-Umstadt, 1-12.

Lorenz, F., Liebisch, F., Lohr, D., Olf, H.-W. (2023): Vor-Ort-Methoden zur Bodenuntersuchung. VDLUFA-Schriftenreihe 79, 1-37 (im Druck).

Olf, H.-W., Lorenz, F., Bauer, C., Spiegel, H., Handl, L., Gansberger, M., Mittermayer, M., Liebisch, F. (2023): Genau genommen. Bauernzeitung 12/2023, 24-26.

Stenon (2021): Stenon's Laboratory Independent Real-Time Soil Analysis System. Stenon GmbH, Potsdam, Deutschland, 1-60.

Standortkarten für den ortsspezifischen Pflanzenbau durch Fusion von fehlerbehafteten, unvollständigen oder mehrdeutigen Geodaten

Eike Stefan Dobers

Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg, dobers@hs-nb.de

Einleitung

Die Standort-spezifische Pflanzenproduktion auf heterogenen Acker- und Grünlandflächen sowie die Ressourcen-effiziente Erhebung von Informationen zum Standort oder Pflanzenbestand erfordern Kartengrundlagen, welche das Wissen aber auch diesbezügliche Unsicherheiten räumlich möglichst exakt repräsentieren. Für die Erstellung dieser Karten in Praxisbetrieben liegt oft nur eine räumlich unvollständige, fehlerhafte und/oder mehrdeutige Datengrundlage vor. Daten der Ertragsmessung auf Erntemaschinen können flächenhaft unvollständig (Flächenteilung, Datenverlust, mehrere Erntemaschinen mit unterschiedlicher Ausstattung, etc.) oder die gemessenen Werte fehlerhaft sein (Teilbreitenschaltung, Sensorverschmutzung, Transportzeiten der Ernteware in der Maschine, etc.). Satelliten- und Luftbilddaten können partielle Wolkenbedeckung oder Schattenwurf, bei Schrägluftbildern in reliefiertem Gelände geometrische Verzerrungen aufweisen. Auch können (wolkenfreie) Aufnahmen von nicht besonders günstigen, d.h. die Standorteigenschaften oder Bestandssituationen nur unzureichend wiedergebenden Terminen vorliegen. Die Bodenschätzung wird z.T. als veraltet kritisiert und ist methodisch bedingt nicht korrekt in der räumlichen Repräsentation der Grenzverläufe. Weitere Datenquellen weisen jeweils ihre spezifischen Probleme auf.

Die direkte Verrechnung solcher Ausgangsdaten birgt die Gefahr, in den abgeleiteten Karten keinen Hinweis über die Verlässlichkeit der errechneten Werte über Konflikte in den Ausgangsdaten zu finden. Dies senkt die Akzeptanz von LandwirtInnen für solche Karten bzw. die zugrundeliegenden Methoden. Auf "perfekte" Daten zu hoffen ist allerdings auch keine Option für die Landwirtschaft.

Das *Transferable Belief Model* (TBM) (Smets, Kennes, 1994) ermöglicht die explizite Berücksichtigung von Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten in den Ausgangsdaten und weist im Fusionsprodukt sowohl die neuen Karteninformationen aus und quantifiziert räumlich explizit die Überzeugungen für diese Information. Zusätzlich werden die im Fusionsprozess aufgetretenen Konflikte der Datenquellen quantifiziert.

Material und Methoden

Das TBM ist eine Interpretation des *Dempster-Shafer*-Algorithmus und erfordert im ersten Schritt die Festlegung eines Hypothesenraums (*frame of discernment, fod*), in welchem die Zielkategorien für die Interpretation der Eingangsdaten (*sources of evidence, soe*) und das Produkt der Datenfusion benannt werden. Für diesen Beitrag wird als Ziel eine Karte der Ertragserwartung mit drei Klassen angenommen: *gering, mittel* und *hoch* ($fod = \{g, m, h\}$). Die Ausgangsdaten (z.B. Bodenschätzungsinformation und Ertragskarte aus dem Vorjahr) werden jeweils hinsichtlich des *fod* interpretiert und es werden Überzeugungen (*masses of belief, mob*) quantifiziert, mit der die Daten die jeweilige Hypothese oder auch mehrere Hypothesen gleichzeitig widerspiegeln (Tab. 1). Mittels *Kriging* interpolierte Ertragsdaten können auf diese Weise in Hypothesen der Ertragserwartung übersetzt werden. Ebenso lassen sich Bodenzahlen der Bodenschätzung umkodieren oder die

Farbtöne eines Luftbildes z.B. mittels überwachter Klassifikation oder einer Unterteilung des Wertebereichs eines Vegetationsindex in Hypothesen mit entsprechenden *mob* überführen. Jede Datenquelle wird im Anschluss hinsichtlich der inhaltlichen Eignung oder *reliability* (*rel*) für das jeweilige Interpretationsziel bewertet. Auf diese Weise könnte das Alter der Bodenschätzung, besonders günstige Bedingungen bei der Ertragsmessung (z.B. günstige Vorfrucht oder ausgeprägte Vorsommertrockenheit) oder ein etwas ungünstiger Termin eines Satellitenbildes nach Einschätzung eines lokalen Experten explizit Berücksichtigung finden.

In der Tab. 1 sind beispielhaft für einen Ort (i.e. Pixel) eines Feldes die Interpretations-ergebnisse für Bodenschätzung und Ertragskarte angegeben, um den zweiten Schritt, die Kombination der *mob*, zu illustrieren. Die Bodenkarte weist eine mittlere bis hohe Ertragserwartung aus, während die Ertragskarte des Vorjahres eine geringe Ertragserwartung nahelegt. Durch die Multiplikation der *mob*-Werte mit der *reliability* entsteht ein *mob* für das Set des gesamten *fo*. Dies kann als explizite Repräsentation des Nichtwissens mit Blick auf diese Datenquelle interpretiert werden. Durch Multiplikation der *mob* der beiden *soe* erfolgt ein *mob*-Update für die Schnittmenge der jeweiligen Hypothesen. Die leere Menge bedeutet, dass die fusionierten Datenquellen widersprüchliche und nicht vereinbare Hypothesen enthielten. Die leere Menge wird beseitigt, indem die *mob*-Werte über die Konstante $K^{-1} = 1 - \text{mob}\{\emptyset\}$ normalisiert werden. Die Summe der *mob*-Werte ist dann wieder 1 (Tab. 1, rechts, *closed world assumption*). Der *weight of conflict* wird explizit über $woc = -\log(K^{-1})$ quantifiziert und kann bei der weiteren Verwendung der Ergebnisse z.B. durch Vermeidung oder gezieltes Aufsuchen von Arealen mit hohen *woc* Berücksichtigung finden.

Tab. 1: Repräsentation von Wissen über die Ertragserwartung an einem Pixel sowie *belief*-update mit dem Transferable Belief Model auf Basis von Bodenschätzung und Ertragskarte (Hypothesen: gering (g), mittel (m), hoch (h); *rel*: *reliability*, *mob*: *mass of belief*, *soe*: *source of evidence*) mit Ergebnis der normalisierten *mob* und dem resultierenden *weight of conflict*

		soe ₁ Bodenschätzung		<i>mob</i> -Update
		<i>mob</i> { m, h } = 1.00	rel = 0.70	(normalisiert)
	<i>mob</i>	0.70 { m, h }	0.30 { g, m, h }	0.73 { g }
soe ₂ Ertragskarte	<i>mob</i> { g } = 1.00	0.90 { g }	0.63 { ∅ }	0.27 { g }
	rel = 0.90	0.10 { g, m, h }	0.07 { m, h }	0.03 { g, m, h }
Normalisierung: $K^{-1} = 1 - 0.63 = 0.37$		<i>weight of conflict</i> : $woc = -\log(0.37) = 0.432$		

Ergebnisse und Diskussion

Die Dateninterpretation und -fusion führte in dem Beispiel zu der neuen Überzeugung, dass an dem Ort des Feldes mit einer geringen Ertragserwartung zu rechnen ist. Dies ergibt sich automatisch aus der höheren *reliability* der als sehr verlässlich eingestuften Ertragskarte. Im *woc* wird die Information repräsentiert, dass es große Konflikte zwischen den Datenquellen gab und evtl. weitere Daten erhoben werden sollten.

Mit Hilfe des TBM ist es möglich, auch mehrdeutige Interpretationen explizit zuzulassen, Nichtwissen (*fo*) zu repräsentieren und die quantifizierte Eignung der jeweiligen Datenquelle für den spezifischen Zweck zu integrieren. Zudem können unzuverlässige Eingangsdaten oder räumliche Unschärfen über eine Verringerung des *mob* berücksichtigt und Fusions-Konflikte über den *woc* explizit gemacht werden.

Literatur

Smets, P., Kennes, R. (1994). The transferable belief model. *Artificial Intelligence* 66: 191-234

Validierung des Sickerwassermodells BOWAM an Lysimeterversuchen und Integration in ein praxisnahes, webbasiertes Nährstoffmanagementsystem

Joseph Donauer, Michael Lipp, Harald Schmid und Kurt-Jürgen Hülsbergen

Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising. E-Mail: joseph.donauer@tum.de

Einleitung

Im Rahmen der Entwicklung des webbasierten Nährstoffmanagementsystems Web-Man, das auch für den Einsatz in Praxis und Beratung konzipiert ist, werden verschiedene Module zur Ermittlung des Düngebedarfs, der Nährstoffbilanzierung, der Abbildung von Nährstoffkreisläufen sowie ein Modul zur Abschätzung des Stickstoffumsatzes und der Nitratauswaschung erarbeitet und in einer Softwareapplikation zusammengeführt. Letztgenanntes Modul setzt sich aus mehreren Teilmodellen, u.a. zur Mineralisation, Stickstoffaufnahme sowie Sickerwasserbildung zusammen. Für die Sickerwasserkomponente soll auf ein bestehendes Modell zurückgegriffen werden. Hierzu wurde das Modell BOWAM (Dunger, 1985) an verschiedenen landwirtschaftlichen Lysimeterversuchen validiert.

Material und Methoden

Für die Validierung des Sickerwassermodells wurde ein unabhängiger Datensatz der Lysimeterstation Dürnast des Lehrstuhls für Pflanzenernährung der TU München (Schmidhalter, 2021) verwendet.

Die Modellberechnung wurde unter Angabe der erforderlichen Wetter-, Standort- und Bewirtschaftungsdaten durchgeführt. Die dabei ermittelte Sickerwassermenge wurde jeweils den entsprechenden Messwerten der Lysimeterstationen gegenübergestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt die gemessene sowie berechnete Sickerwassermenge am Standort Dürnast. BOWAM überschätzt über den Gesamtzeitraum (1992-2001) die Sickerwassermenge nur geringfügig. Insbesondere bei Winterweizen (WW) wird die Sickerwassermenge durch das Modell gut abgebildet. Bei Zuckerrüben (ZR) zeigt sich in zwei von drei Jahren, dass bei den von BOWAM modellierten Sickerwassermengen im Herbst die Sickerwasserbildung bereits früher wiedereinsetzt, als es in der Realität zu beobachten ist. Da die Fruchtarten und Bestandesparameter in BOWAM nur sehr grob abgebildet sind, wird vermutlich die Transpiration der Zuckerrüben im Spätsommer und Herbst unterschätzt. Größere Abweichungen zwischen modellierten und gemessenen Werten der Sickerwasserbildung zeigen sich auch in den Jahren 1999 und 2000 mit erhöhten Winter- und Frühjahrsniederschlägen.

Um die Eignung von BOWAM auch auf trockenen Standorten zu prüfen, wird eine Validierung an den Daten der Lysimeterstationen Buttstedt des Thüringer Landesamts für Landwirtschaft (Knoblauch, 2023) und der Lysimeterstation Brandis der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft Sachsen (Winkler, 2023) folgen. Ebenso wird vergleichend zu BOWAM eine Validierung des Modells MONICA – Model of Nitrogen and Carbon dynamics in Agro-ecosystems (Nendel et al., 2011) an den gleichen Datensätzen durchgeführt werden. MONICA verfolgt im Bereich der Sickerwasserbildung einen anderen Modellansatz, verfügt

modellintern über deutlich umfangreichere Daten zu Fruchtarten und Pflanzenbeständen und ermöglicht eine genauere Parametrisierung.

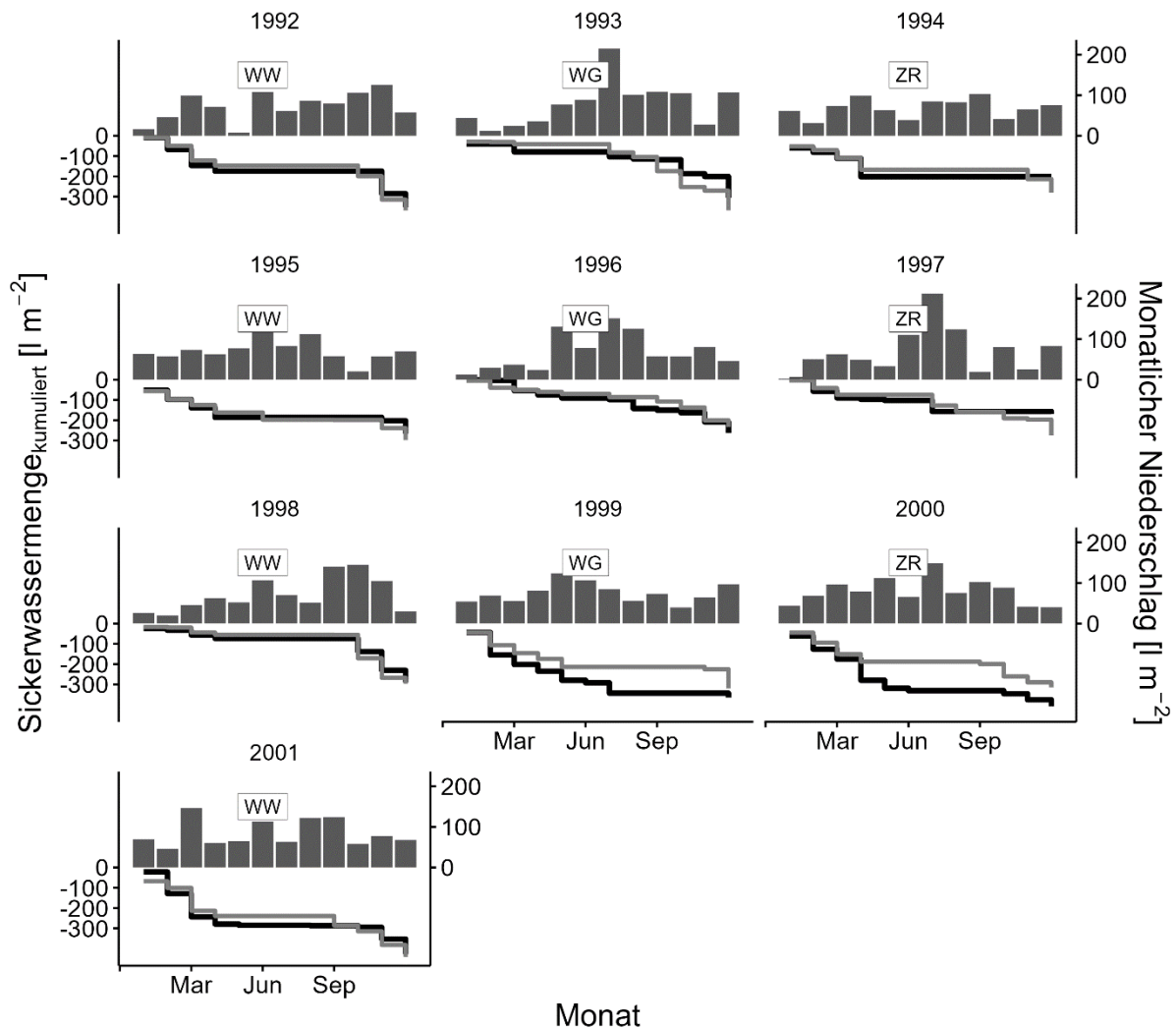


Abb. 1: Monatliche Niederschlagsdaten (REKIS, 28.01.2022) für die Jahre 1992-2001 sowie an der Lysimeterstation Dürnast des Lehrstuhls für Pflanzenernährung der TU München (Schmidhalter, 2022) gemessene (schwarze Linie) und mit dem Modell BOWAM (Dunger, 1985) berechnete (graue Linie), jährlich kumulierte Sickerwassermengen.

Literatur

Dunger V. (1985): Zur prozessbezogenen Modellierung des Wasserhaushaltes in der belüfteten Bodenfeuchtezone. Dissertationsschrift, Fak. Forst-, Geo-, Hydrowiss. der TU Dresden

Knoblauch, Steffi (2023) persönliche Mitteilung (Stand: 07.02.2023).

C. Nendel, M. Berg, K.C. Kersebaum, W. Mirschel, X. Specka, M. Wegehenkel, K.O. Wenkel, R. Wieland (2011): The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics, *Ecological Modelling*, Volume 222, Issue 9, 2011, Pages 1614-1625, ISSN 0304-3800, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.02.018>.

Schmidhalter, Urs (2022) persönliche Mitteilung (Stand: 07.02.2021).

Winkler, Anke (2023) persönliche Mitteilung (Stand: 05.02.2023).

Feststellung des Weidefutteranteils in der Ration anhand der Fettsäuren in Kuhmilch

Martin Komainda¹, Kilian Obermeyer^{1,2}, Joachim Molquentin³, Manfred Kayser^{1,2}
und Johannes Isselstein^{1,4}

¹Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Graslandwissenschaft; ²Universität Vechta, Vechta, Göttingen; ³Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch, Max Rubner-Institut, Kiel, ⁴Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung (CBL) E-Mail: martin.komainda@uni-goettingen.de

Einleitung

Der Begriff Weidemilch wird unterschiedlich definiert. In Deutschland wird teilweise ein Weidemilchzertifikat nach Weidedauer und Mindestweidefläche erteilt. Dies garantiert jedoch nur den Zugang zur Weide, nicht aber die Futteraufnahme von Weidegras. Die Überprüfung der Futteraufnahme auf der Weide anhand betrieblicher Daten ist auf Einzelbetriebsebene nur schwer realisierbar. Ein laboranalytischer Ansatz zur Bestimmung des Weidefutteranteils anhand von Tankmilchproben stellt möglicherweise einen alternativen Ansatz dar. Es ist bekannt, dass im Verlauf eines Jahres saisonal bedingt im Sommer bei Weidefutteraufnahme signifikant geringere Gehalte gesättigter Fettsäuren und signifikant gesteigerte Gehalte mehrfach ungesättigter Fettsäuren in der Milch auftreten (Collomb et al. 2002). Ebenso kann bereits erfolgreich zwischen reiner Weidefütterung und ausschließlicher Konservatfütterung im Stall anhand von Fettsäuremustern differenziert werden (Magan et al. 2021). Eine höher aufgelöste Einteilung von im Anteil von Gras aus Beweidung an der Gesamtversorgung der Kühe wäre in Deutschland, bedingt durch die hohe Variabilität der Weidefutteranteile, nötig.

Material und Methoden

Der Weidefutteranteil auf 39 in ganz Deutschland verteilten Milchviehbetrieben wurde in der Weideperiode 2022 mithilfe des Modells zur Berechnung der Futteraufnahme von Gruber et al. (2004) berechnet. Nach Berechnung der gesamten Futteraufnahme wird dabei die Fütterung im Stall abgezogen, sodass sich die Weidefutteraufnahme residual ergibt. Hierbei werden Informationen zum Tier (Leistung, Gewicht, Laktation, Rasse, Laktationstag) und zu den verwendeten Futtermitteln (Energiegehalt Grobfutter und Anteil Krafffutter) berücksichtigt. Der Energiegehalt des Grobfutters wurde anhand von Handzupfproben der aktuellen Weideflächen sowie anhand von Proben im Stall mittels Nah-Infrarot-Reflektions-Spektroskopie bestimmt. Zudem wurden Angaben der Betriebe und der Milchleistungsprüfung zur Herde und der Ration genutzt. Auf vier der Betriebe wurde bedingt durch Futterknappheit Frischgras im Stall gefüttert, was in den Weideanteil einbezogen wurde. Die Tankmilchproben wurden auf den 39 Betrieben innerhalb von 8 Wochen gesammelt. Es handelt sich in der vorliegenden Untersuchung somit um eine Momentaufnahme vom Tag des Betriebsbesuchs. Aus den Tankmilchproben wurde das Milchfett mit der Röse-Gottlieb-Methode isoliert und anschließend die Fettsäurezusammensetzung mittels Gaschromatographie der Fettsäuremethylester in g /100 g Fettsäuren quantifiziert. Der Zusammenhang zwischen Milchfettsäuremustern und Anteil des Weidefutters an der Gesamtration wurde mittels Hauptkomponentenanalyse in R 4.2.2 (R Core Team, 2022) nach vorhergehender Identifikation wichtiger ungesättigter Fettsäuren betrachtet (Magan et al. 2021). Anschließend wurden Pearsons Korrelationen berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Der mittlere Weidefutteranteil der beprobten Milchviehbetriebe im Zeitablauf lag bei 31%, wobei im Minimum 0%, ersten Quartil 7%, dritten Quartil 45% und im Maximum 100% Weidefutteraufnahme errechnet wurden. Die Hauptkomponentenanalyse (Abb. 1) aller Fettsäuren zeigt für die PC1 56.4% Erklärungsgüte und für die PC2 23.2%.

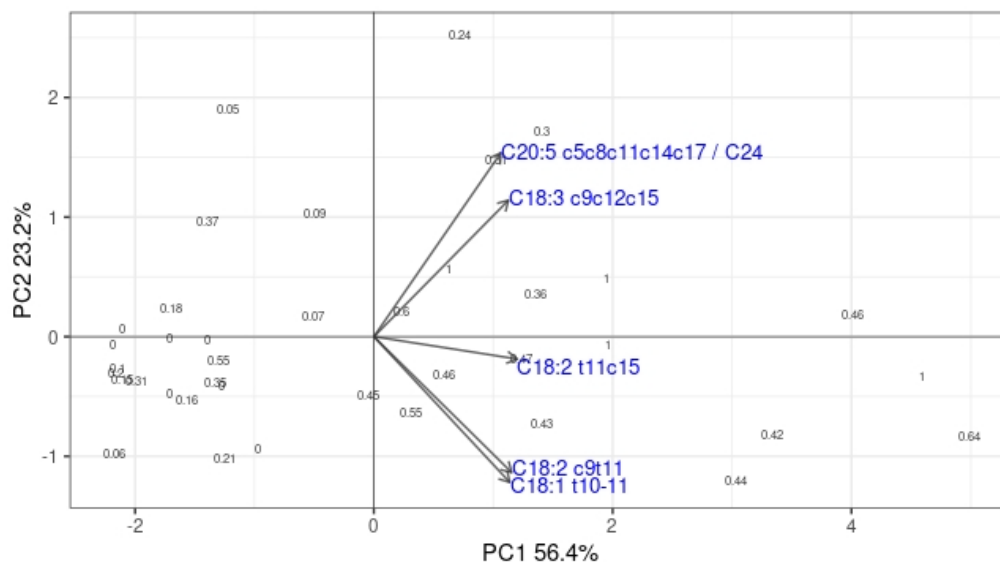


Abb. 1. Hauptkomponentenanalyse. Die Zahlenwerte stellen die zwischen 0 und 1 skalierten Weidefutteranteile der 39 Betriebe dar. Die Pfeile weisen auf diskriminierende Fettsäuren hin.

Zwischen dem Weidefutteranteil und der Fettsäure C18:2 t11c15 im Milchfett wurde eine hoch signifikante Korrelation gefunden ($r=0.67$, $p<0.0001$). Die Korrelation zwischen dem Weideanteil und PC1 der Hauptkomponentenanalyse war entsprechend ebenfalls gut ($r=0.68$, $p<0.001$). Die Korrelation zwischen PC2 und den Weideanteilen war sehr schwach ($r=-0.02$). Die Daten deuten mögliches Potenzial einer Schätzung der Weideanteile aus den Fettsäuremustern der Tankmilch an. Jedoch wird anhand der starken Variation auch deutlich, dass nur eine grobe Differenzierung der Weideanteile unter Praxisbedingungen möglich ist.

Literatur

- Collomb, M., Bütikofer, U., Sieber, R., Jeangros, B., Bosset, J.-O. (2002). Correlation between fatty acids in cows' milk fat produced in the Lowlands, Mountains and Highlands of Switzerland and botanical composition of the fodder. *International Dairy Journal* 12, 661-666.
- Gruber, L., Schwarz, F.J., Erdin, D., Fischer, B., Spiekens, H., Steingäß, H., Meyer, U., Chassot, A., Jilg, T., Obermaier, A. Guggenberger, T. (2004). Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz VDLUFA-Schriftenreihe, Band 60 – Kongressband 2004, S. 484 – 504.
- Magan, J.B., O'Callaghan, T.F., Kelly, A.L., McCarthy, N.A. (2021). Compositional and functional properties of milk and dairy products derived from cows fed pasture or concentrate-based diets. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 20, 2769–2800. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12751>

Detektion von Rehkitzen vor dem Mähen in Grünland- und Futterbauflächen – Überprüfung von drei Methoden

Juliana Mačuhová, Tamara Wiesel, Marco Kirschner, Zoë Pfeiffer und Stefan Thurner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft/Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Freising.

E-Mail: juliana.macuhova@flf.bayern.de

Einleitung

Die Setzzeiten der Rehe liegen vor allem im Mai und Juni (Rieck, 1955), wodurch sie mit dem Zeitraum der ersten Schnitte auf Grünland- und Futterbauflächen kollidieren. Die Mehrheit der Rehkitze wird in Wiesen bzw. Futterbauflächen abgelegt (Christen, 2018). In den ersten 4 bis 6 Lebenswochen verbringen die Rehkitze die meiste Zeit versteckt in der Vegetation (Jarnemo und Liberg, 2005). Vor allem in den ersten Lebenstagen ist der Drückinstinkt sehr stark ausgeprägt (Rieck, 1955) und die Rehkitze fliehen nicht bei Gefahr, wodurch sie besonders in diesem Alter stark durch den Mähvorgang gefährdet sind. Aber auch bereits flüchtende Rehkitze können wegen der höheren Arbeitsbreiten und Fahrgeschwindigkeit beim Mähen verletzt oder getötet werden. Eine Möglichkeit, den Tod von Rehkitzen beim Mähen zu vermeiden, ist sie vor dem Mähen aufzuspüren und zu sichern. Das Ziel dieser Studie in der Saison 2020 war es, drei Methoden zur Detektion von Rehkitzen auf Flächen vor dem Mähen zu evaluieren. Dabei handelte es sich um Drohnen mit Wärmebildkameras, einmal mit der Detektion und Sicherung der Rehkitze direkt beim Überflug (D-DT-M) und einmal nach dem Überflug anhand von GPS-Koordinaten des Standorts visuell ermittelt mittels Orthomosaik-Bildmaterial (D-GPS-M). Die dritte Methode (WR-M) war ein tragbarer Wildretter im Tragebetrieb oder fixiert an einem Quad.

Material und Methoden

Bei der D-DT-M wurde die Drohne Yuneec H520 mit der Wärmebildkamera Yuneec CGOET verwendet. Die Flughöhe am Startpunkt betrug 20 m, wie zur damaligen Zeit empfohlen. Direkt beim Flug detektierte der Pilot am Bildschirm die Wärmepunkte visuell und leitete folgend eine weitere Person zu den Wärmepunkten hin. Bei D-GPS-M wurde die Drohne DJI Matrice 200 mit der Wärmebildkamera Zenmuse XT2 verwendet. Es wurde in einer Höhe von 50 m bzw. 45 m geflogen, wie uns zuerst bzw. später im Laufe der Saison von der Firma geo-konzept GmbH (die das getestete Verfahren konzipiert hatte) empfohlen wurde. Während des Fluges erfolgte die Aufnahme der Bilder mit einer Überlappung von 65 % seitlich und 90 % horizontal. Die Bilder wurden auf der SD-Karte der Kamera gespeichert und von dort auf einen Laptop übertragen sowie in das Programm Agisoft importiert, um damit ein Orthomosaik zu erstellen. Die erstellten Ortomosaiken wurden folgend in das Programm CoGIS geladen, in dem die visuelle Detektion der Wärmepunkte und damit vermutlicher Rehkitze durchgeführt wurde. Für die markierten Wärmepunkte konnten anschließend deren GPS-Koordinaten ermittelt werden. Die Suche nach Wärmepunkten anhand von GPS-Koordinaten erfolgte mit der App-Anwendung c:geo, welche auf einem Smartphone (SAMSUNG A40) installiert und mit einem RTK Gerät (der Firma ARDUSSIMPLE, AS-STARTKIT-BTCASE-L1L2-0-00) verbunden wurde. Bei der WR-M wurde ein Wildretter der Firma i_s_a_ Industrieelektronik GmbH verwendet und die Detektion erfolgte mittels Infrarotsensoren. Dabei befinden sich keine Sensoren im Gehbereich der tragenden Person, daher muss dieser

Bereich visuell abgesucht werden. Bei uns erfolgte die Suche meist mit einem am Quad fixierten Wildretter.

Ergebnisse und Diskussion

Die einzelnen Methoden (D-DT-M, D-GPS-M und WR-M) wurden an 11, 10 bzw. 13 Tagen auf insgesamt 31, 19 bzw. 21 Flächen eingesetzt. Vor dem Mähen wurden mit der D-DT-M 17 Rehkitze auf 9 Flächen, mit der D-GPS-M 6 Rehkitze auf 5 Flächen (3 davon aber nur durch die anschließende direkte Suche bei erneutem Überflug) und mit der WR-M 10 Rehkitze auf 5 Flächen (9 durch die Person selbst, noch bevor die Technik ein Signal auslösen konnte) gefunden. Zwei angemähte bzw. vermähte Rehkitze wurden nur bei der D-DT-M gefunden. Dies konnten jedoch Rehkitze sein, die mit D-DT-M zwar detektiert wurden, aber nicht gefangen bzw. fixiert werden konnten. Der Zeitraum der Einsätze wurde so gewählt, dass die Wärmebildkameras sowie der Wildretter effektiv verwendet werden konnten (d. h. von der Morgendämmerung bis in die frühen Morgenstunden, abhängig von der Sonneneinstrahlung). Jedoch zeigte sich, dass die Suche mit Wildretter bei Sonneneinstrahlung früher als bei den anderen zwei Methoden negativ beeinflusst wurde. Bei der D-GPS_M traten mehrere Probleme auf, z. B. fehlende Bilder, fehlerhafte oder fehlende Erstellung des Orthomosaiks oder fehlerhafte Suche anhand der GPS-Position (z. B. wegen Fehlidentifikation des Wärmepunktes, nicht ausreichender Genauigkeit der Navigation oder dass die Tiere zwischen Überflug und dem Zeitpunkt der Suche die ursprüngliche Position verlassen hatten). Jedoch erwies sich ein anderes System, das ebenfalls auf der Suche nach GPS-Koordinaten basiert, als eine sehr effektive und erfolgreiche Methode für die Rehkitzsuche (Israel, 2015). Nur vereinzelt traten Probleme bei der D-DT-M auf (wie z. B. vorübergehend war keine Steuerung möglich oder dass kein automatischer Flug möglich war). Diese Probleme konnten jedoch sofort vor Ort behoben werden.

Vorteil bei D-DT-M und WR-M ist, dass die Tiere direkt bei der Suche exakt aufgespürt werden. Weiterhin können bei D-DT-M z. B. flüchtende Tiere nicht nur durch die suchenden Personen, sondern auch mithilfe der Drohne verfolgt werden und wieder aufgespürt werden. Dies ist bei D-GPS-M nicht möglich. Falls bei D-GPS-M anhand den ermittelten GPS-Koordinaten kein Rehkitz, kein anderes Tier oder auch kein anderer möglicher Grund für den im Bild identifizierten Wärmepunkt gefunden werden konnte, wurde auch das weitere Umfeld abgesucht, bis die Entscheidung getroffen werden musste, die Suche abzuschließen. Zusammenfassend zeigten sich nicht nur die Drohnen mit Wärmebildkamera bei direkter Suche beim Überflug als erfolgreiche Methode bei der Rehkitzsuche, sondern auch der tragbare Wildretter (auch wenn dieser eher für kleinere Flächen und niedrigere Bestände geeignet ist). Nur bei der Suche nach GPS-Koordinaten mit dem von uns getesteten System traten mehrere Probleme auf, die bis zum Ende der Saison nicht gelöst werden konnten.

Literatur

- Christen N., Janko C., and Rehnus M. (2018). The effect of environmental gradients on the bed site selection of roe deer (*Capreolus capreolus*). *Mammal Research* 63: 83-89.
- Israel M. (2015). Entwicklung eines UAV-basierten Systems zur Rehkitzsuche und Methoden zur Detektion und Georeferenzierung von Rehkitzen in Thermalbildern: Der Fliegende Wildretter. PhD thesis. Universität Osnabrück, 2015,
- Jarnemo A. and Liberg O (2005) red fox removal and roe deer fawn survival—a 14-year study. *Journal of Wildlife Management*, 69:1090-1098.
- Rieck W (1955): Die Setzzeit bei Reh-, Rot- und Damwild in Mitteleuropa. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft* 1: 69–75.

Entwicklung und Test eines Lokalisierungssystems für Rinder im Stall und auf der Weide

Jan Maxa¹, Daniela Nicklas², Joerg Robert³, Simon Steuer² und Stefan Thurner¹

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Freising; ²Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Lehrstuhl für Informatik, insb. Mobile Softwaresysteme/Mobilität, Bamberg; ³Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen.
E-Mail: jan.maxa@LfL.bayern.de

Einleitung

Die Lokalisierung von Tieren, insbesondere auf extensiven Weideflächen, wird in der Forschung seit mehreren Jahrzehnten mit verschiedenen Techniken, hauptsächlich GPS, praktiziert. In Bezug auf die Weidehaltung war die Autorisierung der Nutzung von GPS für zivile Zwecke ein Wendepunkt, sodass seitdem weltweit verstärkt an Ortungssystemen gearbeitet wurde und mittlerweile mehrere Systeme auf dem Markt vorhanden sind (Thurner et al., 2011; Maxa et al., 2015). Aufgrund des hohen Stromverbrauchs für die Positionsbestimmung und Datenübertragung eignen sich diese Systeme insbesondere für weitläufige Weideflächen mit Jungrindern, bei denen eine Positionsbestimmung mit niedriger Frequenz ausreicht, jedoch weniger für Milchkühe, die auf intensiven Weideflächen grasen und regelmäßig im Stall gemolken werden. Derzeit fehlen Angebote zu Tierlokalisierungssystemen, die zuverlässig und mit hoher Frequenz Daten über den Standort der Tiere im Stall und auf der Weide liefern.

Im Rahmen des Projekts „Weidelnsight“ wird daher in Kooperation mit der Industrie ein kostengünstiges und energieeffizientes Lokalisierungssystem für Rinder in kombinierter Stall- und Weidehaltung entwickelt und erprobt.

Material und Methoden

Zur Lokalisierung von Milchkühen wurde auf der Weide die Low Power Wide Area Network (LPWAN) Technologie und im Stall die Bluetooth Low Energy (BLE) Technologie eingesetzt. Beide Technologien wurden schließlich in Kombination als hybrides Lokalisierungssystem verwendet.

Das Lokalisierungssystem im Stall bestand aus Bluetooth Tags, die in einem Gehäuse (Abbildung 1) an den Halsbändern der Kühe befestigt waren und BLE Beacons, die sich an bestimmten Positionen (tragende Stützen vor allem zwischen den Liegeboxen, am Futtertisch und an den Tränken) auf einer Höhe von ca. 2,2 m im Stall befanden.



Abb. 1: Gehäuse des neu entwickelten Lokalisierungssystems (im Detail links) im Einsatz im Stall (oben am Halsband rechts).

Im Jahr 2022 wurde das Lokalisierungssystem im Versuchsstall der Bayerischen Staatsgüter in Almesbach installiert und erste Tests und Untersuchungen zur Lokalisierungsgenauigkeit durchgeführt. Dabei wurden Positionen der mit Bluetooth-Tags ausgestatteten Kühe und ihr Verhalten anhand von Video- sowie Direktbeobachtungen von bis zu acht Stunden/Tag aufgezeichnet und als Lokalisierungsreferenz zu den von den Sensoren erfassten Daten verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Die ersten Ergebnisse der Untersuchungen des Lokalisierungssystems im Stall zeigen eine geringere Positionsgenauigkeit der mithilfe von Trilateration über die drei nächsten Beacons generierten Positionsdaten im Vergleich zu den Beobachtungsdaten der Kühe. Aus diesem Grund wurde ein Proximity-Verfahren mit dem nächsten Beacon und einem sogenannten RSSI (Received Signal Strength Indicator) Filter von -50 und -80 dBm angewandt. Die Anwendung des RSSI-Filters von -50 dBm ergab die höchste Positionsgenauigkeit im Vergleich zu den Rohdaten und einem anderen RSSI-Schwellenwert. Positionierungsdaten ohne Anwendung des RSSI-Filters führten zu einer höheren Ungenauigkeit aufgrund von Reflexionen durch Stalleinrichtungen und Hindernisse sowie die Absorption durch den Kuhkörper und anderen Faktoren.

Obwohl die Lokalisierung von Kühen im Stall auf der Grundlage der BLE-Technologie im Vergleich zu anderen kommerziellen Systemen nicht sehr präzise Ortsinformationen der Kühe lieferte (z. B. der genaue Platz der Tiere in einer Liegebox), können die niedrigeren Kosten und die höhere Energieeffizienz für bestimmte Haltungssysteme von Vorteil sein.

Während der Weidesaison 2023 sind weitere Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Lokalisierungssystem für die Weide geplant. Das neu entwickelte Lokalisierungssystem auf Basis der LPWAN Technologie wird auf Funktionalität und Genauigkeit getestet. Die LPWAN Lokalisierung besteht aus mehreren Empfangsstationen, die den exakten Empfangszeitpunkt eines LPWAN-Signals messen, um den Standort des LPWAN-Senders, der an Weidetieren befestigt wird, zu bestimmen. Als Ortungsverfahren wird hierbei TDOA (Time Difference of Arrival) verwendet. Aufgrund der hohen Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen ist für eine präzise Ortung im Bereich weniger Meter eine hochpräzise zeitliche Synchronisation der Empfangsstationen im Bereich weniger Nanosekunden notwendig.

Literatur

- Maxa, J., Thurner, S. and Wendl, G. 2015. Evaluation of different global navigation satellite tracking systems and analyses of movement patterns of cattle on alpine pastures. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 2015 (V): 326–335.
- Thurner, S., Neumaier, G., Noak, P.O. and G. Wendl, G. 2011. Reduction of labour input by a GPS-based livestock tracking system on alpine farms with young cattle. *Proceedings of the CIOSTA and CIGR Section V Conference, Vienna, Austria.*

Die Förderung des Vorhabens (FKZ: 281C210F19) erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Regulierungsmaßnahmen der Graukresse (*Berteroa incana*) im trockenheitsgefährdeten Grünland

Grumme, A. L.¹, Dietel, B.¹, Falk, H.², Trei, G.¹ und Schleip, I.¹

¹Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Eberswalde; ²Reitverein Integration e. V., Bernau. E-Mail: Anna.Grumme@hnee.de; Inga.Schleip@hnee.de

Einleitung

Vergiftungssymptome bei Pferden im Zusammenhang mit der Verfütterung von Heu, das durch Graukresse (*Berteroa incana*) verunreinigt war, wurden in Deutschland zum ersten Mal im Jahr 2010 in einem wissenschaftlichen Bericht beschrieben (Pieper et al. 2010) – hingegen wurde bereits in den 1990er Jahren über Vergiftungsfälle aus den USA berichtet (Ellison 1992; Geor et al. 1992; Hovda und Rose 1993). Zu den typischen Vergiftungssymptomen zählen erhöhte Temperatur und Fieber, Ödeme an den Gliedmaßen und Lahmheiten bis hin zu inneren Blutungen, Aborten und schweren Fällen von Hufrehe mit Hufbeinrotationen (siehe ebenda). Die Graukresse, ein Kreuzblütler, enthält zwei bisher bekannte Senfölglykoside (Glucoalyssin und Glucobrassicinapin) und eine noch nicht eindeutig identifizierte Substanz, die ursächlich für diese Vergiftungserscheinungen sein könnten (Pieper et al. 2010).

Das Vorkommen von Graukresse ist in Deutschland regional sehr unterschiedlich (siehe Karte BfN 2013). Die mittlerweile etablierte neophytische Art (BfN 2022) ist vor allem im Flachland Nordostdeutschlands verbreitet (siehe Karte BfN 2013). Graukresse bevorzugt leichte, sandige Standorte und wandert in letzter Zeit verstärkt in lückige Grünlandbestände ein (David und Höbel 2020; Rückert 2021). Es ist davon auszugehen, dass sich diese Entwicklung auf Grund zunehmender Trockenheit weiterhin fortsetzen wird.

Bisher gibt es nur wenige veröffentlichte Studien zur Regulierung der Graukresse. Diese untersuchen ausschließlich die Wirksamkeit verschiedener Herbizide zur Bekämpfung der Giftpflanze (siehe Grumme 2022). 2022 wurde daher im Rahmen einer Masterarbeit in einem Tastversuch der Einsatz mechanischer Maßnahmen zur Regulierung der Graukresse erprobt.

Material und Methoden

Um eine erste Datengrundlage zur mechanischen Graukresse-Regulierung zu schaffen, wurde eine Kleinparzellenanlage mit 15 Parzellen à 3 x 4 m auf einer stark mit Graukresse verunkrauteten Pferdeweide angelegt. Zwischen April und September 2022 wurden über 20 Wochen an 11 Terminen alle vorhandenen Graukressepflanzen gezählt und Bonituren an einzelnen ausgelosten Pflanzen durchgeführt. Von den Bonitурpflanzen wurden Daten zur Höhe und zur Pflanzenentwicklung anhand einer BBCH-Skala aufgenommen. Es war geplant die folgenden Maßnahmen zu erproben: Nachsaat mit einer Gräsermischung, Nachsaat mit einer Kräutermischung, das Ausstechen der Giftpflanzen im Frühjahr und eine mehrmalige Mahd des Pflanzenbestandes.

Ergebnisse und Diskussion

Das Ausstechen der Giftpflanzen im Frühjahr hat wie erwartet die Anzahl der im Herbst gezählten Graukressepflanzen wesentlich reduziert. Zudem blieben die Pflanzen aus den Ausstech-Parzellen signifikant niedriger als die Pflanzen aus den

Kontrollparzellen. Auch eine erhöhte Mahdfrequenz – zweimal zusätzlich zu einem Schröpfungsschnitt der gesamten Versuchsfläche – erwies sich als wirkungsvoll und führte zu einer signifikanten Schwächung der Graukressepflanzen in Hinsicht auf ihre Wuchshöhe und Pflanzenentwicklung. Die Nachsaaten gingen leider – vermutlich auf Grund der Trockenheit im Frühjahr – nicht auf.

Um eine effektive und nachhaltige mechanische Regulierungsmethode zu finden, gibt es weiteren Forschungsbedarf, insbesondere zum Verdrängungspotenzial durch gezielte Nachsaaten. Aus unserem Tastversuch haben sich folgende Fragen ergeben:

- Inwieweit kann durch günstig gewählte Mahd-Termine das Aussamen der Graukressepflanzen verhindert werden?
- Ist mehrmaliges Ausstechen oder die Kombination von Ausstechen und Mahd eine effektive Regulierungsmethode für kleinere Weideflächen?
- Tragen gezielte Nachsaaten mit konkurrenzstarken und trockenheitstoleranten Gras- und Krautarten dazu bei, das Aufkommen von Graukressepflanzen zu verhindern oder zu verdrängen?

Bisher ist wenig dazu bekannt, ob Graukresse auch giftig für andere Weidetiere wie Rinder oder kleine Wiederkäuer ist. Bei erwiesener Verträglichkeit wäre auch die Erprobung der Beweidung durch andere Weidetiere ein denkbarer Ansatz. Von großer Relevanz ist zudem die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Regulierung anderer Giftpflanzen wie zum Beispiel des Frühlingskrenzkrautes (*Senecio vernalis*), das ebenfalls seit wenigen Jahren massiv in lückige Grünlandbestände einwandert.

Literatur

- Brandes, D., Schrei, J. (1997): Populationsbiologie und Ökologie von *Berteroa incana* (L.) DC.. Braunschweiger Naturkundliche Schriften 5 (2), S. 441-465.
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2013): Verbreitung Graukresse. Online unter: <https://www.floraweb.de/webkarten/karte.html?taxnr=819>.
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2022): FloraWeb. Artinformation *Berteroa incana* (L.) DC.. Online: <https://www.floraweb.de/xsql/artenhome.xsql?suchnr=819&>.
- David, K., Höbel, S. (2020): Graukresse – giftiger Neuankeimling. Online unter: <https://lh.hessen.de/pflanze/gruenland-und-futterbau/graukresse-giftiger-neuankeimling/>.
- Ellison, S. B. (1992): Possible toxicity caused by hoary alyssum (*Berteroa incana*). Vet Med 87, 472-475.
- Geor, R. J., Becker R. L., Kanara E. W., Hovda, L. R., Sweeney, W. H., Winter, T. F., Rorick, J. K., Ruth, G. R., Hope, E., Murphy, M. J. (1992): Toxicosis in horses after ingestion of hoary alyssum. J Am Vet Med Assoc 201, 63-67.
- Grumme, A. L. (2022): Regulierungsmaßnahmen der Graukresse im trockenheitsgefährdeten Grünland. Masterarbeit, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.
- Hovda, L. R., Rose, M. L. (1993): Hoary alyssum (*Berteroa incana*) toxicity in a herd of broodmare horses. Vet Hum Toxicol 35, 39-40.
- Pieper, R., Kröger, S., Weigend, M., Hanschen, F., Kroh, L., Zentek, J. (2010): Graukresse (*Berteroa incana*) im Heu. Ein „neues“ Gesundheitsrisiko für Pferde. Ein Fallbericht. Tierärztliche Praxis Ausgabe G 38 (3), S. 171-176.
- Rückert, C. (2021): Graukresse-Vergiftung beim Pferd. Online unter: <https://www.lkvsachsen.de/fuetterungsberater/blogbeitrag/artikel/graukresse-vergiftung-beim-pferd/>.

Sumpfschachtelhalm durch intensive Beweidung zurückdrängen?

Westphal, J., Ertel, C. und Schleip, I.

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Eberswalde. E-Mail: Inga.Schleip@hnee.de

Einleitung

Sumpfschachtelhalm (*Equisetum palustre*), eine Rhizom-bildende Sporenpflanze, gehört laut Briemle (2000) wegen seiner starken Toxizität zu den gefährlichsten einheimischen Giftpflanzen. Der Verzehr von Sumpfschachtelhalm kann bei Rindern von Abmagerung, Milchleistungseinbruch und Schwächeanfällen bis zum Tod führen (Köhler 1971). In den letzten Jahrzehnten kommt es nach Extensivierungsmaßnahmen erneut zu vermehrten Sichtungen von Sumpfschachtelhalm im Feuchtgrünland. Besonders betroffen sind die Marschlandschaften in Niedersachsen, aber auch Niedermoorgebiete in ganz Deutschland (Kamphues et al 2012).

Rinder meiden Flächen mit hoher Konzentration von Sumpfschachtelhalm im Bestand und können mit Futterverweigerung reagieren, sobald die Futterselektion im Bestand nicht mehr oder nur schwer möglich ist. Ebenso wird Heu und Silage von betroffenen Flächen von den Rindern verschmäht. Da insbesondere Niederungslandschaften häufig extensiv mit Rindern bewirtschaftet und gepflegt werden, stellt der Besatz mit Sumpfschachtelhalm ein Problem für die Bewirtschaftung dieser Flächen dar und Regulierungsmaßnahmen sind wichtig, um die Nutzung aufrechtzuerhalten.

Ein Regulierungsansatz ist die schädigende Trittwirkung auf den Sumpfschachtelhalm durch Beweidung. Dabei kann man sich die spröde Brüchigkeit des Sumpfschachtelhalm-Stängels zunutze machen. Der Tritt führt zu Schäden durch Knick- und Bruchstellen. Eine Herausforderung ist hierbei, eine ausreichende Trittwirkung zu erzielen, ohne die Gesundheit der Tiere durch eine zu hohe Aufnahme von Sumpfschachtelhalm zu gefährden. An der Hochschule für nachhaltige Entwicklung wurde daher im Rahmen einer Masterarbeit erprobt, ob Sumpfschachtelhalm durch intensiven Tritt während einer Portionsweide mit sehr hohen Besatzdichten effektiv geschädigt werden kann und wie sich die Beweidung auf das Verhalten und Wohlergehen der Rinder auswirkt.

Material und Methoden

In einem Weide-Praxisversuch auf einem Feuchtgrünlandstandort im Niederoderbruch ca. 50 km nordöstlich von Berlin wurden auf einer 5,5 ha-großen Fläche die Auswirkungen von drei verschiedenen Besatzdichten auf den Sumpfschachtelhalm untersucht. Eine Umtriebsweide auf 2,5 ha und mit vier Tagen Besatzzeit wurde mit zwei Portionsweidevarianten auf 0,75 und 0,5 ha und jeweils einem Tag Besatzzeit verglichen. Das Parzellenlayout der Portionsweiden mit lang gestreckten rechteckigen Parzellen wurde mit dem Ziel gewählt, die Rinder möglichst viel Strecke während des Fressens laufen zu lassen, um einen möglichst intensiven Tritteffekt auf den Sumpfschachtelhalm auszuüben. Die Beweidung fand mit einer Mutterkuhherde mit 50 Kühen, 45 Kälbern und zwei Bullen der Rasse Deutsch Angus statt.

Auf der Versuchsfläche wurden vor Beweidung bis zu 83 lebendige Sumpfschachtelhalm-Triebe je Quadratmeter gezählt. Im Vergleich mit den lebendigen, weitgehend unbeschädigten Sumpfschachtelhalm-Trieben nach der

Beweidung konnte das Maß der Reduktion von Sumpfschachtelhalm durch die Beweidung abgeschätzt werden. Zur Abschätzung der Weidefutteraufnahme wurden Aufwuchshöhenmessungen vor und nach der Beweidung durchgeführt. Zudem wurde das Verhalten der Rinder beobachtet und zur Einschätzung des Wohlergehens ein Qualitative Behaviour Assessment (Welfare Quality® 2009) durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Bei einer intensiven Besatzdichte von 81.000 kg LM/ha wurden durch die Beweidung 94 % der lebendigen Sumpfschachtelhalmtriebe reduziert, im Vergleich zu 87 und 86 % bei Besatzdichten von 44.000 kg LM/ha und 16.000 kg LM/ha. Dies zeigt, dass auch die niedrigeren Besatzdichten zu einer deutlichen Reduktion des Sumpfschachtelhalms geführt haben. Kamphues et al. (2012) konnten bereits mit einer Besatzdichte von 14.000 kg LM/ha eine deutliche Reduktion von Sumpfschachtelhalmtrieben im Vergleich mit einer extensiven Beweidung mit 7.000 kg LM /ha feststellen. Möglicherweise tritt ein schädigender Effekt demnach schon bei relativ moderaten Besatzdichten auf, sobald diese ausreichend hoch sind, um eine Trittwirkung zu erzielen und die Möglichkeit zur Selektion zu reduzieren.

Der Anteil der Weidereste war in Teilflächen mit hohen Sumpfschachtelhalm-Konzentrationen am höchsten. Dies ist in Übereinstimmung mit der Verhaltensbeobachtung, bei der sich zeigte, dass die Rinder in Teilflächen mit hohen Sumpfschachtelhalm-Konzentrationen teilweise am Futter schnupperten, dieses aber nicht fraßen. Auffällig war ein eher strukturarmer bis flüssiger Kot, der mit der Aufnahme von Sumpfschachtelhalm zusammenhängen könnte. Der Qualitative Behaviour Assessment-Score war mit 36-37 Punkten knapp über dem unteren Drittel der erreichbaren Punkte von 100 und unterschied sich nicht signifikant zwischen den Varianten. Da eine Punktzahl von 50 als neutrale Situation beschrieben wird, ist der emotionale Zustand der Herde in diesem Versuch eher negativ zu bewerten.

in dem vorgestellten Praxisversuch konnten die Sumpfschachtelhalmtriebe durch die Beweidung wesentlich dezimiert werden, die langfristige Wirkung muss allerdings noch weiter beobachtet werden. Allgemein zeigt sich, dass die Beweidung mit Rindern ab einer gewissen Intensität durch die Aktivität der Herde ein Baustein zur Dezimierung des Sumpfschachtelhalmes sein kann. Aufgrund des Risikos für das Wohlergehen der Rinder sollte dies allerdings nur in Maßen eingesetzt und Tierwohl und Tiergesundheit während der Beweidung von mit Sumpfschachtelhalm durchsetzten Beständen besonders beobachtet werden.

Literatur

Briemle, G. (2000): Giftpflanzen des Grünlandes - Wirkung auf Nutztier und Mensch, sowie Bekämpfungsmöglichkeiten; Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf, Online unter: https://www.km-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw_gl/Giftpflanzen%20des%20Gr%C3%BCnlandes.pdf.

Kamphues, J., Wolf, P., Blüml, V., Weil, C., Müller, J., Lange, G. (2012): Sicherung wirtschaftlicher Nutzung von Feuchtgrünlandstandorten unter Berücksichtigung der Sporenpflanze Sumpfschachtelhalm; Landwirtschaftskammer Niedersachsen u. Partner, Online unter: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-26540.pdf>.

Köhler, I. (1971): Beiträge zur Verbreitung, Biologie und Bekämpfung des Sumpfschachtelhalmes (*Equisetum palustre* L.); Dissertation Universität Hohenheim.

Welfare Quality® (2009): Welfare Quality® Assessment Protocol for Cattle. Welfare Quality Consortium, Lelystad, The Netherlands; p. 54-55. Online unter: <https://edepot.wur.nl/233467>.

Räumliche Variabilität von Bodenkohlenstoff in heterogenem Weideland

Martin Komainda¹ und Johannes Isselstein^{1,2}

¹Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Graslandwissenschaft; ²Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung (CBL), Göttingen; E-Mail: martin.komainda@uni-goettingen.de

Einleitung

Die vorliegende Arbeit geht davon aus, dass die Kohlenstoffmenge des Bodens in extensivem Weideland eine größere Variabilität aufgrund von hoch variablen aber zeitlich sehr stabilen Grasnarbenhöhenbereichen innerhalb von Weideflächen aufweisen als zwischen Weiden, die mit unterschiedlichen Beweidungsintensitäten bewirtschaftet werden.

Material und Methoden

Die Studie wurde im Jahr 2022 im 20 Jahre alten ‚Forbioben‘ Weideversuch nahe Göttingen (51° 46' 56,3" N 9° 42' 11,6" E), 265-340 m über dem Meeresspiegel, durchgeführt. Der Versuchsstandort wurde 2002 eingerichtet und die betrachteten Versuchsglieder werden seither ohne Unterbrechung und Veränderung, ohne Düngung bei ausschließlicher Beweidung bewirtschaftet. Die langjährige (1991-2020) Niederschlagssumme der Vegetationsperiode (April-Oktober) beträgt 427 ± 36 mm, bei einer mittleren Temperatur von $13.3 \pm 0.7^\circ\text{C}$ (Mittelwert \pm SD). Das Grünland ist von mäßigem Artenreichtum mit einem Mittelwert von 11.2 ± 4.1 Gefäßpflanzenarten 0.25 m^{-2} (Perotti et al. 2018) und repräsentiert die Assoziation *Cynosurion cristati* (Runge, 1973). Der Bodentyp ist ein Cambisol. Die Versuchsanordnung ist ein einfaktorielles randomisiertes Blockdesign mit drei Wiederholungen, in dem drei Beweidungsintensitätsbehandlungen, d. h. moderater, extensiver und sehr extensiver Besatz, auf neun 1-Hektar-Paddocks verglichen werden (Tonn et al. 2018). Das Weidemanagement basiert auf einer Standweidehaltung mit tragenden Fleckviehkühen. Für die vorliegende Studie werden die moderate und die extensive Beweidungsintensität betrachtet, die durch eine angestrebte Grasnarbenhöhe von durchschnittlich 6 bzw. 12 cm pro Jahr definiert werden (für mehr Details siehe Tonn et al. 2018). Diese Varianten wurden in den vergangenen zwei Dekaden im Mittel mit einer Besatzstärke von 1.1 bzw. 0.7 Rinder GV ha^{-1} beweidet. Jede Versuchsparzelle ist in Abhängigkeit von der Beweidungsintensität geprägt durch eine vielfältige Grasnarbenzusammensetzung. Dabei ist ein variables Mosaikmuster aus stark entblätterten kurzen Patches und gemiedenen langen Patches vorhanden, und diese Patches sind über Jahre hinweg sehr stabil (Tonn et al. 2018). Kürzlich konnten Obermeyer et al. (2022) anhand von Rising-Plate-Meter Daten eindeutig lange sowie eindeutig kurze Bereiche bestimmen und auf einer Karte reproduzieren. Im Spätherbst 2022 wurden in einem über jede Parzelle gleichmäßig verteilten Raster, in regelmäßigen Abständen zueinander, 25 Bodenproben und zusätzlich weitere zehn zufällig verteilte Bodenproben ($n=210$) aus 0-15 cm Bodentiefe entnommen und mittels GPS-System (ppm 10xx, ili gis-services) georeferenziert. Die Bodenproben wurden nach 60°C Trocknung mittels Elementaranalyse auf den Kohlenstoffgehalt hin untersucht. Jeder Probenahmepunkt wurde *ex post* anhand der Karte von Obermeyer et al. (2022) in Patches klassifiziert. Anhand parallel entnommener Bodenlagerungsdichten wurden patch-spezifische Bodenkohlenstoffmengen („Soil Organic Carbon“, SOC) berechnet. Die Auswertung erfolgte mittels 2-faktorieller

linearer-gemischter Modelle in R Studio (R Core Team 2022). Geprüft wurden Haupt- und Wechselwirkungen von Beweidungsintensität x Patch, der Paddock wurde als Zufallsterm genutzt und für jeden Patch eine separate Varianz zugelassen. Die grafische Datenverarbeitung erfolgte mittels Paket ‚terra‘ (Hijmans et al. 2023).

Ergebnisse und Diskussion

Die räumliche Verteilung der patch-spezifischen SOC-Mengen im Oberboden (Abb. 1) verdeutlicht, dass es Gradienten gibt, die unabhängig von Grasnarbenstruktur (Patches) und Beweidungsintensität scheinen. Die Beweidungsintensität hatte keinen signifikanten Einfluss. Der Patch hatte derweil einen marginal signifikanten Einfluss ($F_{1,204}=3.3$, $p=0.07$) auf die mittlere SOC-Menge, wobei kurze Patches signifikant mehr SOC speichern als lange Patches (6.3 vs. 6.9 kg m^{-2} , $p<0.05$). Die Annahme wäre, dass lange Patches aufgrund von Lichtkonkurrenz stärker in oberirdische Organe investieren müssen als Pflanzen in kurzen Patches und somit aufgrund geringerer Wurzeleinträge auch weniger SOC-Mengen speichern. Auf die Darstellung von Wurzelraten wird für den vorliegenden Beitrag verzichtet. Es zeigt sich in der stehenden Wurzelmasse kein signifikanter Unterschied zwischen Patches (nicht gezeigt). Pflanzen in kurzen Patches haben weniger Lichtkonkurrenz, werden möglicherweise aber durch den regelmäßigen Verbiss ebenso stark oberirdisch Biomasse allozieren wie Pflanzen in langen Patches, sodass Unterschiede in der SOC-Menge zwischen Patches auf variierende Umsatzraten im Boden zurückgehen müssen.

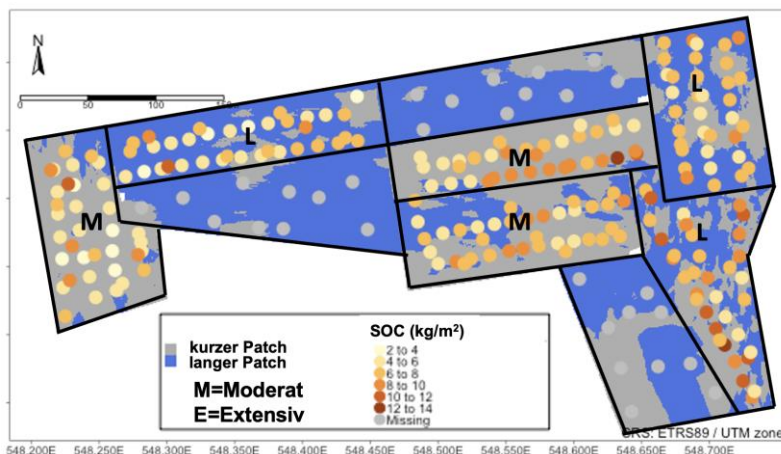


Abb. 1: Räumliche Verteilung von Bodenkohlenstoffmengen (SOC, kg m^{-2}) in 0-15 cm Bodentiefe im Forbioben Versuchsplan in der Moderaten (M) und Extensiven (L) Beweidungsintensität. Die unterschiedliche Hintergrundfärbung zeigt die Verteilung der Patches nach Obermeyer et al. (2022).

Langjährig extensive Beweidung mit Mutterkühen erbringt einen wichtigen Beitrag zur Offenhaltung von Grünland. Hinsichtlich der im Boden gespeicherten Kohlenstoffmengen ergeben sich keine Zielkonflikte mit etwas intensiverer Beweidung auf der Maßstabsebene des Weidepaddocks. Die räumliche Variation der Verbissintensität innerhalb von Weideflächen spielt offensichtlich auch eine Rolle in der SOC-Speicherung und könnte entsprechend bei Inventarisierungen berücksichtigt werden. Das Projekt wird dankenswerterweise durch die DFG (FKZ 467394361) gefördert.

Literatur

Literatur wird auf Anfrage gestellt.

Gärreststrategien zur Optimierung von Nährstoffeffizienz, Wasser - und Klimaschutz im Pflanzenbau (RESOURCE)

Sebastian Wolter¹, Linda Tendler¹, Johannes Kühne¹, Reinhard Well², Roland Fuß²
und Jörg-Michael Greef¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig;

²Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig.

E-Mail: sebastian.wolter@julius-kuehn.de

Einleitung

Die Düngung mit Stickstoff hat neben positiven Effekten auf Ertrag und Qualität der Ernteprodukte auch negative Einflüsse auf die Umwelt. Hierzu gehören die Freisetzung klimarelevanter Gase, wie Lachgas (N₂O) und Ammoniak (NH₃), sowie auch das Risiko der Nitratauswaschung (NO₃⁻), welche zur Umweltbelastung führen und die Düngeeffizienz reduzieren. Da Deutschland sich verpflichtet hat bis zum Jahr 2030 die NH₃ - Emissionen um 29 % gegenüber 2005 (novellierte NEC-Richtlinie) und die Treibhausgasemissionen um 65 % gegenüber 1990 (novelliertes Klimaschutzgesetz) zu reduzieren, sind Untersuchungen zur Quantifizierung der Stickstoffverluste in der Landwirtschaft von enormer Bedeutsamkeit.

Dabei sollen in diesem Projekt die Auswirkungen des Austausches der Düngung (mineralische Düngung versus organische Düngung) auf einerseits pflanzenbauliche Parameter und andererseits auf Umwelteinflüsse bei zwei Standorten mit unterschiedlicher Düngungshistorie (Marktfruchtstandort mit langjährige mineralische Düngung versus Überschussregion mit langjährige organische Düngung) untersucht werden. Es soll somit die Frage beantwortet werden, ob Marktfruchtstandorte potentielle Abnehmer von Nährstoffen aus Überschussregionen sein können und diese effizient in ihr Anbauprogramm integrieren können.

Material und Methoden

Hierzu werden zwei - bis dreijährige Feldversuche (2022 - 2024) auf einem Marktfruchtstandort (Fruchtfolge: Silomais – Winterweizen – Wintergerste) und einer Nährstoffüberschussregion (Fruchtfolge: Silomais – GPS-Getreide) in der Nähe von Braunschweig angelegt, welche fruchtartspezifisch nach aktueller Düngeverordnung allerdings ohne Einbeziehung der mineralischen Stickstoffgehalte im Boden mit Mineraldünger und Gärrest in voller Höhe sowie mit reduzierter Menge (Reduzierung: 20 - 40 %) gedüngt werden. Die N₂O - Emissionen werden dabei wöchentlich über das ganze Jahr hinweg mit statischen Hauben (Hutchinson und Mosier, 1981) erfasst. Mittels Passivsammler (CEH ALPHA: Adapted Low-cost High Absorption; Tang et al., 2001) werden die NH₃ - Emissionen nach der Düngung ermittelt. Des Weiteren wird über zweiwöchentliche Beprobungen der N_{min}- und Wassergehalt des Bodens in einer Tiefe von 0 bis 30 cm bestimmt. Zu entscheidenden Zeitpunkten im Jahr (Frühjahr, Ernte, Beginn der Sickerwasserperiode) findet diesbezüglich auch eine Bodenuntersuchung in einer Tiefe von 0 bis 90 cm statt.

Ergebnisse und Diskussion

Das Frühjahr 2022 zeichnete sich durch relativ hohe Temperaturen und geringe Niederschlagsmengen aus. Diese trocknen Bedingungen spiegeln sich auch in den Erträgen der untersuchten Kulturen auf dem Marktfruchtstandort wider. Hier wies die mineralische Düngung geringfügig höhere Werte in der Wintergerste (95,78 dt FM /

ha \pm 6,57 dt FM / ha) und im Silomais (373,33 dt FM / ha \pm 70,33 dt FM / ha) als die Gärrestdüngung (Wintergerste: 91,56 dt FM / ha \pm 3,30 dt FM / ha; Silomais: 357,74 dt / ha \pm 79,46 dt FM / ha) auf. Gleiches zeigte sich auch in der Stickstoffnutzung der einzelnen Kulturen. Die N_{\min} -Werte nach der Ernte wiesen darauf hin, dass der größte Teil des applizierten Düngers nicht von den Pflanzen aufgenommen wurde, sondern sich noch im Boden befindet. Über das Jahr war auch eine Verlagerung des Stickstoffs in tiefere Bodenschichten zu erkennen. Die durchschnittlichen N_2O - Emissionen lagen dagegen auf einem relativ niedrigen Niveau (0,62 bis 2,64 kg N_2O - N / ha). Agronomische Maßnahmen (Düngung, Bodenbearbeitung) haben dabei einen Einfluss auf die Höhe der Emissionen gezeigt (Abbildung 1). Vor allem unterschieden sich Wintergerste (0,21 bis 1,37 kg N_2O - N / ha) und Silomais (0,69 bis 7,22 kg N_2O - N / ha) hinsichtlich der Emissionshöhe in den verschiedenen Varianten. Bei Betrachtung der einzelnen Kulturen wies die mineralische Düngung tendenziell höhere Emissionen auf als die Düngung mit Gärrest. Bei den NH_3 - Emissionen zeigte die Gärrestdüngung vierfach höhere Werte als die mineralische Düngung, wobei hier die ersten Stunden nach der Düngung (< 50 h) entscheidend waren. Die Einarbeitung des Düngers führte zu einer Reduzierung der NH_3 - Verluste um 90 %.

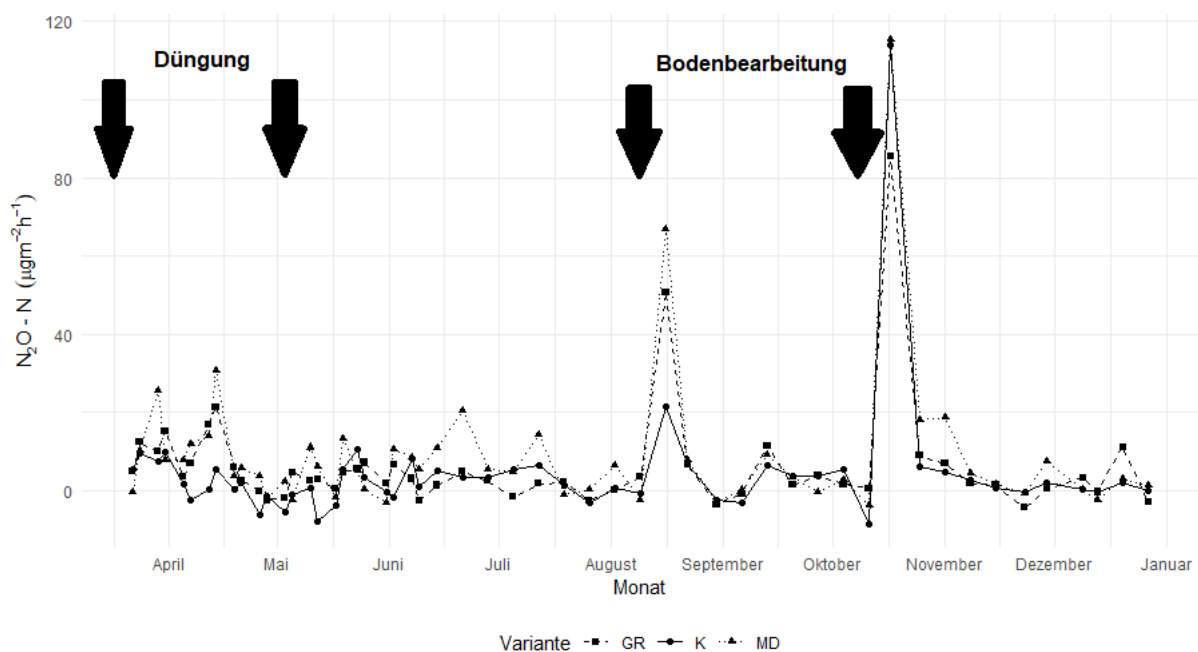


Abb. 1: Lachgasflüsse der Hauptvarianten (GR = Düngung mit Gärrest, K = ungedüngte Kontrolle; MD = Düngung mit Kalkammonsalpeter) in der Wintergerste für den Zeitraum vom 22.03.2022 bis zum 27.12.2022.

Literatur

- Hutchinson, G. L., & Mosier, A. R. (1981). Improved Soil Cover Method for Field Measurement of Nitrous Oxide Fluxes. *Soil Science Society of America Journal*, 45, 311-316. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500020017x>
- Tang, Y.S., Cape, J.N., and Sutton, M.A. (2001). Development and types of passive samplers for monitoring atmospheric NO_2 and NH_3 concentrations. In *Proceedings of the International Symposium on Passive Sampling of Gaseous Air Pollutants in Ecological Effects Research*. TheScientificWorld 1, 513–529.

Impacts of soil compaction by heavy grassland technology on dry matter yields simulated in a plot trial with varying grassland management

Marc Wolf and Harald Laser

South Westphalia University of Applied Sciences, Department of Agronomy, Soest, Germany.
E-Mail: wolf.marcjoerg@fh-swf.de

Introduction

Heavy agricultural machinery is continuously showing increased weights, and thus might pose a risk for soils (Keller & Or 2022). Frequently, grassland soils are assessed to be less affected by soil compaction. Here, compared to tilled soils, a regeneration can be observed, benefited by higher contents in organic carbon and activities by more abundant soil organisms. Nonetheless, in grassland systems an increase in machine weights (large tractors, harvesters, slurry application) is observable. This might lead to more frequent and more serious soil compaction events. This risk is particularly present during spring. Water saturated soils are compacted more easily, while showing longer lasting effects on their soil structure (Leeson & Campbell 1983). This soils might not provide all soil functions, needed for sustainable grassland management systems, especially in regard to challenges by climate change.

Material and method

To determine the effect of soil compaction on dry matter yields, the grassland management systems of four silage cuts and intensive rotational grazing were simulated in fully randomized plots within a block design. The field experiment is situated at the grassland research station Remblinghausen in Western Germany (51°17'21.8"N, 8°16'21.7"E, 390 m above sea level) with following treatments: control of an undisturbed grassland plant composition, an inorganically fertilized control and an over sowing with *Trifolium repens* (3 kg Merlin ha⁻¹). The inorganically fertilized control received 230 kg N ha⁻¹ a⁻¹ in form of calcium ammonium nitrate (CAN) and additional K, Mg, P and Ca. The other treatments received a mineral fertilization of 60 kg CAN-N ha⁻¹ in spring, followed by slurry applications (70/50/50 kg N ha⁻¹). For the grazing variants the slurry was applied in form of randomly distributed spots of 1,5 l each, to simulate excretion.

The four silage harvests were cut by a Haldrup F-55. To simulate grazing by cows, a lawnmower tractor (John Deere X155R) was used to cut at a low height (4 cm), as soon as the sward height reached 7 cm for at least half of the plots. Following each mowing, trampling was simulated with a tractor-pulled compaction roll with the weight of a standard livestock unit (550 kg). Iron replicas of bovine claws were welded upon it.

Dry matter yields (DM) were determined from samples dried at 60°C. The remaining DM content was determined in NIRS-analysis (NIRSTM 5000, Foss). To simulate soil compaction (=c) by heavy grassland technology, a vibratory rammer was used (Wacker Neuson BS60-2plus) in half of all variants. The compression effect of 18 kN is identical to the load of an average tractor with slurry tanker. Vibrations, caused by the rammer, are thought to simulate shear forces induced to the soil by traffic with heavy machinery. The applications took place on typical dates, when soils were water saturated and flexible. As a result of sustained dry weather conditions, in 2020

and 2022 only four soil compaction processes could be simulated under suitable conditions. In 2021 five dates of compactions were possible, including two in March.

Table 1. Harvest dates for the simulations of four silage cuts and intensive grazing.

Year / Number		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
2020	Cutting	14.05.	25.06.	30.07.	x							
	Grazing	24.04.	08.05.	27.05.	23.06.	18.07.	04.11.					
2021	Cutting	02.06.	07.07.	11.08.	20.09.							
	Grazing	10.05.	21.05.	08.06.	28.06.	12.07.	26.07.	09.08.	25.08.	08.09.	22.09.	29.10.
2022	Cutting	17.05.	14.06.	x	26.10.							
	Grazing	21.04.	04.05.	18.05.	02.06.	23.06.	05.09.	05.10.	11.11.			

Results and discussion

Effects of soil compaction treatments were lower in years, characterized by drought, whereas single cutting dates after moist weather periods showed a large, negative effect on dry matter yields. This effect was stronger for the cutting treatments than for the grazing simulations. It could result in a yield reduction by 30 % for the first cut, and decreased the total yield by 10 to 20 %. This reflected results by Hargreaves et al. (2019).

In conclusion, the ability of grassland soils to resist high compression energy is probably more distinct in grazing systems. In the further course of the test, a certain regeneration of the soil after the compaction measures became apparent. More research is needed to evaluate yield decrease by soil compaction in long term.

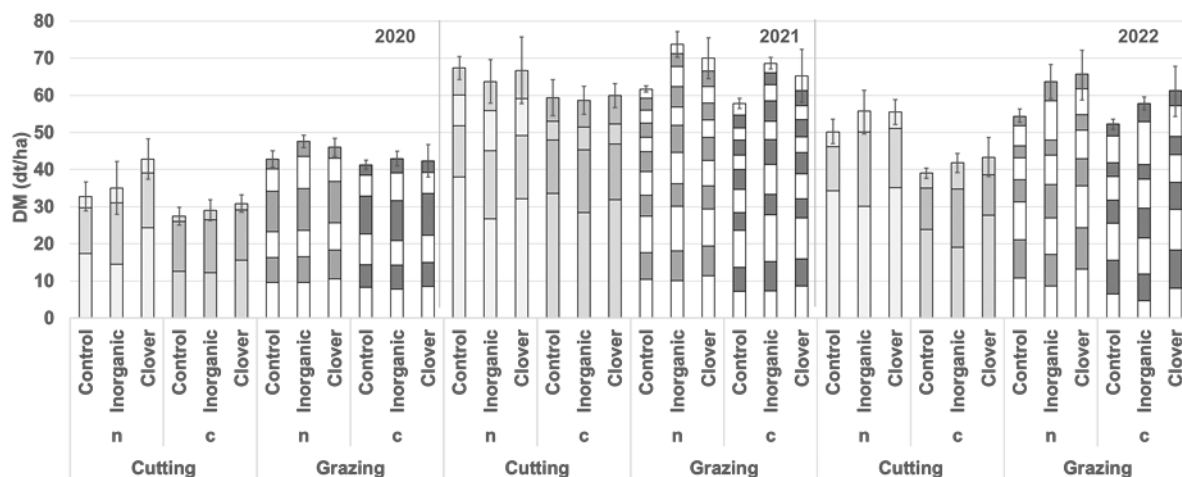


Figure 1. Annual dry matter yields including the contribution of single cuts/grazing intervals and standard deviations depending on fertilisation, simulated compaction (c, or n for “none”), utilisation (cutting or grazing). Number of replicates = 4.

References

- Hargreaves, P. R., Baker, K. L., Graceson, A., Bonnett S., Ball, B. C. & Cloy, J. M. (2019): Soil compaction effects on grassland silage yields and soil structure under different levels of compaction over three years. *European Journal of Agronomy* 109.
- Keller, T. & D. Or (2022): Farm vehicles approaching weights of sauropods exceed safe mechanical limits for soil functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Leeson, J. J. & D. J. Campbell (1983): The variation of soil critical state parameters with water content and its relevance to the compaction of two agricultural soils. *Journal of Soil Science* 34: 33-44.

GrasProg: Pasture Model for Predicting Daily Pasture Growth in Intensive Grassland Production Systems in Northwest Europe

Tammo Peters¹, Christof Kluß¹, Iris Vogeler^{1,2}, Friederike Fenger^{1,3}
and Friedhelm Taube^{1,4}

¹Grass and Forage Science/Organic Agriculture, Institute of Crop Science and Plant Breeding, Christian-Albrechts-University Kiel, Germany

²Department of Agroecology, Aarhus University, Foulum Research Centre, Denmark

³Thünen Institute of Organic Farming, Westerau, Germany

⁴Grass-Based Dairy Systems, Animal Production Systems Group, Wageningen University, The Netherlands

Introduction

Increasing forage utilisation through an optimized management is vital for a sustainable production in intensive grassland based livestock farming. Knowledge of site-specific short term growth predictions based on meteorological forecasts can support the farmer to cope with inter- and intra-seasonal variabilities in growth by adapting management practices that maintain high levels of forage use efficiency. In Germany, the grassland model FOPROQ has been developed for simulating pasture growth for swards dominated by perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and has been parameterised for individual cuts in silage production systems (Petersen-Fredrich et al., 1989). The aim of the present study was to refine the processes in the FOPROQ model in order to develop the GrasProg model, that enables pasture-growth simulation throughout the entire growing season rather than for only individual cuts for silage production.

Material & Methods

GrasProg calculates the daily growth rate W_t (kg DM ha⁻¹ day⁻¹) from the product of the existing biomass of the previous day (W_{t-1}), the relative growth rate (RS_t , kg kg⁻¹ day⁻¹), and an environmental index (GI) that describes the influence of radiation, temperature, and soil water content (precipitation) on grass growth (see formula below and for more details Peters et al., 2022).

$$W_t = W_{t-1} RS_t GI$$

The initial value of W_{t-1} (W_0) in the model describes the existing biomass at the beginning of each growth period. Two model parameters were adjusted within the vegetation period, namely the relative growth rate (RS) and the initial biomass at the start of each growth period (W_0). During the calibration procedure, the parameters were iteratively adjusted in order to minimize the mean squared residuals of measured and simulated biomass, using the R environment. For this, data of crop-growth rates of perennial ryegrass dominated permanent pastures were used that were measured over a period of two years (2016 and 2017) at three contrasting sites (Marshland, Geest, Eastern Hills) in Schleswig-Holstein, Northern Germany. The pastures received nitrogen (N) fertilizer at a rate of 280 kg N ha⁻¹ and were cut on a four-week interval (Corral & Fenlon, 1978) after measuring biomass non-destructively (Trott et al., 2004).

Results & Discussion

For RS an exponential function was fitted throughout the growing period to the measured pasture growth ($R^2_{adj} = 0.8$). For W_0 , a fourth-degree polynomial function as a function of week over the vegetation period was fitted to the measured biomass

data ($R^2_{\text{adj}} = 0.86$). The fitted functions coincide well with the seasonal dynamics of plant functional traits (i.e., phenology and tiller density) as described by Peters et al. (2021). The initial value of the relative growth rate (RS) during each growth period reflects the phenological development during the upcoming growth period of the pasture and is related to the proportion of reproductive tillers and, thus, stem elongation and enhanced radiation use efficiency during the growth period. The fitted function of W_0 reflects the photosynthetically active residual leaf area and the tiller density at the beginning of the growth period.

GrasProg with the fitted model parameter values shows generally good agreement with the measured DM yields for the different cuts and locations over the vegetation period (Figure 1). In some instances, the model under-estimated the growth rate in the first period (April–May), but, generally, the model performed well with an R^2 of 0.65 and RMSE of 49.5 g DM m^{-2} and an NSE of 0.64.

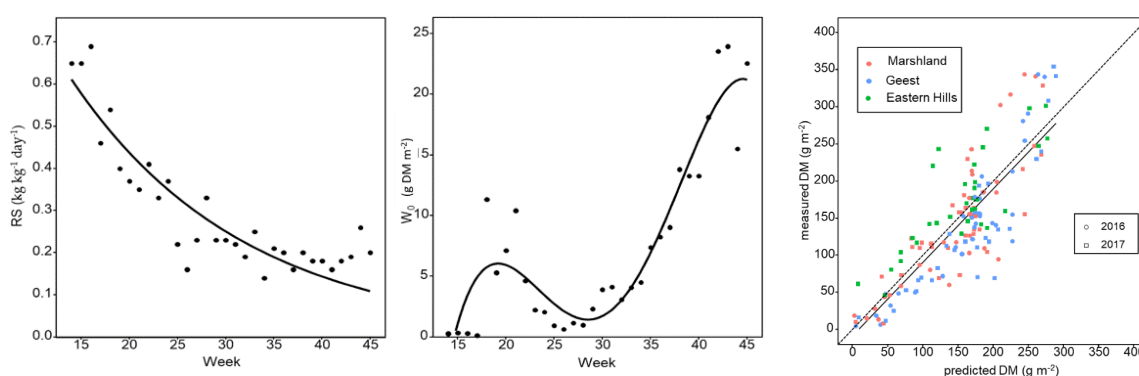


Figure 1. Measured (dots) and fitted values for the biomass at the start of each growth period (W_0 ; g m^{-2}) and the relative growth rate (RS; $\text{kg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$) over the vegetation period (left) and measured vs. predicted pasture biomass of different cuts for two years (2016 - 2017) for the three main landscape types of Schleswig Holstein (Marshland, Geest, and Eastern Hills) based on weekly measurements of dry matter yields (right).

For decision-support in pasture management, the newly developed GrasProg model has high potential, as it is able to simulate intra- and inter-seasonal growth variability. The general validity of the simple semi-mechanistic modelling approach is confirmed by comparing validation statistics of GrasProg1.0, an extended version of GrasProg, with a complex and process-oriented modelling approach on a comprehensive dataset of growth from perennial ryegrass swards in Germany and Denmark (Vogeler et al., 2023).

Literatur

- Corrall, A.J.; Fenlon, J.S. A comparative method for describing the seasonal distribution of production from grasses. *J. Agric. Sci.* 1978, 91, 61–67.
- Petersen-Fredrich, E.C.; Kornher, A.; Taube, F. Ertragsbildung unterschiedlicher Sortentypen des Deutschen Weidelgrases im Vegetationsablauf in Abhängigkeit vom Nutzungsregime. 2. Mitteilung: Modellberechnungen. *Das Wirtsch. Futter* 1989, 35, 289–300.
- Peters, T., Kluß, C., Vogeler, I., Loges, R., Fenger, F., Taube, F. GrasProg: Pasture Model for Predicting Daily Pasture Growth in Intensive Grassland Production Systems in Northwest Europe. *Agronomy* 2022, 12.
- Peters, T, Taube, F, Kluß, C, Reinsch, T, Loges, R, Fenger, F. How Does Nitrogen Application Rate Affect Plant Functional Traits and Crop Growth Rate of Perennial Ryegrass-Dominated Permanent Pastures? *Agronomy*, 2021, 11, 2499.
- Trott, H., Ingwersen, B., Wachendorf, M., Taube, F. Schätzung des Trockenmasseertrages auf Dauergrünland mit Hilfe einer Höhenmessung. *Pflanzenbauwissenschaften*. 2002, 6, 78-83.
- Vogeler, I., Kluß, C., Peters, T., Taube, F. How Much Complexity Is Required for Modelling Grassland Production at Regional Scales? *Land*, 2023, 12, 327.

Proteinerträge von Gräser-Leguminosen Mischbeständen bei standardisierter oder reduzierter N-Düngung

Karin Weggler und Jörg Messner

Landwirtschaftliches Zentrum Baden Württemberg (LAZBW), Fachbereich Grünlandwirtschaft und Feldfutterbau. Aulendorf; E-Mail: karin.weggler@lazbw.bwl.de

Einleitung

Leguminosen haltige Grasbestände, also Mischbestände; zeigen meist höhere Trockenmasse (TM)-Erträge als deren jeweilige Monokulturen (Nyfeler et al. 2009). Zahlreiche Versuche zu dieser Thematik wurden bei einheitlichem Stickstoff (N-) Niveau durchgeführt, obwohl durch die symbiotische N₂-Fixierung von Leguminosen plus Düngung der N-input in diesen Systemen höher ist als in vergleichbaren Grasbeständen. Wenn der symbiotisch fixierte N von Leguminosen beim N-input mitberücksichtigt wird, Bestände also adaptiert gedüngt werden, zeigten Mischbestände weiterhin höhere TM-Erträge als Monokulturen. Unterschiede waren aber deutlich geringer (Weggler und Elsässer 2023). Die Höhe der N-Düngung hatte allerdings parallel einen deutlichen Einfluß auf den Leguminosen-Anteil im Bestand, der durch die höhere, fixe N-Düngung signifikant reduziert war. Um Leguminosen in gemischten Beständen zu halten und deren symbiotisches N-Fixierungspotential effektiv auszunützen zu können ist es daher meist notwendig die N-Düngung zu reduzieren, obwohl dies zu reduzierten TM-Erträgen führen kann (Weggler und Elsässer 2023). Mit Leguminosen verfolgt man allerdings das Ziel die lokale Protein-Produktion über eine verbesserte Grundfütterernte zu erhöhen, wobei sowohl die Protein-Quantität sowie die Protein-Konzentration entscheidende Faktoren sind. Fraglich ist nun, ob die Qualität der Grundfütterernte bei adaptierter, also Leguminosen-fördernden, N-Düngung verbessert oder verschlechtert wird gegenüber einer fixen N-Düngung. Als Qualitätskriterien wurden in den folgenden Versuchen Rohprotein-Erträge und -Konzentrationen herangezogen. Möglicherweise gibt es auch gewisse Gräser-Leguminosen Kombinationen, die eine Optimierung beider Qualitätskriterien bei reduzierter N-Düngung erlauben.

Material und Methoden

Gräser Leguminosen Mischungen zusammengesetzt aus den folgenden vier Mischungspartnern: a) Rotklee (RK), b) Weißklee (WK), c) Dt. Weidelgras (Lol) und d) eine Mischung von trockenheitstoleranten Gräsern wurden nach einem Simplex design in den Mischungsverhältnissen (100:0:0:0), (70:10:10:10) (25:25:25:25) (40:40:10:10) mit je 3 Wiederholungen im Juni 2020 ausgesät. Trockenheitstolerante Gräser (GSWT) bestanden aus einer Mischung von *Festuca pratensis* (30%), *Phleum pratense* (30%), *Poa pratensis* (20%), *Dactylis glomerata* (10%) und *Festuca rubra* (10%) zu erwartendem Anteil an. Der Versuchsaufbau wurde doppelt durchgeführt, einmal mit einer standardisierten N-Düngung von 180 kg N ha⁻¹ und einmal mit einer adaptierten N-Düngung von 0, 20, 100 oder 180 kg N ha⁻¹ bei einem gesäten Leguminosen-Anteil von 100/80, 50, 20 oder 0%, respektive (Details siehe Weggler und Elsässer 2023). In 2021 wurde der Leguminosen-Anteil vor und Proteinkonzentration nach den fünf Schnitten bestimmt und gewichtete Mittelwerte berechnet.

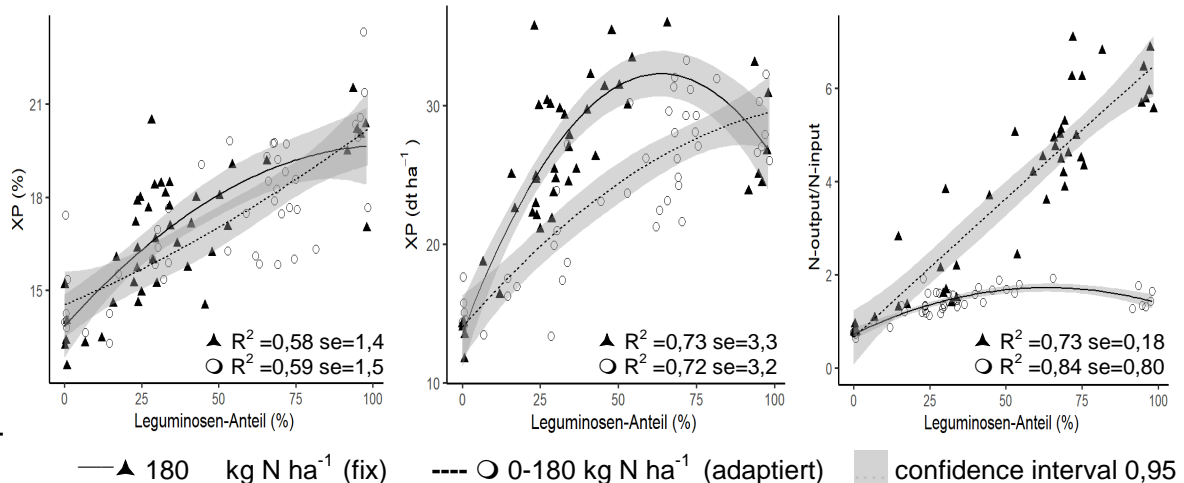


Abb. 1 Einfluss des Leguminosen-Anteils und N-Düngeniveaus auf die Protein (XP)-Konzentration, Protein-Erträge und die Relation N-output (Erntegut) zu N-Input (N-Dünger) von unterschiedlichen Gräsern-Leguminosen Beständen.

Ergebnisse und Diskussion

Der Proteingehalt im Erntegut war positiv korreliert mit dem Leguminosen-Anteil in Mischbeständen und das bei beiden Düngestrategien. Allerdings war der Leguminosen-Anteil in adaptiert gedüngten Varianten signifikant höher (Mittel aller Varianten 52%) als in fix gedüngten Varianten (36%). Dies bedingte indirekt höhere Proteinkonzentrationen gleichzeitig und unabhängig davon auch geringere Proteinenerträge in adaptiert gedüngten Varianten. Ein Zielkonflikt. Die Relation N-output (Erntegut) zu N-Input (N-Dünger) war bei einer adaptierten N-Düngung und einem Leguminosen-Anteil über 30% allerdings deutlich höher, was auf eine verbesserte Ausnutzung des Potentials von Leguminosen hinweist. Einige Saatmischungen konnten dennoch auch bei adaptierter N-Düngung hohe Proteinkonzentrationen und Erträge erzielen. Saatmischungen mit hohem Weißklee-Anteilen (70%WK, 40%Lol+40%WK), die unter adaptierter N-Düngung Bestände mit 45% WK, 22% RK, 27% Lol und 5% GSWT im feuchten Jahr 2021 bildeten, konnten XP-Konzentrationen von 18,3% und Erträge von 29,5 dt XP ha⁻¹ erzielen. Bei fixer N-Düngung waren Gräser und Rotklee haltige Bestände im Vorteil (70%GSWT, 40%Lol+40%RK). Mit Leguminosen-Gräser Beständen können also hohe Protein-Erträge und/oder Konzentrationen erzielt werden. Allerdings beeinflusst das N-Düngeniveau in Interaktion mit der Saatgut-Zusammensetzung den erzielten Leguminosen-Anteil deutlich. Die N-Düngungshöhe entscheidet indirekt via Leguminosen-Anteil, ob Protein-Erträge maximiert oder Protein-Konzentrationen und die Relation N-input zu N-output optimiert werden.

Literatur

- Nyfele, D., Huguenin-Elie, O., Suter, M., Frossard, E., Connolly, J., & Lüscher, A. (2009). Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive overyielding. *Journal of Applied Ecology*, 46, 683–691.
- Wegglar, K., & Elsaesser, M. (2023). The Influence of Nitrogen Applications and Low Rainfall Conditions on Yield of Mixed Grass-Legume Grassland for 2 Years. *Nitrogen*, 4, 194–208.

Potentielle neue Graslandarten Multispezies für multifunktionales Grünland: Bewertung alternativer Futterkräuter für die Pferdeernährung

Dietrun Thielecke¹, Johannes Isselstein^{1,2} und Martin Komainda¹

¹Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Graslandwissenschaft Göttingen; ²Zentrum für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung, Göttingen. E-Mail: dietrun.thielecke@uni-goettingen.de

Einleitung

Im Hinblick auf aktuelle Herausforderungen, die durch den Verlust der Phytodiversität entstehen und durch den Klimawandel verschärft werden, ist eine Etablierung von bisher minoren Pflanzenarten wichtig, sodass simultan multifunktionelle Leistungen vom Grünland erbracht werden können, die den Futterlieferungsaspekt genauso bedienen wie Aspekte der Biodiversität (Ergon et al. 2018; van Oijen et al. 2018). Hierbei ist neben der Ernährung von Wiederkäuern auch die Fütterung von Pferden in den Blick zu nehmen, die als Verwerter artenreicher Grünlandaufwüchse relevant sind (Fleurance et al. 2012).

Material und Methoden

Zur Bewertung alternativer Futterkräuter wurde ein Topfexperiment unter kontrollierten Bedingungen in einer Vegetationshalle über einen Zeitraum von 61 Tagen durchgeführt. Funktionelle Pflanzenmerkmale, Ertrag und Futterqualität von insgesamt 32 minoren dikotylen leguminösen und nicht-leguminösen Arten wurden im randomisierten Blockdesign untersucht. Unter den genutzten Arten befanden sich „Exoten“ z.B. aus Mediterranem Raum, die in Deutschland derzeit nicht etabliert sind.

Tab. 1: Übersicht der beprobten Arten und Anzahl der Akzessionen jeder Art

Art	Akz	Art	Akz
Achillea millefolium L.	1	Rumex acetosa L.	1
Astragalus cicer L.	3	Sanguisorba minor ssp. Minor SCOP	1
Carum carvi L.	1	Sanguisorba officinalis L.	1
Cichorium intybus L.	1	Thymus pulegioides L.	1
Lotus corniculatus L.	1	Trifolium ambiguum L.	2
Lotus pedunculatus L.	1	Trifolium subterraneum L.	3
Medicago lupulina L.	1	Bituminaria bituminosa (L.) C.H.STIRT	2
Meilissa officinalis ssp. officinalis L.	3	Hedysarum coronarium L.	3
Pimpinella anisum L.	1	Trifolium michelianum SAVI	2
Pimpinella saxifraga L.	1	Trifolium tumens Steven ex M.BIEB.	1
Plantago lanceolata L.	1		

Akz = Anzahl Akzessionen der jeweiligen Art; Unterlegte Flächen kennzeichnen Exoten

Messungen zur Erhebung der funktionellen Merkmale erfolgten wöchentlich. Es wurden u.a. der Blatt-Trockenmassegehalt ‚*Leaf Dry Matter Content*‘ (LDMC) des jüngsten voll entwickelten Blattes, die *Wuchshöhe* und der *Ertrag* erfasst. Der oberirdische Aufwuchs oberhalb von 4 cm wurde zum Zeitpunkt der Blüte beerntet. Pflanzen, die das Blühstadium nicht erreichten, wurden nach 61 Tagen beerntet. Zur Ermittlung der Futterqualität wurden die Pflanzenproben laboranalytisch untersucht. Hierbei ist mittels ANKOM Fibre Tec (Model 220) die NDF-Konzentration in der

organischen Masse bestimmt worden. Eine Unterprobe der Biomasse wurde verascht, um die Rohasche (XA) zu bestimmen. Neben der Bestimmung der Stickstoff(N)konzentration in der Gesamtpflanze mittels Elementaranalyse, wurden die N-Konzentration der Zellwand und auch XA im NDF-Rückstand ermittelt, um durch Umrechnung ($N \times 6.25$) die Konzentration an *Rohprotein* (CP), *nicht-löslichem CP* (Zellwandgebunden) (NDICP), *löslichem CP* (NDSCP) zu ermitteln, um das *prae-caecal verdauliche CP* (pcdCP) zu bestimmen (Tuescher et al. 2021), welches die für Pferde maßgebliche Größe der Proteinfraction darstellt. Die statistische Auswertung erfolgte mit *R Studio*. Mit Hilfe einer ANOVA wurden signifikante Unterschiede und der jeweilige Einfluss des Faktors *Art* auf alle Zielgrößen geprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ernte zum Zeitpunkt der Blüte dieser dikotylen Pflanzenarten führte zu blattreichen und faserarmen Futterproben. Der Faktor *Art* beeinflusste alle untersuchten Zielgrößen signifikant. Die Temperatursumme in der Vegetationshalle fiel im Vergleich zur Außentemperatur 32% höher aus. Die exotischen Leguminosen produzierten im Durchschnitt 2.7 g Biomasse, während die einheimischen Leguminosen im Durchschnitt 22 % weniger produzierten. Da kein N gedüngt wurde, produzierten die Nicht-Leguminosen im Durchschnitt 29 % weniger Biomasse als die Leguminosen (2,4 vs. 1,7 g Topf⁻¹). Allerdings produzierte die Nicht-Leguminose *P. anisum*, die größte Biomasse. Den im Mittel höchsten LDMC zeigte *Sanguisorba minor* (43.0), den niedrigsten *Plantago lanceolata* (19.2). Die höchste Wuchshöhe zeigte *Pimpinella anisum* mit signifikantem Unterschied zu allen anderen Arten. Die niedrigste Wuchshöhe erreichte *Trifolium tumens* (Exot). *P. anisum* zeigte den höchsten Ertrag, *Cichorium intybus* den geringsten. Den höchsten NDF-Gehalt zeigte mit 475.3 g⁻¹ kg TM *B. bituminosa* (Exot), den niedrigsten *M. lupulina* (315.1g kg⁻¹ TM). Den höchsten CP-Gehalt erreichte *M. lupulina* (193.8g kg⁻¹ TM), den niedrigsten *B. bituminosa* (58.8 g kg⁻¹ TM). Alle Arten erreichten hohe pcdCP-Konzentrationen. Den höchsten pcdCP-Gehalt enthielt *M. lupulina* (169.5 g kg⁻¹ TM), den niedrigsten *B. bituminosa* (49.8 g kg⁻¹ TM). Bei einer geschätzten Gras-TM-Aufnahme von 10 kg je Pferd und Tag, wäre eine Konzentration von rund 36.4 g kg⁻¹ TM ausreichend (Zeyner und Zentek 2020) und somit von allen Arten erreicht. Offensichtlich können auch bislang nicht genutzte dikotyle Pflanzenarten unter den lokalen Klimabedingungen, insbesondere aber bei zukünftig wärmeren Temperaturen, vielversprechende Leistungen erbringen.

Literatur

- Cornelissen JHC, Lavorel S, Dianz S, Buchmann N (2003) Doi: 10.1071/BT02124
- Ergon Å, Seddaiu G, Korhonen P, Virkajärvi P, Bellocchi G, Jørgensen M, Østrem L, Reheul D, Volaire F (2018) Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.016>
- Fleurance G, Edouard N, Collas C, Duncan P, Farruggia A, R Baumont, Lecomte T, Dumont B (2012) Doi: 10.3920/978-90-8686-755-4_16
- Guo A, Zuo X, Zhang S, Hu Y, Yue P, Lv P, Li X, Zhao S, Yu Q (2022) Doi: <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03486-z>
- Mason NWH, Orwin K, Lambie S, Woodward SL, McCreedy T, Mudge P (2016) Doi: 10.1002/ece3.1964
- Tuescher T, Vervuert I, Reidy B, Ineichen S (2021) Doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115066>
- Van Oijen M, Bellocchi G, Höglind M (2018) Doi: 10.3390/agronomy802001
- Zeyner A, Zentek J (2020) Fütterung der Pferde. In: Jeroch et al. (2020) Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere.

Theoretische Graswachstumsmodellierungen und ihre praktische Anwendung: Fallbeispiel Luxemburg

Anne Dirkse¹, Dorothee Klöcker², Gérard Conter¹, Claude Felten¹,
Philippe Aebischer³ und Beat Reidy³

¹Lycée technique agricole, Gilsdorf. E-Mail: anne.dirkse@lta.lu; ²CONVIS, Ettelbrück; ³Berner
Fachhochschule, Zollikofen

Einleitung

Mehr als 50% der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Luxemburg ist Grünland. Somit ist es eine wichtige Grundlage in der Wiederkäuerfütterung. Die Einschätzung des Graswachstums ist ein wichtiger Punkt bei der Bewirtschaftung von Wirtschaftsgrünland, vor allem bei starken Witterungsschwankungen. Mithilfe von Modellen zur Wachstumsprognose kann der tägliche Massenzuwachs über einen Zeitraum von bis zu acht Tagen im Voraus geschätzt werden, um so frühzeitig über die Art und den Zeitpunkt der Nutzung entscheiden zu können. Das Prognosemodell ModVege (Jouven et al. 2006a und 2006b) wird an den luxemburgischen Standort angepasst und auf seine Praxistauglichkeit getestet.

Material und Methoden

Fünf repräsentative Standorte wurden anhand ihrer pedoklimatischen Bedingungen ausgewählt. An diesen Versuchstandorten werden während drei Vegetationsperioden (2021, 2022 und 2023) wöchentlich Grasaufwuchsmessungen zur Kalibrierung und Validierung des Graswachstumsprognosemodells erhoben. In jeder Versuchsparzelle werden im vier Wochenrhythmus Ertrag, Trockensubstanz und Futterqualitätsparameter ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Messungen des Graswachstums wurden in zwei Vegetationsperioden durchgeführt, die sich hinsichtlich der Wetterbedingungen stark unterschieden. So unterscheiden sich die Graswachstumskurven sehr stark zwischen den Vegetationsperioden 2021 und 2022, aber auch zwischen den verschiedenen Standorten. Besonders bis zum Juli 2021 wurden hohe Niederschläge und

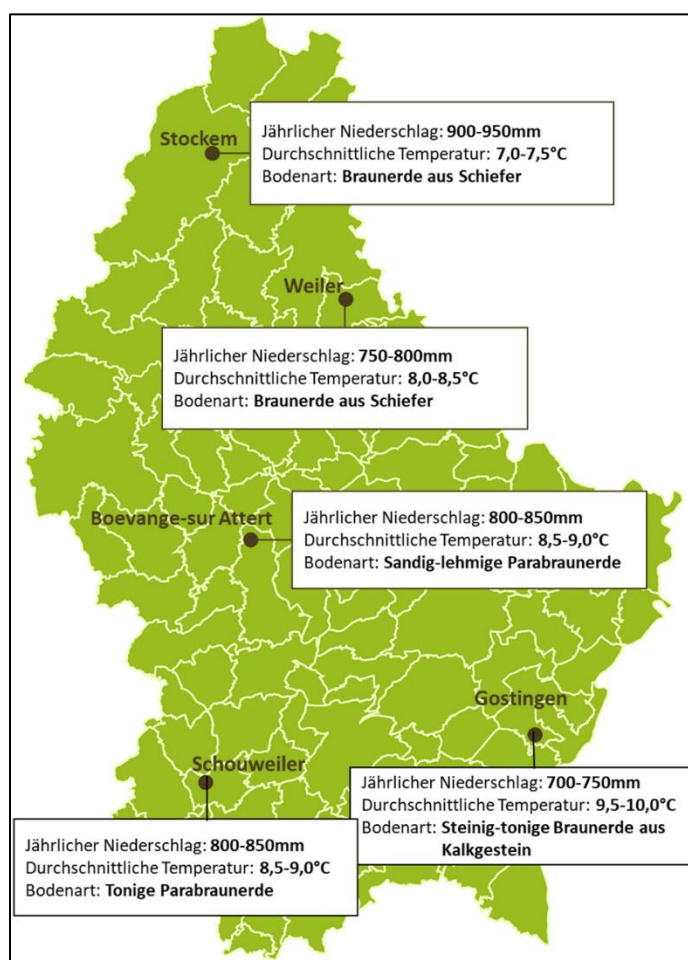


Abb. 1: pedoklimatische Bedingungen der 5
Versuchsstandorte

niedrige Temperaturen verzeichnet, die zu einem durchgehenden Graswachstum führten. 2022 war der Vegetationsbeginn eine Woche früher, wegen anhaltender Trockenheit brach das Graswachstum jedoch in den Sommermonaten komplett ein. Ausreichende Niederschläge Ende August ließen wieder einen Grasaufwuchs zu.

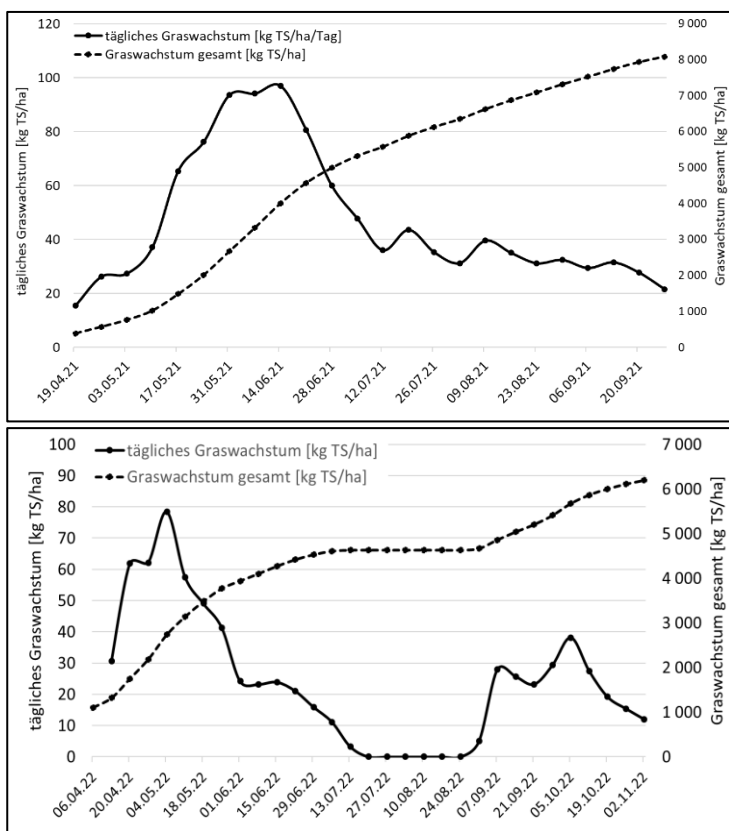


Abb. 2: gemessenes Graswachstum für die Vegetationsperioden 2021 (oben) und 2022 (unten)

Die starken Variationen während der Vegetationsperioden stellen hohe Anforderungen an das ModVege Modell dar. Simulation und tatsächlich gemessener Aufwuchs des ersten Aufwuchses stimmten bisher sehr gut überein. Jedoch wurden die Folgeaufwüchse nach dem ersten Aufwuchs 2021 überschätzt und das Graswachstum wurde nach der Trockenheit 2022 überhaupt nicht mehr prognostiziert. Letzteres stimmt mit den Beobachtungen des Trockenstresses bei Jouven (2006b) und Bittar (2018) überein. Anpassungen der Standortbedingungen Nährstoffverfügbarkeit und Wasserhaltevermögen sowie die Berücksichtigung des Blattflächenindex nach früher kompletter Entblätterung der Pflanzen bei anhaltender

Trockenheit könnten Abhilfe verschaffen. Die Veröffentlichung der Prognosedaten aus dem ModVege Modell und auf Basis aktueller Klimadaten soll künftig im wöchentlichen Rhythmus auf dem offiziellen luxemburgischen Kartenportal erfolgen. Dies stellt eine wertvolle Entscheidungshilfe für den interessierten Weidewirt dar.

Literatur

Bittar A. et al (2018): Simulation des Graswachstums und der Erträge auf Wiesen und Weiden durch ModVege; Agrarforschung Schweiz 9 (6) Seite 186-191

Calanca.P et al (2016): Testing the ability of a simple grassland model to simulate the seasonale effects of drought on herbage growth; Field Crops research 187, page 12-23

Jouven et al. (2006 a): Model predicting dynamics of biomass, structure and digestibility of herbage in managed permanent pastures -1; Grass and forage science Volume 61, page 112-124

Jouven et al. (2006 b): Model predicting dynamics of biomass, structure and digestibility of herbage in managed permanent pastures -2; Grass and forage science Volume 61, page 125-133

Peters T. et al (2018): Smart grazing: modelling grass growth in rotationally grazed pastures; Grasslandscience in Europe, Vol. 23, page 898-900

N-Düngung im Grünland: Schlaggenaue Ermittlung durch agentenbasierte Modellierung

A. Kaim^{1,2}, T. M. Schmitt¹, S. H. Annuth¹, M. Hänsel¹ und T. Koellner¹

¹Universität Bayreuth, Professur für ökologische Dienstleistungen, Bayreuth; ²Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department Landschaftsökologie, Leipzig.
E-Mail: Sylvia.Annuth@uni-bayreuth.de

Einleitung

Grünland bedeckt mehr als ein Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Europäischen Union (EU). Grünlandökosysteme sind zum einen ein Hotspot für Biodiversität, zum anderen erbringen sie wichtige Ökosystemleistungen wie Futterproduktion, Kohlenstoffsequestrierung, Erosionsregulierung oder Erholung. Insbesondere im Hinblick auf eine landwirtschaftliche Intensivierung und die zunehmend spürbaren Effekte des Klimawandels ist daher eine nachhaltige und zugleich effiziente Bewirtschaftung von Grünland von großer Bedeutung. Hierbei spielt das Düngemanagement eine wesentliche Rolle. Allerdings existieren dazu kaum verfügbare Daten, die für eine möglichst genaue Abschätzung von Auswirkungen des Grünlandmanagements auf Ökosystemleistungen verwendet werden können. Daher wird an dieser Stelle ein agentenbasiertes Modell vorgestellt, das das Düngemanagement für organischen und mineralischen N-Dünger auf Betriebsebene simuliert. Hierbei werden gesetzliche Einschränkungen berücksichtigt und u. a. die Auswirkungen der novellierten Düngeverordnung (DüV) untersucht.

Material und Methoden

Angewendet wird das Modell auf eine Fallstudienregion im Ammer-Einzugsgebiet im (vor-)alpinen Raum Bayerns und mit einem besonders hohen Grünlandanteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF) (Abb. 1). Insgesamt werden ca. 900 km² LF von etwa 3.200 Betrieben mit einer durchschnittlichen Betriebsgröße von 29 ha modelliert.

Als Datengrundlage dienen vornehmlich InVeKoS-Daten (StMELF, 2019). Diese beinhalten schlaggenaue Informationen zur Landnutzung, der Anwendung von Agrarumweltmaßnahmen (AUM) und betriebsbezogene Viehdaten. Das agentenbasierte Modell (ABM) wurde in NetLogo implementiert. Eingangs kann zwischen der alten (bis 2020) und der neuen (ab 2020) DüV gewählt werden und Grünland-Ertragsdaten können entweder aus einem externen Datensatz eingelesen oder intern (auf Basis von Daten aus LfL, 2018) berechnet und zudem mit einem Unsicherheitsfaktor versehen werden. Das ABM berechnet zunächst auf Grundlage der Viehdaten die auf Betriebsebene anfallende Menge an organischem N (N_{org}). Im Anschluss erfolgt die Düngebedarfsermittlung. Hierbei wird zwischen Acker- und Grünland unterschieden. Da Ackerland für die Untersuchung und auch flächenmäßig im Gebiet eine untergeordnete Rolle spielt, werden hierfür Pauschalwerte für dessen organische Düngung angenommen. Die Düngebedarfsermittlung im Grünland richtet sich nach dem Schema der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2018). Zur Abschätzung der Nutzungsintensitäten dienen zum einen ermittelte Schnitthäufigkeiten aus Fernerkundungsdaten für Schnittflächen zum anderen die Besatzstärke eines Betriebes für Weideflächen. Zudem gibt es die Möglichkeit eines Nährstoffhandels zwischen den Betrieben. Im Anschluss erfolgt die Verteilung des organischen N auf die einzelnen Flächen. Dabei werden Reglementierungen seitens

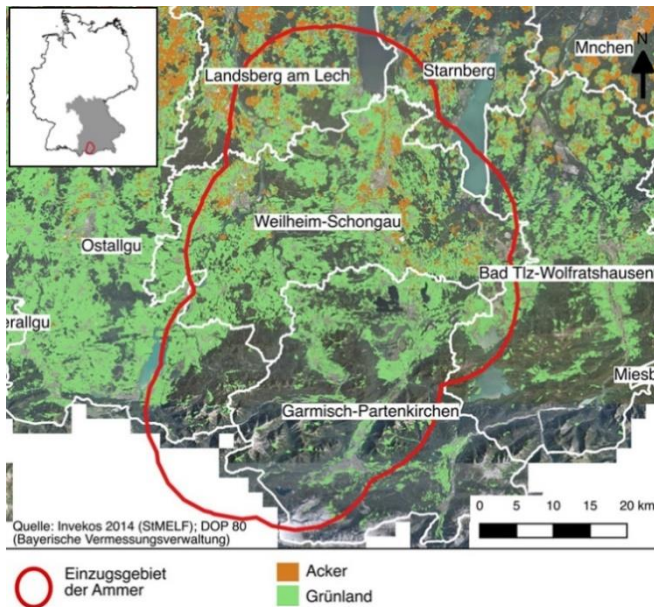


Abb. 1 Lage des Ammer-Einzugsgebiets und Landnutzungsverteilung.

im Grünland von 50 % und im Ackerland von 60 % beträgt der Gesamtbedarf 235 kg N_{org}/ha (alte DüV) bzw. 192 kg N_{org}/ha (neue DüV), d. h. eine rein organische Düngung wäre nicht möglich. Die räumliche Verteilung der Düngemengen zeigt eine intensivere Nutzung im Norden und eine extensivere Nutzung im alpinen Süden des Gebietes. Im Mittel erhielten gedüngte Grünlandflächen 117 kg N_{org}/ha . Insgesamt wird etwa ein Viertel der Grünlandflächen mineralisch ergänzend gedüngt. Unter Annahme der neuen DüV fällt die mineralische Ergänzungsdüngung etwas niedriger aus, da Ausbringverluste bei der organischen Düngung von der anrechenbaren Düngemenge nicht mehr abgezogen werden können. Insgesamt gibt es nur wenige Betriebe mit einem Nährstoffüberschuss, der über den Nährstoffhandel an andere Betriebe abgegeben werden kann (etwa 350 gaben Nährstoffe an 230 Betriebe ab). Hierbei muss erwähnt werden, dass in den Berechnungen ausschließlich Rinder berücksichtigt werden, vor allem im Süden der Region aber auch größere Mengen Schafe und Pferde gehalten werden. Diese wurden nicht berücksichtigt, da den Betrieben im ABM aus Gründen der Vereinfachung ein vollständiges Güllesystem unterstellt wird.

Neben der Untersuchung verschiedener Management-Szenarien (z. B. Änderungen in der DüV), kann das ABM mit anderen Modellen, z. B. zur Berechnung von Grünlanderträgen, Treibhausgasemissionen oder N-Auswaschung gekoppelt werden und damit zur Entwicklung geeigneter Maßnahmen für eine nachhaltige Grünlandbewirtschaftung beitragen.

Literatur

- StMELF (2019) Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKoS) Bayern.
Lfl (2018) Gelbes Heft – Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland.

der AUM und Wasserschutzgebiete sowie Ausbringverluste (DüV bis 2020) und Mindestwirksamkeiten berücksichtigt. Im Anschluss erfolgt auf ausgewählten Grünlandflächen eine mineralische Ergänzungsdüngung.

Ergebnisse und Diskussion

Die Modellberechnungen wurden für das Jahr 2019 vergleichend für beide DüV und mit einem Handelsradius von 30 km durchgeführt. Im Gesamtgebiet fallen etwa 100 kg N_{org}/ha gedüngte LF an und der Bedarf liegt bei ca. 98 kg N/ha. Unter Berücksichtigung von Ausbringverlusten (nur alte DüV) von 17,6 % und einer Mindestwirksamkeit der Rindergülle

Standortdifferenzierte Bewertung und Anrechnung von Nitrifikationsinhibitoren als Klimaschutzmaßnahme im Pflanzenbau (NitriKlim)

Lea Krug, Jan Rücknagel und Janna Macholdt

Professur für Allgemeinen Pflanzenbau/ ökologischen Landbau; Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg;
E-Mail: lea-johanna.krug@landw.uni-halle.de

Einleitung

Vor dem Hintergrund des anthropogenen Klimawandels und nationaler Klimaschutzverpflichtungen muss auch der Sektor Landwirtschaft wesentlich zur Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG) beitragen. Lachgasemissionen (N₂O-Emissionen) aus der Landwirtschaft sind für rund 80 % der gesamten N₂O-Emissionen in Deutschland verantwortlich (Rösemann et al. 2021). Eine wesentliche N₂O-Quelle in der Landwirtschaft ist der Einsatz von Stickstoffdüngern (Stehfest & Bouwman 2006). Die Minderung dieser Emissionen und die Verbesserung der Effizienz des Stickstoffeinsatzes sind daher notwendige Maßnahmen für das Einhalten des verbindlichen Emissionsreduktionsziels des Sektors Landwirtschaft. Hierfür werden Nitrifikationshemmstoffe als robuste und skalierbare THG-Reduktionsmaßnahme für den Pflanzenbau vorgeschlagen.

Ob diese aber auch eine effiziente, praxisgerechte und umweltschonende Maßnahme zur Verringerung düngungsinduzierter N₂O-Emissionen unter mitteleuropäischen Bedingungen sind, gilt es zu untersuchen. Die derzeitigen Studien über die Wirkung von Nitrifikationsinhibitoren auf die N₂O-Emissionen stammen überwiegend aus Versuchen über nur eine Vegetationsperiode, sodass weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich des Einflusses zur Reduzierung der annualen N₂O-Emissionen besteht. Weiterhin muss die Wirkung von Nitrifikationsinhibitoren auf die Stickstoffdynamik im Boden, die Nitratauswaschung sowie die Bewertung als Klimaschutzmaßnahme geprüft werden. Auch haben unterschiedliche Nitrifikationshemmstoffe unterschiedliche Wirkungen auf N₂O-Emissionen, sodass diese Wirkstoffe differenziert bewertet werden müssen.

Material und Methoden

Das Verbundprojekt NitriKlim umfasst ein deutschlandweites Netzwerk aus Feld- (7 Standorte) und Laborversuchen (4 Labore). An dem Versuchsstandort Cunnersdorf (Sachsen) werden über drei Jahre zwei Versuche angelegt. Der Versuch zu Klimaschutzwirkungen untersucht auf einer jährlich wechselnden Weizenversuchsfläche den Einsatz und die Wirkung von verschiedenen Nitrifikationsinhibitoren (NI) auf die annualen N₂O-Emissionen, die N_{min}-Dynamik, die Nitratauswaschung sowie Erträge und N-Effizienz. Die N₂O-Messungen erfolgen dabei mit der „closed-chamber“-Methode (Hutchinson & Mosier 1981). Geprüft werden verschiedene NI-Varianten mit mineralischer Düngung in vier Wiederholungen (Tabelle 1). Der zweite Versuch ist ein statischer Versuch mit der Fruchtfolge Silomais, Winterweizen, Wintergerste, der zum Vergleich der Wirkung und Wirkungsstabilität auf N-Dynamik und N-Effizienz verschiedener NIs bei mehrjähriger Anwendung dient.

Tab. 1: Übersicht der Prüfglieder im Versuch für Klimawirkungen, * Nitrifikationsinhibitoren (DCD, DMPP, MPA); +Ureaseinhibitor (2-NPT)

Prüfglied	Behandlung	Anzahl Düngerapplikationen
1.	Ungedüngte Kontrolle	0
2.	Ammonsulfatsalpeter (ASS)	3 (% 35, 35, 30)
3.	ASS	2 (% 50, 50)
4.	ASS + DMPP* (Entec)	2 (% 50, 50)
5.	ASS + DCD* (Ensin)	2 (% 50, 50)
6.	Harnstoff (HS)	3 (% 35, 35, 30)
7.	HS + 2-NPT ⁺ (Piagran Pro)	3 (% 35, 35, 30)
8.	HS+ MPA* + 2-NPT ⁺ (Alzon-Neo-N)	2 (% 50, 50)
9.	HS + 2-NPT ⁺ (Piagran Pro)	2 (% 50, 50)
10.	Ammoniumnitrat-Harnstofflösung (AHL)	3 (% 35, 35, 30)
11.	AHL + MPA*	2 (% 50, 50)
12.	Kalkammonsalpeter (KAS)	3 (% 35, 35, 30)

Ziele

Ziel des Verbundprojektes NitriKlim am Standort Cunnersdorf (Sachsen) ist die standortdifferenzierte Bewertung des Einsatzes von Nitrifikationsinhibitoren bei der Stickstoffdüngung als Klimaschutzmaßnahme. Es werden standortspezifisch die annuellen Effekte von Nitrifikationsinhibitoren auf die direkten N₂O-Emissionen, die Wirkung von NIs auf Kornertrag und Kornqualität sowie die Stickstoffnutzungseffizienz erfasst und bewertet. Des Weiteren wird die Wirkung von NIs auf die annuelle Nitratauswaschung untersucht.

Für die Bewertung als mögliche Klimaschutzmaßnahme und den Wissenstransfer in die Praxis werden die Ergebnisse der Wirkungen von Nitrifikationshemmstoffen aller Teilprojekte zusammengefasst, um mögliche Klimaschutzwirkungen in das Treibhausgasemissionsinventar Deutschlands zu integrieren.

Literatur

Hutchinson, G. L., and A. R. Mosier. "Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes." *Soil Science Society of America Journal* 45.2 (1981): 311-316.

Rösemann C, Haenel H-D, Vos C, Dämmgen U, Döring U, Wulf S, Eurich-Menden B, Freibauer A, Döhler H, Schreiner C, Osterburg B, Fuß R (2021) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2019 : Report on methods and data (RMD) Submission 2021. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 454 p, Thünen Rep 84, DOI:10.3220/REP1616572444000

Stehfest, E & Bouwman, L (2006): N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutr Cycl Agroecosyst* 74 (3), 207–228. DOI: 10.1007/s10705-006-9000-7.

Impact of site-specific nitrogen management on productivity, nitrogen use efficiency, and economic aspects in winter wheat

Heshmati, S.¹, Memic, E.¹, Hartung, J.² and Graeff-Hönninger, S¹

¹Department of Agronomy/ University of Hohenheim, Stuttgart; ²Department of Biostatistics/ University of Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: Sara.heshmati@uni-hohenheim.de

Introduction

Nitrogen (N) input is one of the most critical factors in maximizing yields and economic returns to farmers (Ren et al. 2022). Applying N fertilizer based on site-specific management zones that account for soil variability and productivity should provide the amounts of N that may increase yields and maximize the agronomic use efficiency of applied N and corresponding marginal net return (MNR) (Argento et al. 2021). In this study, four different site-specific nitrogen application strategies in winter wheat were evaluated.

Material and Method

The study was conducted on the Riech field at the Research Station Ihinger Hof of the University of Hohenheim, Southwestern Germany. Ihinger Hof (48.74°N, 8.93°E) is located 475 m above sea level, and the climatic conditions at the research station are characterized by a mean annual precipitation of 690 mm, and a mean temperature of 7.9 °C. The field was divided into 15 rows, each with eight units in total 120 units (each unit 12 m X 48 m). The evaluated strategies for calculating in-season plant N demand were: sensor-based (ISARIA), crop growth model (DSSAT), a combination of the sensor and crop growth model, and common N management practice by farmers in Southwestern Germany (www.duengung-bw.de). Strategies were randomized on rows according to a randomized complete block design. Afterward, in two out of eight units, the conventional methods were applied as the fourth strategy. Within the framework of precision agriculture, N fertilizer was applied as KAS (27 % N) at three different times (tillering BBCH 22-25, stem elongation BBCH 30-32, and booting BBCH 44-49), with the amounts based on the prescriptions of each evaluated strategy. At the end of the growing season, grain yield and protein content were determined for each unit. MNR was calculated by equation 1 for each unit as:

$$\text{MNR} = \text{Grain (kg)} * \text{Grain Price (€/kg)} - \text{N (kg)} * \text{N Price (€/kg)} \quad (1)$$

Data analysis was performed with SAS 9.4 statistical software, using a Mixed Model with Template Model Builder. Winter wheat grain yield, grain protein concentration and MNR were modeled as a response to the fixed effects for treatment and block. NUE was calculated as a slope of yield on the amount of applied N fertilizer. The row was included as random effects. Grain yield, protein concentration, NUE, and MNR means were compared using the LSD test at $\alpha = 0.05$ significance level after a significant F test. In addition, a test of equivalence was used to determine whether the strategies resulted in identical grain yield.

Results and discussion

The results showed no significant differences in grain yield ($p=0.85$), and protein concentration ($p=0.98$), between the four applied strategies. showed that site-specific

fertilization could reduce total N application without yield loss ($\Delta = 1.2$ ton), which is in line with the findings of Argento et al. (2021) and Stamatiadis et al. (2018). There was a significant difference in NUE ($p < .0001$) and MNR ($p = 0.0175$) between the four applied strategies.

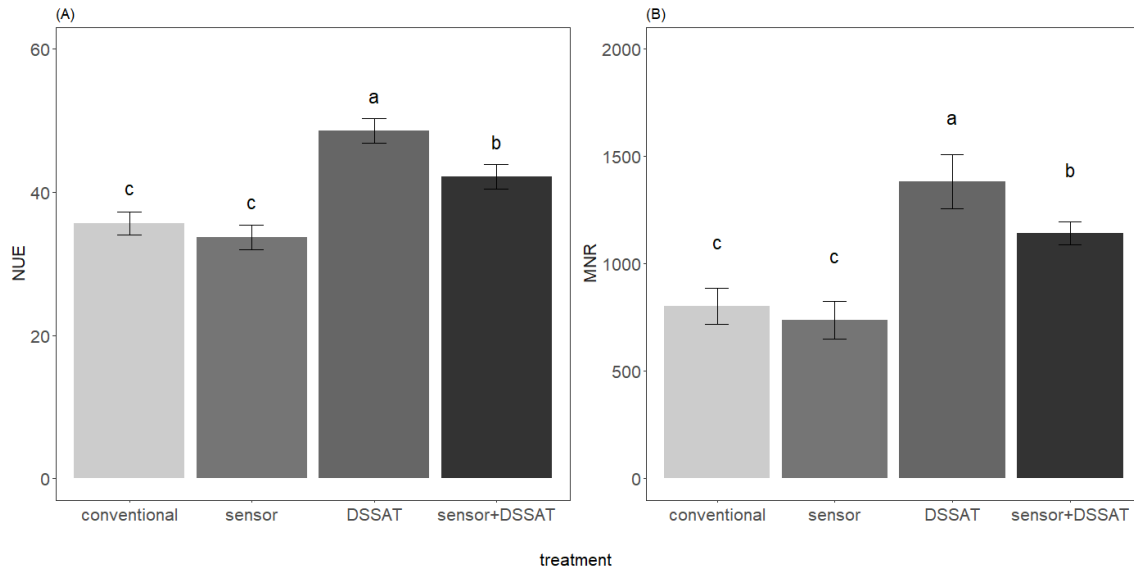


Fig1. Average (A) NUE and (B) MNR for each treatment.

The DSSAT model recommended the lowest amount of N fertilizer and resulted in a significantly higher MNR and MNR without significant penalties for grain yield and protein concentration compared to the other strategies. However, to decide on a suitable strategy for estimating in-season nitrogen requirements of winter wheat on a site-specific level, an economic evaluation of these strategies should be conducted based on current market grain and N fertilizer prices.

Acknowledgments

The 5G-PreCiSe project „5G-Umsetzungsförderung im Rahmen des 5G-Innovationsprogramms“ was funded by the Federal Ministry of digital and transport. Förderkennzeichen: 45FGU112_F.

References

1. Argento, F., Anken, T., Abt, F., Vogelsanger, E., Walter A., Liebisch, F. (2021) Site-specific nitrogen management in winter wheat supported by low-altitude remote sensing and soil data. *Precision Agric* 22, 364–386. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09733-3>
2. Ren, K., Xu, M., Li, R., Zheng, L., Liu, S., Reis, S., Wang, H., Lu, C., Zhang, W., Gao, H., Duan, Y., Gu, B. (2022) Optimizing nitrogen fertilizer use for more grain and less pollution. *Journal of Cleaner Production*, Volume 360, 13218.
3. Stamatiadis, S., Schepers, J. S., Evangelou, E., Tsadilas, C., Glampedakis, A., Glampedakis, M., et al. (2018). Variable-rate nitrogen fertilization of winter wheat under high spatial resolution. *Precision Agriculture*, 19(3), 570–587

Demonstrationsvorhaben „Multiparametrisches Monitoring von Nitratfrachten in der Landwirtschaft (MoNi)“ – Ergebnisse aus dem Testgebiet Ilmenau

Annett Gummert, Mona Dieser, Henrike Mielenz, Anne-Kathrin Otte, Steffen Zieseniß, Jörg-Michael Greef und Burkhard Stever-Schoo

Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig.
E-Mail: annett.gummert@julius-kuehn.de

Einleitung

Die Nitratrichtlinie der Europäischen Union (91/676/EWG) wie auch die deutsche Düngeverordnung zielen darauf ab, Verunreinigungen des Grund- und Oberflächenwassers durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen zu vermeiden und gute fachliche Praktiken in der Landwirtschaft zu fördern. Im Rahmen des Demonstrationsvorhabens „Multiparametrisches Monitoring von Nitratfrachten in der Landwirtschaft (MoNi)“ soll mit Hilfe von Frühindikatoren aufgezeigt werden, in welchem Umfang die Nitratfrachten aus der Landwirtschaft (Ackerbau, Tierhaltung, Gemüsebau) mit Hilfe der in der Düngegesetzgebung verankerten Maßnahmen reduziert werden können.

Weitere Informationen: <https://nitrat-boden.julius-kuehn.de>

Material und Methoden

Der Monitoringansatz kombiniert analytische (N_{\min}) und kalkulatorische Indikatoren (Stickstoff (N)-Salden), die aktuell in zwölf Testgebieten und auf insgesamt 96 landwirtschaftlichen Betrieben erhoben werden. Zu den getesteten Frühindikatoren gehören Stoffstrom-, Schlag- und Fruchtbilanzen, Frühjahrs-, Ernte- und Herbst- N_{\min} sowie Nitrattiefenprofile und Drainagemessungen (MIELENZ et al. 2021).

Das Testgebiet Ilmenau im Nordosten Niedersachsens ist eine intensive Ackerbauregion mit überwiegend sandigen, zum Teil sandig-lehmigen Böden mit 15 bis 65 Bodenpunkten. Viele Ackerflächen werden in der Vegetationsperiode drei bis fünf Mal beregnet.

Ergebnisse und Diskussion

Im Testgebiet Ilmenau gingen die N-Zufuhren in den vergangenen Jahren (2014 bis 2022) kontinuierlich zurück. Dies lässt sich insbesondere auf Einschränkungen bei der Herbstdüngung sowie der Düngung im Frühjahr zurückführen. Die verminderten Zufuhren bei im Mittel gleichbleibender Abfuhr führten zu sinkenden Bilanzüberschüssen. Insgesamt lagen sowohl die Schlag- als auch die Betriebsbilanzen im Durchschnitt aller Betriebe im moderaten Bereich bei etwa 40 kg N ha^{-1} .

Eine Besonderheit des Testgebietes Ilmenau ist der hohe Anteil an Kulturen, die im Herbst kritische N_{\min} -Werte im Boden hinterlassen (Kartoffeln, Mais). In Kombination mit den leichten Böden und z. T. auch der Beregnung besteht eine erhöhte Gefahr der N-Auswaschung bzw. von nitratbelastetem Sickerwasser.

Literatur

Mielenz, H., Dieser, M., Stock, O., Zieseniß, S., Kücke, M., Greef, J.-M. & B. Stever-Schoo, 2021: Abschlussbericht: Demonstrationsvorhaben „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“. Braunschweig, Deutschland: Julius Kühn-Institut. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut: 217

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Gefördert über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Förderkennzeichen 2820ABS001.

Demonstrationsvorhaben Multiparametrisches Monitoring von Nitratfrachten in der Landwirtschaft (MoNi) – Ergebnisse aus dem Testgebiet Wagrien (Schleswig-Holstein)

Anne-Kathrin Otte, Mona Dieser, Annett Gummert, Henrike Mielenz, Steffen Zieseniß, Jörg-Michael Greef und Burkhard Stever-Schoo

Julius Kühn-Institut (JKI) für Pflanzenbau und Bodenkunde – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Braunschweig. E-Mail: anne-kathrin.otte@julius-kuehn.de

Einleitung

Im Rahmen des Demonstrationsvorhabens sollen mit Hilfe von Frühindikatoren die Änderungen in der Nitratbelastung durch die Anpassung der Düngegesetzgebung dargestellt werden. Die Ergebnisse sollen für ein bundesweites Wirkungsmonitoring zur Düngeverordnung sowie für die Nitratberichterstattung gegenüber der europäischen Kommission genutzt werden. In diesem Zuge findet das Frühindikatorensystem auf Marktfrucht-, Futterbau und Veredlungsbetrieben Anwendung.

Material und Methoden

Der Monitoringansatz kombiniert analytische (N_{\min}) und kalkulatorische Indikatoren (N-Salden), die aktuell in 12 Testgebieten und auf insgesamt 96 landwirtschaftlichen Betrieben in Deutschland erhoben werden. Zu den Frühindikatoren gehören Hoftor-, Schlag- und Fruchtbilanzen, Frühjahrs-, Ernte- und Herbst- N_{\min} , Nitrattiefenprofile und Drainagemessungen (Mielenz et al. 2021).

Ergebnisse und Diskussion

Das Testgebiet Wagrien zeigt seit 2017 einen starken Rückgang der Bilanzüberschüsse bei konstantem Ertragsniveau. Hervorzuheben sind die positiven Auswirkungen der reduzierten Herbstdüngung sowie die bedarfsgerechte Düngeermittlung im Frühjahr. Die Ernte- N_{\min} -Werte unterliegen einer abfallenden Entwicklung, wobei die Herbst- N_{\min} -Werte im Mittel der Betriebe immer noch erhöht sind. Ursächlich hierfür ist die zum Teil immer noch angewandte (organische) Herbstdüngung sowie die häufige Anbaufolge Raps-Weizen. Zudem findet meist eine intensive Bodenbearbeitung statt, die auf den sehr fruchtbaren Böden zu einer erhöhten Mineralisation führt. Aufgrund der überwiegend lehmigen Unterböden und dem Stauwassereinfluss bekommt die Denitrifikation eine wichtige Bedeutung. Auf eher sandigem Unterboden konnten tendenziell höhere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser nachgewiesen werden, da diese ein größeres Verlagerungspotenzial und ein niedrigeres Denitrifikationspotenzial aufwiesen. Um die Auswaschung des Nitrats im Herbst weiter einzudämmen, müssen verschiedene Bewirtschaftungsmaßnahmen auch künftig kritisch geprüft werden. Hierzu zählen die Herbstdüngung von Wintergerste und Winterrapss mit organischen Düngemitteln, die Anpassung des Düngenniveaus im Frühjahr bei Winterweizen und Winterrapss an die tatsächlichen Erträge sowie die hohen Anteile an düngungsintensivem Winterrapss in der Fruchtfolge mit nachfolgendem Winterweizenanbau.

Literatur

Mielenz, H., Dieser, M., Stock, O., Zieseniß, S., Kücke, M., Greef, J.-M. & B. Stever-Schoo, 2021: Demonstrationsvorhaben „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“. Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde.

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Gefördert über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Förderkennzeichen 2820ABS001.

Untersuchung der N-Mineralisation aus Komposten im Ökolandbau mithilfe von Sensoren

Isabella Hohenester, Martin Strenner, Johann Ludwig, Kurt-Jürgen Hülsbergen
und Lucie Chmelíková

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme (TUM), Freising.
E-Mail: isabella.hohenester@tum.de

Einleitung

Im Ökolandbau stellt Stickstoff (N) bei Nicht-Leguminosen aufgrund des Verbots mineralischer N-Dünger (VO (EU) 2018/848) häufig den ertragslimitierenden Faktor dar (Berry et al. 2002). Insbesondere ökologische Marktfruchtbetriebe stehen vor der Herausforderung, ohne betriebseigene tierische Wirtschaftsdünger eine ausreichende N-Versorgung der Kulturpflanzen sicherzustellen. Ein möglicher Lösungsansatz könnte im Einsatz gütegesicherter Biogut- und Grüngutkomposte liegen. Bisher ist jedoch zur N-Dynamik nach der Ausbringung von Komposten unter den Bedingungen des Ökolandbaus nur wenig bekannt. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit mithilfe von Sensormessungen der zeitliche Verlauf der N-Mineralisierung aus verschiedenen Komposten und anderen organischen Düngern untersucht.

Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten in einem ökologisch bewirtschafteten Dauerfeldversuch in Viehhausen bei Freising (BY). Der 2017 angelegte Versuch umfasst neben der ungedüngten Null-Variante von jedem der in Tabelle 1 aufgeführten organischen Dünger eine Variante mit einer Ausbringmenge von 120 kg N/ha in jedem zweiten Jahr. Von den vier Komposten sowie von der Mikrobiellen Carbonisierung (MC) gibt es zudem jeweils eine Variante mit einer Ausbringmenge von 240 kg N/ha in jedem zweiten Jahr. Die letzte organische Düngung erfolgte im April 2021. In den Jahren 2021, 2022 und 2023 wurden bei den Versuchskulturen Mais, Soja bzw. Winterroggen während der Vegetationsperiode regelmäßig Sensormessungen mit einem handgetragenen Spektrometer durchgeführt. Aus der Reflexion des Pflanzenbestands wurden anschließend die Vegetationsindices REIP und NDVI berechnet. Zur Ernte wurden jeweils die Kornerträge mithilfe eines Parzellenmähdreschers ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

2021 zeigten die Sensormessungen an der Versuchskultur Mais z.T. deutliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf der N_{\min} -Freisetzung aus den organischen Düngern. Zu Beginn der Vegetationsperiode am 11.6.2021 legten die vergleichsweise hohen REIP-Werte in den Varianten 2.BGf, 2.GGf und GR (Tabelle 1) nahe, dass die frischen Komposte sowie der abgepresste Gärrest unmittelbar nach der Ausbringung die N-Versorgung der Pflanzen verbesserten. Am 7.7.2021 deuteten dann jedoch die in der Variante 2.GGf (722,1 nm) auch im Vergleich zur Null-Variante (723,1 nm) relativ niedrigen REIP-Werte darauf hin, dass der frische Grüngutkompost im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode N immobilisiert hat. Dem gegenüber wiesen am 7.7.2021 die vergleichsweise hohen REIP-Werte in den Varianten 2.BGr (724,5 nm) und 2.MC (724,4 nm) auf eine nennenswerte N_{\min} -Freisetzung aus dem reifen Biogutkompost und der Mikrobiellen Carbonisierung hin.

Das spiegelte sich schließlich auch in den Kornerträgen wider, welche im Mittel in der Variante 2.MC mit 113,2 dt/ha am höchsten, in der Variante 2.GGf mit 81,5 dt/ha am niedrigsten ausfielen. Als mögliche Ursachen für derartige Unterschiede zwischen den organischen Düngern hinsichtlich ihrer N-Düngewirkung sind u.a. deren NH_4^+ -N-Gehalt, C/N-Verhältnis und Abbaustabilität sowie bei Komposten deren Reifegrad zu nennen (Amlinger et al. 2003, Gutser et al. 2005). Abgesehen vom abgepressten Gärrest waren die beschriebenen Unterschiede zwischen den Düngern aber nur bei der Aufwandmenge von 120 kg N/ha*a deutlich zu erkennen, nicht jedoch bei der Aufwandmenge von 60 kg N/ha*a.

Tab. 1: REIP-Werte und Kornertrag von Mais in ausgewählten Düngevarianten 2021. Varianten mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

Variante	Dünger		Dünger-C/N (2021)	kg Dünger-N/ha*a	REIP [nm] 11.6.2021	REIP [nm] 7.7.2021	Kornertrag 2021 (86% TM) [dt/ha]
Null	-		-	-	714,3 ± 0,3 ^d	723,1 ± 0,9 ^{ab}	87,5 ± 7,4
2.BGf	Biogut-kompost	frisch	16,7	120	715,8 ± 0,2 ^{abc}	723,2 ± 0,2 ^{ab}	101,2 ± 14,4
2.BGr		reif	12,5	120	715,0 ± 0,3 ^{abcd}	724,5 ± 0,6 ^a	100,2 ± 4,4
2.GGf	Grüngut-kompost	frisch	18,5	120	715,9 ± 0,3 ^{ab}	722,1 ± 0,3 ^b	81,5 ± 16,2
2.GGr		reif	15,7	120	715,2 ± 0,8 ^{abcd}	723,3 ± 0,3 ^{ab}	98,4 ± 14,6
2.MC	Mikrobielle Carbonisierung		12,3	120	714,9 ± 0,3 ^{bcd}	724,4 ± 0,3 ^a	113,2 ± 10,2
GR	abgepresster Gärrest		26,5	60	716,0 ± 0,2 ^a	723,5 ± 0,4 ^{ab}	97,2 ± 17,7
StM	kompostierter Stallmist		17,9	60	714,9 ± 0,5 ^{abcd}	723,1 ± 0,5 ^{ab}	106,1 ± 11,3

Bei der 2022 angebauten Kultur Soja zeigten sich weder bei den Vegetationsindices noch bei den Ernteerträgen eindeutige Unterschiede zwischen den Düngevarianten. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Sojapflanzen als Leguminosen ihre symbiontische N_2 -Fixierung an die N_{min} -Verfügbarkeit im Boden anpassen können (Salvagiotti et al. 2009). Damit werden etwaige Unterschiede in der N_{min} -Freisetzung der verschiedenen organischen Dünger ausgeglichen. Im Jahr 2023 zeigten die Vegetationsindices wieder eine z.T. signifikante Düngewirkung der eingesetzten organischen Dünger. Die NDVIs der Varianten mit 120 kg N/ha*a Kompost bzw. MC lagen am 4.5.2023 (BBCH 37) und 5.6.2023 (BBCH 65) mit durchschnittlich 0,89 bzw. 0,79 auf ähnlichem Niveau wie die NDVIs der Varianten mit 60 kg N/ha*a kompostiertem Stallmist (0,88 bzw. 0,78) bzw. abgepresstem Gärrest (0,91 bzw. 0,81) und damit signifikant höher als in der Null-Variante (0,85 bzw. 0,75). Unterschiede zwischen den Kompostarten wie im Jahr 2021 waren 2023 jedoch nicht feststellbar.

Literatur

- Amlinger, F.; Peyr, S.; Dreher, P. (2003): Kenntnisstand zur Frage des Stickstoffaustrags in Kompost-Düngesystemen. Hg. v. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich.
- Berry, P. M.; Sylvester-Bradley, R.; Philipps, L.; Hatch, D. J.; Cuttle, S. P.; Rayns, F. W.; Gosling, P. (2002): Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? In: Soil Use and Management 18, S. 248–255. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2002.tb00266.x.
- Gutser, R.; Ebertseder, T.; Weber, A.; Schraml, M.; Schmidhalter, U. (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168 (4), S. 439–446. DOI: 10.1002/jpln.200520510.
- Salvagiotti, Fernando; Specht, James E.; Cassman, Kenneth G.; Walters, Daniel T.; Weiss, Albert; Dobermann, Achim (2009): Growth and Nitrogen Fixation in High-Yielding Soybean: Impact of Nitrogen Fertilization. In: Agronomy Journal 101 (4), S. 958–970. DOI: 10.2134/agronj2008.0173x.

Die Untersuchung von N-Effizienz in Silomais unter Zuhilfenahme von Chlorophyllwerten

^{1,2}Felix Schwarz, ^{1,3}Manfred Kayser, ⁴Antje Herrmann, ^{1,2}Johannes Isselstein und ¹Martin Komainda

¹Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Graslandwissenschaft (Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen), ²Zentrum für Biodiversität und Nachhaltige Landnutzung (Büsgenweg 1, 37077 Göttingen), ³Universität Vechta (Driverstraße 22, 49377 Vechta), ⁴Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Landwirtschaftszentrum Eichhof (Schlossstraße 1, 36251 Bad Hersfeld)

Einleitung

Um weitergehende N-Verluste in die Umwelt im Silomaisanbau (*Zea mays* L.) einzudämmen und die Effizienz der N-Ausnutzung zu verbessern, kann es von Interesse sein, später abreifende Silomaisorten zu kultivieren, deren vegetative Entwicklungsphase länger andauert, wodurch sich die Stickstoffaufnahme aus dem Boden erhöht. Die potentiell resultierende N-Einsparmöglichkeit hängt von der örtlichen N-Nachlieferung ab. Die aktuelle Studie betrachtet die Ergebnisse eines zweijährigen N-Steigerungsversuches mit drei Silomaishybriden an zwei Standorten (Nord- und Mitteldeutschland) mit stark variierender N-Nachlieferung aus dem Boden. Untersucht wird der Zusammenhang von Chlorophyll Messungen (SPAD, Konica Minolta) und der N-Effizienz, um eine Einschätzung zur Informationsgüte von SPAD-Werten hinsichtlich N-Effizienz zu erhalten.

Material und Methoden

Die Feldversuche wurden in den Jahren 2021 und 2022 in Mittel- und Norddeutschland durchgeführt. Der erste Versuchsstandort befindet sich auf einem Gley-Podsol in der Nähe von Oldenburg (53°17'33"N, 8°13'26"E). Das Klima ist ozeanisch geprägt mit einem mittleren jährlichen Niederschlag von 740 mm und einer mittleren Jahrestemperatur von 9.5°C (1992-2021). Der zweite Versuchsstandort befindet sich in der Nähe von Bad Hersfeld (50°49'44"N 9°39'03"E). Das Klima hier ist feuchtgemäßigt mit einem mittleren jährlichen Niederschlag von 704 mm und einer mittleren Temperatur von 9.5°C. Der aktuellen Studie liegt ein 2-faktorieller Versuch (N-Rate x Sorte) in einer randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen zugrunde (6 x 9 m Parzellen). Die N-Düngung wurde mineralisch in Form von KAS in sechs Stufen (N0-N300) vor der Saat appliziert und eingearbeitet. Es wurden drei Maissorten unterschiedlicher Reifegruppen geprüft (AMANOVA S210, KWS Gunnario S250, DS1892B S260). Für die Ergebnisdarstellung wurden die oberirdische Biomassebildung und die ermittelten SPAD-Werte als Datengrundlage verwendet. Die oberirdische Biomasse wurde manuell zur Teigreife festgestellt. Die Pflanzen wurden frisch gewogen, in Fraktionen separiert (Blatt, Stengel, Kolben, Liesche, Fahne und tote Blätter) und anschließend für 48 Stunden bei 60°C getrocknet sowie verwogen, um das Trockengewicht zu ermitteln. Die SPAD-(Chlorophyll)-Gehalte wurden händisch mit einem SPAD-502 Chlorophyll Meter (Konica Minolta Optics) an einem Blatt je Maispflanze, an insgesamt drei Maispflanzen je Parzelle, im oberen Drittel der Maispflanzen im Bestand ermittelt. Um ein vertikales Profil der Chlorophyllwerte im Bestand zu erstellen, wurden zusätzlich an jeder Pflanze drei Blätter gemessen: das bodennächste, grüne Blatt (Etage 1), eines der größten Blätter mittig an der Pflanze (2) und das höchste, vollentwickelte Blatt (3). Für die vorliegende Studie wurden die

TM-Ertrags-N-Effizienz (kg TM-Ertrag/kg N Düngung) und die SPAD-Werte zur Ernte herangezogen. Die statistische Analyse der vorliegenden Daten erfolgte mit R Studio Version 4.2.3. Als fixe Faktoren zur Verrechnung der N-Effizienz gingen die Orte, Jahre, Sorten, Düngungsstufen und deren Wechselwirkung ein. Als Zufallseffekt wurde der Block modelliert. Für SPAD-Werte wurde zusätzlich die Blattetage als Effekt herangezogen. Mittels Pearsons Korrelationsanalyse zwischen SPAD-Werten und N-Effizienz zur Ernte wird die Informationsgüte von SPAD-Werten bewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Das Jahr 2022 war im Vergleich zum langjährigen Mittelwert über beide Standorte hinweg trockener, während die Niederschläge im Jahr 2021 über dem Mittel lagen. Bei beiden Standorten konnte eine signifikante Wechselwirkung von Blattetage x Sorte bei den Chlorophyllwerten zur Teigreife festgestellt werden. Während sich die Werte der Blattetagen 1 und 3 nicht signifikant voneinander unterschieden, wurden in Blattetage 2 durchweg signifikant höhere Chlorophyllwerte gemessen (nicht gezeigt). Bei der Düngung mit 60 kg N/ha wurde die größte Effizienz erreicht. Es zeigte sich keine klare Reaktion der SPAD-Werte auf die N-Düngung (Abb. 1) oder die Sorte (nicht gezeigt). Die Korrelation zwischen SPAD und N-Effizienz war allerdings in jeder Düngungsstufe signifikant (Abb. 1). Folglich könnten größere SPAD-Werte eine höhere N-Effizienz zur Maisernte nachbilden. Die Güte einer potentiellen Vorhersage bedarf noch weitergehender Untersuchungen.

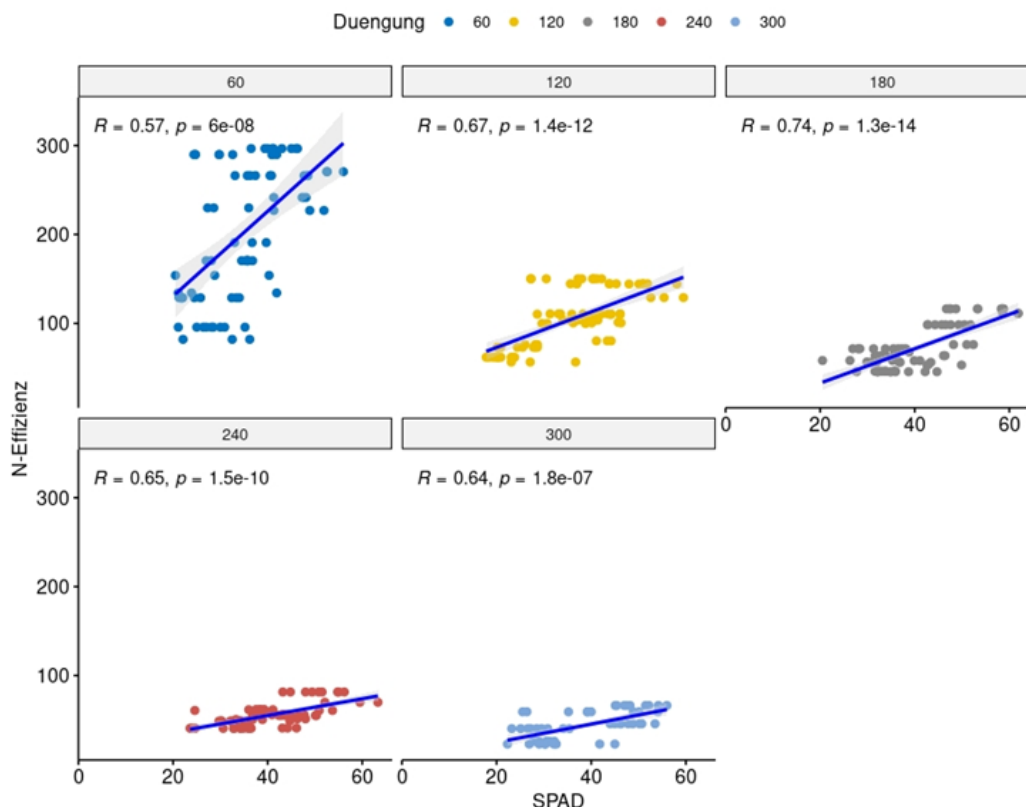


Abb 1: Korrelation zwischen N-Effizienz (kg TM-Ertrag/kg N-Düngung) und SPAD-Werten gemittelt über beide Standorte und Jahre zur Teigreife der mittelfrühen Sorte KWS Gunnario im Versuchsjahr 2022 (Düngestufen: N60 – N300).

Das Projekt wird dankenswerterweise durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert (FKZ 2220NR112B).

Control of quality formation of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) by subsurface drip fertigation

Zahir Shah Safari, Martin Mungai Mburu, Ana Callau-Beyer, Caspar-Friedrich Weßler and Hartmut Stützel

Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover, Hannover;
E-Mail: Safari@gem.uni-hannover.de

Introduction

The external quality of cauliflower is largely dependent on the size of its leaves, which affects the head size through photosynthesis, as well as the white coloring of the head through shading. Insufficient nitrogen supply negatively impacts leaf expansion and thereby leaf size. Therefore, recommended nitrogen fertilization target values in practical cultivation sometimes exceed 300 kg/ha (Feller et al., 2011).

The application of nitrogen fertilizers faces challenges under specific weather conditions. In highly humid weather, there is a risk of nitrogen being leached, thereby failing to reach the plant roots effectively. During dry conditions, the availability of nitrogen to plant roots can be reduced. To address this issue, intensive plant cultivation requires technologies that can deliver plant nutrients in small doses directly to the root system as needed. One such technology involves using drip irrigation hoses placed 20-40 cm below the soil surface in the root zone of the plants. This technique, known as subsurface drip fertigation (SDF), enables the precise application of nutrients and water directly to the crop's root zone, optimizing water and nutrient delivery based on crop demand. By combining the application of nutrients and water, SDF can reduce drought and nutrient stresses and optimize yield (Barakat et al., 2016).

Consumers prefer cauliflowers that are light white in color, low in alkenyl and indole glucosinolates, and high in sugar (Schonhof et al., 2004). With regard to the external quality, this primarily affects the head size and color, which, as mentioned above, are closely related to the leaf expansion. So, it is conceivable to keep the nitrogen supply at a high level during the leaf growth phase and then lower it during the head formation phase. It is also known that many internal quality characteristics can be influenced by the nutrient supply. For example, the concentration and composition of the flavoring glucosinolates depend on the ratio of the nutrient element's nitrogen and sulphur (Neugart et al., 2018). A corresponding adjustment of the N:S ratio in the head formation phase would presumably result in an ingredient profile corresponding to the consumer's wishes. An increase in the sugar content through a reduced N or increased K supply is also conceivable. Research suggests that a quality cauliflower with high sweetness was achieved when plants were fertilized with nitrogen levels ranging from 200 to 300 kg N ha⁻¹ (Singh et al., 2022). The objective of this research project is to analyze the effects of development phase-related variations in nutrient supply on the curd sweetness and glucosinolates of cauliflower. Therefore, this study was conducted to determine the effects of nitrogen levels during the vegetative and curd formation phases of cauliflower growth on curd quality.

Materials and Methods

An experiment was conducted between March and May 2023 in a greenhouse facility of Leibniz University Hannover in Germany to assess the plant growth behavior of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) under different nitrogen amounts and

distribution patterns using SDF. The experiment was set up in a randomized complete block design, and nitrogen was applied in four different distribution ratios during the leaf growth and head formation phases: 75:25%, 50:50%, 50:25%, and 25:50% of a target amount of 286 kg/ha (100%). The SDF system was placed at a depth of 25 cm in containers with dimensions of 120*100*76 cm³ filled with sand. Seedlings were transplanted 4 weeks after sowing at the 3-leaf stage. After transplanting, plant height, number of leaves, chlorophyll content, SPAD value and days of curd initiation were monitored on a weekly basis. Additionally, sugar content, fresh and dry weight of stems, heads, leaves, and nitrogen content were evaluated after harvest.

Results and Discussion

The treatment with 75% applied during leaf growth and 25% during curd growth exhibited higher sugar content, stem dry weight, leaf fresh weight, leaf dry weight, and later curd initiation. Conversely, the treatment with the 25:50% distribution showed lower sugar content, stem dry weight, leaf fresh weight, leaf dry weight, and earlier curd initiation. Moreover, no statistically significant difference was observed among the treatments concerning pH, stem fresh weight, curd fresh weight, and leaf area.

Literature

- Barakat, M., Cheviron, B., & Angulo-Jaramillo, R. (2016). Influence of the irrigation technique and strategies on the nitrogen cycle and budget: A review. *Agricultural Water Management*, 178, 225-238.
- Fink, M., & Feller, C. (2001). *Düngung im Freilandgemüsebau (Vol. 4)*. Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren.
- Gangwar, M., Gupta, S., Yadav, K. S., Sharma, S., & Singh, V. P. (2022). Factors affecting production of cauliflower: a review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 2425-2431.
- Neugart, S., Baldermann, S., Hanschen, F. S., Klopsch, R., Wiesner-Reinhold, M., & Schreiner, M. (2018). The intrinsic quality of brassicaceous vegetables: How secondary plant metabolites are affected by genetic, environmental, and agronomic factors. *Scientia Horticulturae*, 233, 460-478.
- Schonhof, I., Krumbein, A., & Brückner, B. (2004). Genotypic effects on glucosinolates and sensory properties of broccoli and cauliflower. *Food/Nahrung*, 48, 25-33.
- Zemek, O., Neuweiler, R., Spiess, E., Stüssi, M., & Richner, W. (2020). Nitratauswaschungspotenzial im Freilandgemüsebau - eine Literaturstudie. Agroscope, Reckenholz, CH (<https://doi.org/10.34776/as95g>).

Einfluss von inhibiertem Ammoniumsulfat-Harnstoff auf die Stickstoffnutzungseffizienz sowie Lachgasemissionen am Standort Merbitz

Henning Pamperin, Jan Rücknagel und Janna Macholdt

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Allgemeiner Pflanzenbau / Ökologischer Landbau, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale).
E-Mail: Henning.Pamperin@landw.uni-halle.de

Einleitung

Unzureichende Frühjahrsniederschläge in den ertragswirksamen Monaten und eine damit einhergehende frühere beginnende Vorsommertrockenheit erfordern eine angepasste und effiziente Stickstoffdüngungsstrategie. Eine mögliche Option ist der Einsatz von Inhibitoren, welche eine veränderte Düngergabenteilung ermöglichen und somit zu einer höheren Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) und zur Reduktion der gas-förmigen Stickstoffverluste beitragen könnten.

In einem dreijährigen Fruchtfolgeversuch (Silomais-Winterweizen-Wintergerste) sollen unter den Bedingungen des Mitteldeutschen Trockengebietes das Treibhausgas-einsparungspotenzial von urease- und nitrifikationsinhibiertem Ammoniumsulfat-Harnstoff im Vergleich zum nicht inhibierten Ammoniumsulfat-Harnstoff sowie einer ungedüngten Variante verglichen werden.

Material und Methoden

Der im Süden von Sachsen-Anhalt liegende Feldversuchsstandort Merbitz (Bodentyp Tschernosem, Bodenart Ut4 stark toniger Schluff) ist mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,5°C und einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 470 mm charakterisiert. Im Versuchszeitraum von 2021 bis 2023 steht jährlich eine Kultur in den vierfach wiederholten und randomisierten Großparzellen im Fokus der Lachgasemissionsmessung (N₂O). Mit Hilfe der Closed-Chamber-Methode (HUTCHINSON und MOSIER, 1981) werden die N₂O-Emissionen einmal wöchentlich gemessen. Eine ereignisbezogene Erhöhung auf zwei Messungen pro Woche erfolgt während der Düngungsperiode sowie unmittelbar nach Starkniederschlagsereignissen, Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Frost/Tau Zyklen. Weiterhin werden parallel zu jeder N₂O-Messung N_{min}-Gehalte (0-30cm) sowie Bodenfeuchten ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Die geringen Ertragsunterschiede der drei Düngungsvarianten gegenüber der ungedüngten Kontrolle im Silomais resultierten im Wesentlichen aus dem niederschlagsreichen und wüchsigen Frühjahr 2021. Folglich bewegten sich die Maiserträge auf einem sehr hohen und ähnlichen Niveau (Abb. 2 A und 2 B). Mit lediglich 0,18 kg N₂O-N/ha emittierte die nicht inhibierten Ammoniumsulfat-Harnstoff (AS-HS) Variante in dem Zeitraum Aussaat bis Ernte (146 Tage) die höchsten kumulativen N₂O Emissionen, dicht gefolgt von der ureaseinhibierten Variante (Abb. 1 A). Der in einer Einmalgabe applizierte doppelt inhibierte AS-HS (120 kg N/ha) im Silomais zeigte das niedrigste Emissionsverlustpotenzial. Dagegen zeigte 2022 für den Zeitraum Aussaat bis Ernte (264 Tage) der mit einem Ureaseinhibitor behaftete AS-HS im Winterweizen mit 0,16 kg N₂O-N/ha die höchsten kumulativen N₂O Emissionen im Vergleich zum doppelt inhibierten AS-HS und dem nicht inhibierten AS-HS (Abb. 1 B).

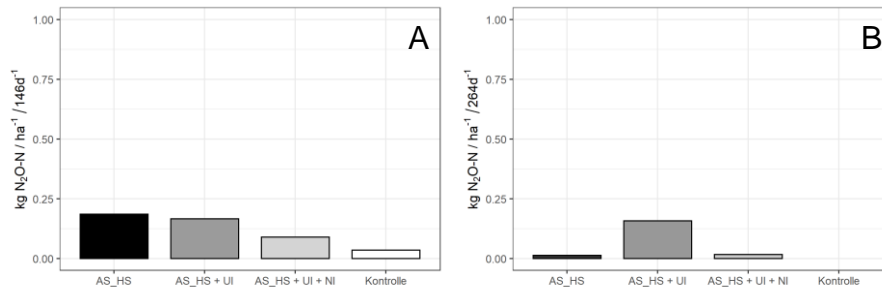


Abb.1: Kumulierte N₂O-Emissionen (kg N₂O-N/ha) der vier Düngungsvarianten im (A) Silomais 2021 und (B) Winterweizen 2022 für den Zeitraum Aussaat bis Ernte am Versuchsstandort Merbitz.

Aufgrund des warmen und niederschlagsarmen Frühjahres 2022 kam es im Winterweizen zu einem stärkeren Ertragsabfall der ungedüngten Kontrolle gegenüber den gedüngten Varianten (Abb. 2 C). Auch die weiteren Untersuchungsparameter (Abb. 2 D bis 2 F) befanden sich in allen drei AS-HS-Varianten auf einem sehr ähnlichen Niveau.

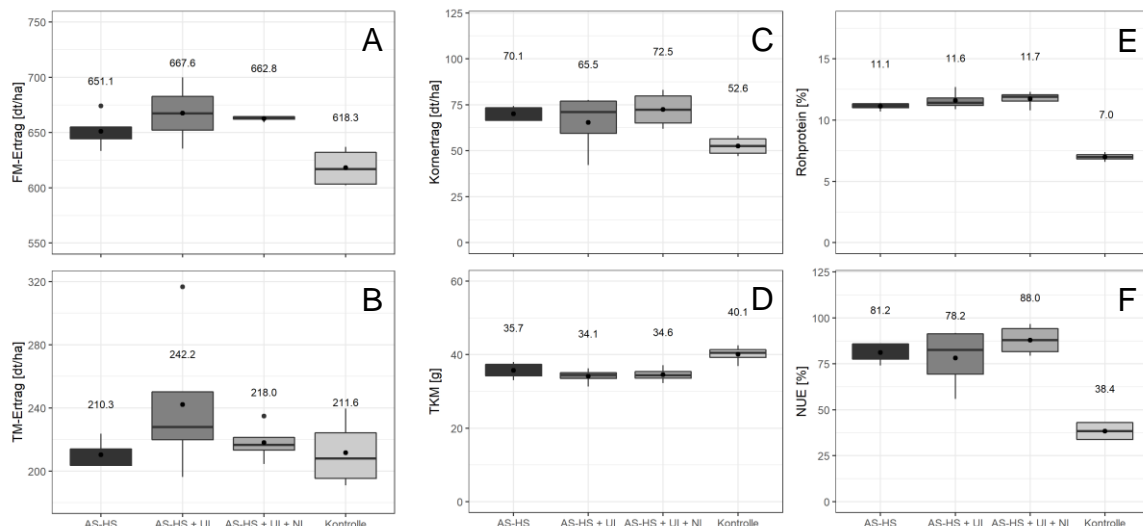


Abb. 2: (A) Frischmasse- (FM) & (B) Trockenmasseertrag (TM) im Silomais 2021 sowie (C) Kornertrag, (D) Tausendkornmasse (TKM), (E) Rohprotein & (F) Stickstoffnutzungseffizient (NUE) der vier Düngungsvarianten am Versuchsstandort Merbitz.

Die zweifache Inhibierung des Ammoniumsulfat-Harnstoffes (AS-HS + UI + NI) tendierte in den beiden Jahren zum höchsten N₂O-Einsparungspotenzial bei geringen Ertragsunterschieden im Vergleich zu den anderen beiden Düngungsvarianten. Generell bewegten sich die Düngungsvarianten bezogen auf die N₂O-Emissionen jedoch in den zwei Versuchsjahren auf einem sehr ähnlichen und niedrigen Niveau, was zum einen auf das niedrige Emissionsverlustpotenziales, aufgrund der hohen Kationenaustauschkapazität, des Versuchsstandortes und der Trockenheit zurückzuführen ist. Das Zusammenlegen von Stickstoff (N)-Teilgabemengen bzw. eine komplette N-Einmalgabe ist eine mögliche Applikationsoption im Mitteldeutschen Trockengebiet.

Literatur

HUTCHINSON, G.L. und MOSIER, A.R., 1981: Improved Soil Cover Method for Field Measurement of Nitrous Oxide Fluxes, Soil Science Society of America Journal. 45, 2, 311-316

Welcher Teil eines Eissalates (*Lactuca sativa* var. *capitata*) eignet sich für sensorische Nitratbestimmung?

T. Zimmermann¹, A. Mayr¹, M. Eichlseder² und J. Pfenning¹

¹Universität Hohenheim, Fg. Pflanzenbau, Stuttgart; ²Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Aying. E-Mail: judit.pfenning@uni-hohenheim.de

Einleitung

Stickstoff (N) in Form von Nitrat ist wichtig für Wachstum und Entwicklung von Pflanzen und ertragslimitierend. Faktoren, wie die Einstrahlungsintensität- und -dauer, beeinflussen die Umwandlung von Nitrat über Nitrit zu Aminosäuren im Pflanzenstoffwechsel. Nitrat kann unter ungünstigen Bedingungen in Pflanzen gespeichert werden, weshalb in der Praxis, wie bei Eissalat, eine Vorerntebeprobung gesetzlich vorgegeben sind mit dem aktuellen Grenzwert von derzeit 2000 mg Nitrat kg⁻¹ Frischmasse (Verordnung (EU) 2023/915).

Im Projekt DiWenkLa (Digitale Wertschöpfungskette für eine nachhaltige kleinstrukturierte Landwirtschaft) werden seit 2020 Möglichkeiten und Bedingungen für einen Einsatz digitaler Technologien in kleinstrukturierten Betrieben erforscht. Dazu untersucht Teilprojekt 8 „Gemüsebau“ u.a. den Einsatz von optischen Sensoren als non-destruktive Vorerntemaßnahme, um den Gehalt von Nitrat in Eissalat bestimmen zu können (DiWenkLa, 2020).

Für eine zuverlässige sensorische Bestimmung des Nitratgehaltes in Eissalat, ist Kenntnis über Unterschiede der Nitratkonzentration innerhalb der Pflanze Voraussetzung. Nachfolgend kann, je nach Messverfahren, der optimale Pflanzenteil für die sensorische Messung gewählt werden und nachfolgend geprüft werden, ob der Sensormesswert mit den Nitratgehalten korreliert. Für den Anbauer und Handel ist eine nicht-destruktive Messung von Vorteil, um Erntegut in der Vorerntebeprobung zuverlässig beurteilen zu können. Im Feldanbau wurden optische Sensoren wie SPADmeter und das ISARIA-System der Firma Fritzmeier Umwelttechnik getestet.

Material und Methoden

Die Eissalatversuchsfläche befand sich auf den Fildern in Filderstadt-Sielmingen (Stuttgart) (48°39'51,6" N; 9°15'15,5" O) und war als Streifenanlage mit sechs Wiederholungen, zwei Sorten (‘Jasperinas’, ‘Feddenas’) und vier Düngungsstufen (100, 150, 200, 250 kg N ha⁻¹) in Parzellen von 2,5 m Breite*4 m Länge angelegt. Die Eissalate wurden am 26.04.2022 gepflanzt und am 20.06.2022 marktreif geerntet. Die Kulturführung erfolgte praxisüblich durch den Gemüsebetrieb Bayha (Filderstadt-Sielmingen).

Für diese Fragestellung wurden vier Pflanzen je Versuchsparzelle mit der Düngestufe 150 kg N/ha verwendet. Die Pflanzen wurden folgendermaßen beprobt:

- Vor Erntebeginn:
 - Messung mit ISARIA-Handsensoren (oberflächliche Reflexion)
- Nach der Ernte:
 - SPADmeter-Messung am Umblatt
 - Frischmasse mit und ohne Umblatt
 - Teilprobenentnahme aus
 - ganzem Kopf vs. 2*~1/8 gegenüberliegender Nord- und Süd-hälfte („Kuchenstück“)
 - unterteilt in drei horizontale Schichten von jeweils 1 cm

- „Kuchenstück“ mit und ohne Umblatt
- oberste zwei Blattschichten des Salatkopfes

Die Teilproben wurden in flüssig N₂ eingefroren, gefriergetrocknet und gemahlen. Der Nitratgehalt wurde nach Heißwasserextraktion mittels Flow-Injection-Analyzer (FIA) gemessen worden.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse des Nitratgehalts in den Pflanzteilen unterschieden sich nicht signifikant. Es gilt allerdings die Aussage für Gemüse, dass der Stiel, die Blattrippen und die äußeren Blätter höhere Nitratgehalte als die Wurzel oder innenliegende Blätter enthalten können (Bauhofer, 2018). Somit zeigen diese Ergebnisse, dass jedes Pflanzenteil eines Eissalatkopfes gleich gut geeignet für eine Nitraterfassung ist. Demzufolge kann die Messung mit einem optischen Sensor am jeweiligen Pflanzteil den Nitratgehalt im Eissalat wiedergeben.

Die Korrelation der Nitratgehalte gegen die Messwerte der Sensoren weist für das SPADmeter einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,29$ und für den ISARIA-Sensor (IRMI-Wert) einen Wert von $r = 0,45$ auf. Damit wies der ISARIA eine bessere Übereinstimmung in der Prognose des Nitratgehaltes von Eissalatköpfen auf. Das ISARIA-System hat den Vorteil, dass dieses bereits in der praktischen Anwendung für Ackerbaukulturen etabliert ist und somit für eine Nutzung im Eissalatanbau verfügbar wäre. Allerdings müssen diese Werte durch weitere Versuche und einem größeren Datensatz verifiziert werden.

Literatur

DiWenkLa (2020). <https://diwenkla.uni-hohenheim.de/startseite>, 26.06.2023

Bauhofer, Gunde (2018): Verbraucherzentrale Südtirol - Centro Tutela dei Consumatori Utenti. Nitrat - Nitrit - Nitrosamine. <https://www.consumer.bz.it/de/nitrat-nitrit-nitrosamine>, 21.04.2022

Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co. KG (2022). <https://isaria-digitalfarming.com/> 26.06.2023

Verordnung (EU) 2023/915 der Kommission vom 25. April 2023 über Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 (Text von Bedeutung für den EWR), Stand 26.6.2023

Standortdifferenzierte Bewertung von Nitrifikationsinhibitoren als Klimaschutzmaßnahme im Pflanzenbau (NitriKlim)

Riecke Finck¹, Gunda Schulte auf'm Erley² und Henning Kage¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel; ²Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig.
E-Mail: finck@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Der Sektor Landwirtschaft, darunter vor allem der Einsatz von N-Düngern, trägt mit rund 80 % der gesamten Lachgasemissionen in Deutschland erheblich zu dessen Freisetzung bei. Sowohl mit Blick auf die Umweltbelastung als auch aus ökonomischer Sicht sind eine hohe N-Effizienz und eine Reduktion der N-Verluste im Pflanzenbau anzustreben. Nitrifikationsinhibitoren verfügen über das Potential die Lachgas-freisetzung des Bodens zu reduzieren. Allerdings fehlen für deren Bewertung als Klimaschutzmaßnahme im Treibhausgasemissionsinventar Deutschlands wissenschaftlich belastbare und standortdifferenzierende Ergebnisse unter hiesigen mitteleuropäischen Bedingungen.

Im Rahmen des Verbundprojekts NitriKlim werden in dreijährigen Feldversuchen (2023, 2024, 2025) an sieben verschiedenen Standorten Daten erhoben und in Hinblick auf eine gesicherte Bewertung der Nitrifikationsinhibitoren analysiert. Ziel ist es, aufgrund dieser Datengrundlage verschiedene Nitrifikationsinhibitoren hinsichtlich ihrer Treibhausgasreduktion, ökologischen Risiken, sowie der ökonomischen und pflanzenbaulichen Wirkungen zu bewerten. Dieser Beitrag soll das Konzept am Versuchsstandort Kiel vorstellen und erste vorläufige Ergebnisse der Emissionsmessungen zeigen.

Material und Methoden

Das Versuchsgut Hohenschulen der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel stellt den nördlichsten Versuchsstandort dar. In einem Parzellenversuch (Blockanlage, vier Wiederholungen) wird der Effekt verschiedener N-Dünger und verschiedener Nitrifikationsinhibitoren auf die Emissionen im Winterweizenanbau gemessen. Folgende mineralische Düngevarianten werden verwendet: Harnstoff in drei N-Gaben (HS), HS mit Ureaseinhibitor (HS_UI), HS mit Urease- und Nitrifikationsinhibitor (HS_UI_MPA), Ammoniumnitrat Harnstoff Lösung in drei N-Gaben (AHL), AHL mit Nitrifikationsinhibitor (AHL_DMPP), Ammoniumsulfatsalpeter in zwei (ASS_2), sowie in drei N-Gaben (ASS_3) und ASS mit zwei verschiedenen Nitrifikationsinhibitoren (ASS_DMPP und ASS_DCD_Triazol), sowie folgende organische Varianten: geschlitzte Rindergülle (GGS) und GGS mit Nitrifikationsinhibitor (GGS_DMPP). Neben diesen gedüngten Varianten gibt es eine ungedüngte Kontrollvariante. Die organischen und inhibierten Varianten werden in zwei Gaben ausgebracht. Die N-Düngungshöhe wird entsprechend der Düngeverordnung berechnet.

Die Datenerhebung erfolgt von Februar bis zum Februar des Folgejahres mittels statischer Messkammern im wöchentlichen Rhythmus. Bei erwarteten Emissionsereignissen werden Zusatzmessungen durchgeführt. Während der ersten Woche nach der N-Düngung werden bei den organischen Varianten zusätzlich die Ammoniakemissionen gemessen. Um die Nmin-Dynamik im Boden zu erfassen, werden der mineralische N-Gehalt und der Bodenwassergehalt zweiwöchentlich in

einer Tiefe von 0 bis 30 cm bestimmt. Viermal im Jahr wird der Nmin-Gehalt in 0 bis 90 cm Tiefe ermittelt, um die Modellierung der Nitratauswaschung zu ermöglichen. Die Bestandesentwicklung wird durch Bestimmung der BBCH-Stadien und Multispektralaufnahmen im zweiwöchentlichen Rhythmus erfasst. Des Weiteren wird neben dem Kerndrusch der Parzellen eine Handbeerntung und eine Ertragsanalyse durchgeführt. Die Berechnung des Gasflusses erfolgt mit Hilfe des Statistikprogramms R unter Verwendung des Packages gasfluxes (Fuss und Hüppi 2023).

Ergebnisse

Es konnten teilweise deutliche Unterschiede hinsichtlich der Lachgasfreisetzung zwischen den Düngevarianten festgestellt werden (Messzeitraum eine Woche nach der ersten N-Gabe bis einen Monat nach der zweiten N-Gabe; 28.03.2023 bis 23.05.2023). Die über den Messzeitraum aggregierten N₂O-N Emissionen zeigten sich bei der ungedüngten Kontrolle am geringsten und unterschieden sich signifikant von den Varianten ASS_2, HS_UI und HS, welche die höchsten Verluste aufwiesen. Die Varianten mit Nitrifikationsinhibitor und GGS unterschieden sich untereinander nicht signifikant. Ebenso die Varianten AHL und ASS_3, wobei zu berücksichtigen ist, dass dort bis zum Ende des dargestellten Messzeitraums noch nicht die gesamte N-Menge ausgebracht wurde.

Tab. 1: Aufteilung der N-Düngemenge auf die Teilgaben und über den Messzeitraum (28.03.2023 - 23.05.2023) aggregierte N₂O-N Emissionen der verschiedenen Düngevarianten. In Klammern gesetzte N-Mengen waren bis zum Ende des Messzeitraums noch nicht ausgebracht. Buchstaben markieren statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).

Variante	Aufteilung N-Gaben [kg N ha ⁻¹]	N ₂ O-N Emission [kg N ha ⁻¹]	Variante	Aufteilung N-Gaben [kg N ha ⁻¹]	N ₂ O-N Emission [kg N ha ⁻¹]
Kontrolle	0/0/0	0,013 c	AHL_DMPP	100/90	0,226 bc
ASS_2	100/90	0,829 a	HS	70/70/(50)	0,433 ab
ASS_3	70/70/(50)	0,096 bc	HS_UI	100/90	0,775 a
ASS_DMPP	100/90	0,229 bc	HS_UI_MPA	100/90	0,203 bc
ASS_DCD_T.	100/90	0,278 bc	GGs	90/80	0,274 bc
AHL	70/70/(50)	0,219 bc	GGs_DMPP	90/80	0,282 bc

ASS_DMPP und ASS_DCD_Triazol zeigten über den Messzeitraum eine signifikant geringere Lachgasfreisetzung als ASS_2, ebenso wie HS_UI_MPA im Vergleich zu HS_UI, was für eine Reduktion der Lachgasfreisetzung durch die Nitrifikationsinhibitoren spricht. Ob sich daraus eine höhere N-Verfügbarkeit für den Pflanzenbestand ergibt, es durch den Einsatz der Nitrifikationsinhibitoren zu einer zeitlichen Verschiebung der Emissionsereignisse oder zu vermehrten N-Verlusten über andere Verlustpfade kommt, soll durch die ganzjährigen Emissionsmessungen und die Ertragsanalysen geprüft werden.

Literatur

Fuss, Roland; Hüppi, Roman (2023): Package 'gasfluxes'. Greenhouse Gas Flux Calculation from Chamber Measurements. Online verfügbar unter <https://git-dmz.thuenen.de/fuss/gasfluxes.ex>

Intensitäts- und Standortdifferenziertes Klimaschutzpotential von Leguminosen in Anbausystemen mit N-effizienter Düngung (ISLAND) - Standort Süd

Michael Amann¹, Kurt-Jürgen Hülsbergen¹, Vincent Flaig², Insa Kühling², Henning Kage² und Lucie Chmelikova¹

¹Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising; ²Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Kiel.
E-Mail: michael.amann@tum.de

Einleitung

Stickstoff (N) gilt als entscheidender Faktor der landwirtschaftlichen Produktion (Follett und Hatfield 2001). Wird er jedoch nicht von den Pflanzen aufgenommen, kann er durch Auswaschung oder Ausgasung verloren gehen (Hansen et al. 2019). In intensiven konventionellen Produktionssystemen mit häufig engen Fruchtfolgen erfolgt die N-Düngung in der Regel bezogen auf die jeweilige Einzelkultur, oft ohne ausreichende Berücksichtigung von Vorfrucht- und Fruchtfolgeeffekten bzw. des Potentials aus Ernteresiduen oder Zwischenfrüchten (Cernay et al. 2019). Leguminosen spielen dabei eine besondere Rolle, um die N-Effizienz und THG-Bilanz von Fruchtfolgen zu verbessern, da sie durch ihre Fähigkeit zur biologischen Luftstickstofffixierung nicht mit Herstellungs- und Feldemissionen der mineralischen N-Dünger belastet sind (Crews und Peoples 2004; Nemecek et al. 2008). Im Projekt ISLAND werden an zwei repräsentativen Versuchsstandorten im Norden (CAU, Kiel) und Süden (TUM, Freising) Deutschlands umfangreiche Feldversuche genutzt, um relevante Prozesse im Stickstoffkreislauf leguminosenbasierter Produktionssysteme zu analysieren und daraus plausible Bewertungsalgorithmen (u. a. N₂-Fixierung) auf empirischer Grundlage abzuleiten. Schwerpunkt am Standort Süd ist die effiziente Integration von Sojabohnen in intensive getreidelastige Fruchtfolgen. Das Ziel dieses Beitrags ist es, die Biomasseentwicklung verschiedener Vorfrüchte mithilfe von multispektralen Reflexionsmessungen zu vergleichen.

Material und Methoden

Es wurde ein Fruchtfolgeversuch mit verschiedenen Leguminosen (Sojabohne, Luzernekleegrass) und Nicht-Leguminosen (Sommerweizen gedüngt/ungedüngt, Ackergras) als Vorfrucht angelegt. Als Folgefrucht wird im Jahr 2024 nach allen Kulturen Winterweizen angebaut, welcher in einer Stickstoffsteigerungsreihe mit fünf N-Stufen gedüngt wird. In einem Abstand von ca. 14 Tagen werden Reflexionsmessungen mit einem handgetragenen Feldspektrometer durchgeführt. Daraus wird der Vegetationsindex REIP (Red Edge Inflection Point) (Guyot et al. 1988), welcher einen guten Zusammenhang zur Biomasse und N-Aufnahme aufweist (Lilienthal 2014), berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt erste Ergebnisse der Sensormessungen der verschiedenen Vorfrüchte aus dem Versuchsjahr 2023. Aufgrund der späten Aussaat konnte bei der Sojabohne erst Mitte Juni mit den Messungen begonnen werden. Bei Sommerweizen zeigt sich ein deutlicher Einfluss der N-Düngung. Der nach Düngeverordnung (160 kg N ha⁻¹) gedüngte Sommerweizen weist einen deutlichen Anstieg des Vegetationsindex auf, wohingegen der ungedüngte Sommerweizen bis Ende Mai

keine Veränderung im Vegetationsindex zeigt. Dies lässt auf eine geringe N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat schließen. Der Vergleich der Futterpflanzen zeigt, dass Luzernekleegras bei jedem Messtermin höhere REIP-Werte aufweist als die nicht-fixierende Referenzkultur Ackergras, was vermutlich auf die biologische Stickstofffixierung zurückzuführen ist.

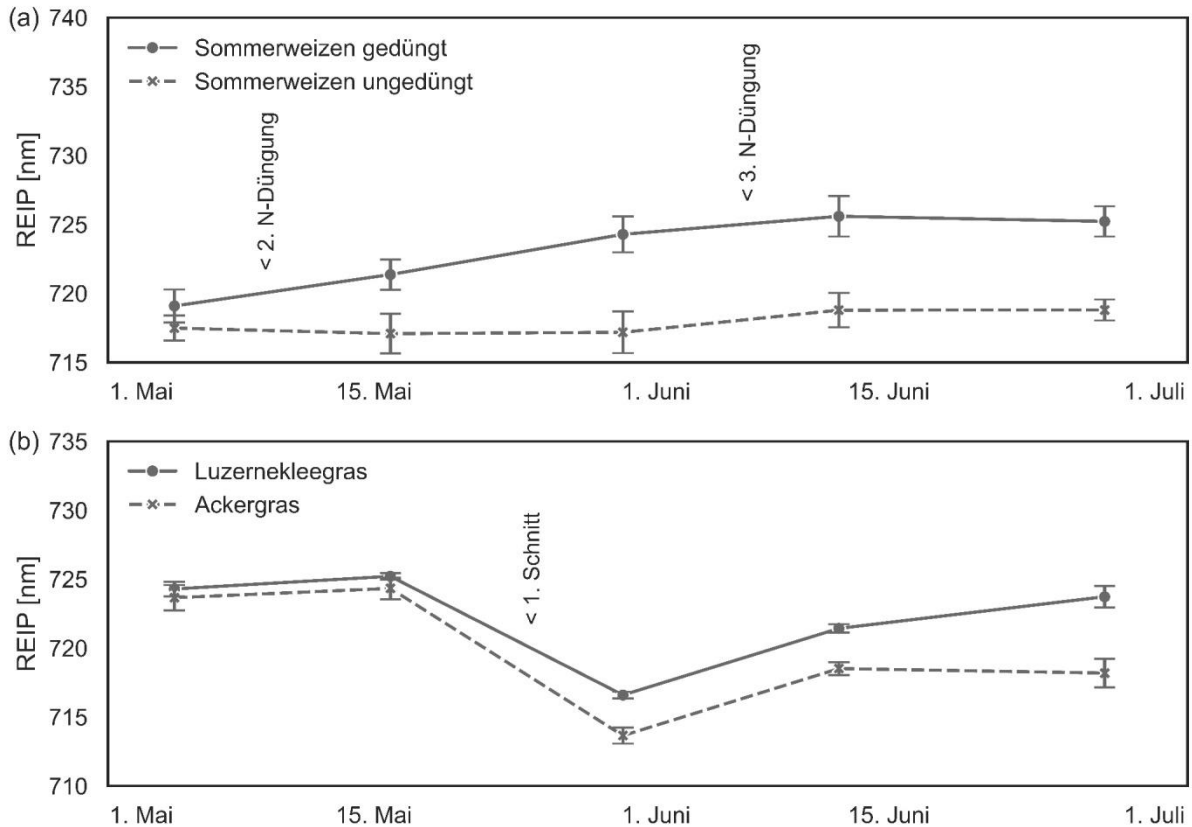


Abb. 1: Entwicklung des REIP-Vegetationsindex verschiedener Kulturen: (a) Sommerweizen, (b) Luzerneklee- und Ackergras. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

Literatur

- Cernay, C.; Makowski, D.; Pelzer, E. (2018): Preceding cultivation of grain legumes increases cereal yields under low nitrogen input conditions. In: *Environmental Chemistry Letters* 16 (2), S. 631-636. DOI: 10.1007/s10311-017-0698-z.
- Crews, T.; Peoples, M. (2004): Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 102 (3), S. 279-297. DOI: 10.1016/j.agee.2003.09.018.
- Follett, R.; Hatfield, J. (2001): Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management. In: *The Scientific World Journal* 1 (S2), S. 920-926. DOI: 10.1100/tsw.2001.269.
- Guyot, G.; Baret, F.; Major, D. (1988): High spectral resolution: Determination of spectral shifts between the red and near infrared. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 11, S. 750-760.
- Hansen, S.; Frøseth, R.; Stenberg, M.; Stalenga, J.; Olesen, J.; Krauss, M. et al. (2019): Reviews and syntheses: Review of causes and sources of N₂O emissions and NO₃ leaching from organic arable crop rotations. In: *Biogeosciences* 16 (14), S. 2795-2819. DOI: 10.5194/bg-16-2795-2019.
- Lilienthal, H. (2014): Optische Sensoren in der Landwirtschaft: Grundlagen und Konzepte. In: *Journal für Kulturpflanzen* 66 (2), S. 34-41. DOI: 10.5073/JFK.2014.02.01.
- Nemecek, T.; von Richthofen, J.; Dubois, G.; Casta, P.; Charles, R.; Pahl, H. (2008): Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. In: *European Journal of Agronomy* 28 (3), S. 380-393. DOI: 10.1016/j.eja.2007.11.004.

Intensitäts- und Standortdifferenziertes Klimaschutzpotential von Leguminosen in Anbausystemen mit N-effizienter Düngung (ISLAND) – Standort Nord

Vincent Flaig¹, Henning Kage¹, Lucie Chmelikova², Michael Amann², Kurt-Jürgen Hülsbergen² und Insa Kühling¹

¹Acker- & Pflanzenbau, Uni Kiel; ²Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, TU München. E-Mail: kuehling@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Stickstoff (N) gilt als entscheidender Faktor der landwirtschaftlichen Produktion. Wird er jedoch nicht von den Pflanzen aufgenommen, kann er durch Auswaschung oder Ausgasung verloren gehen. Leguminosen als Hauptfrucht sowie in Gründungs- oder Zwischenfruchtgemengen spielen eine besondere Rolle, die N-Effizienz und THG-Bilanz in Fruchtfolgen zu verbessern, da sie durch ihre Fähigkeit zur biologischen Luftstickstofffixierung nicht mit Herstellungs- und Feldemissionen der mineralischen N-Dünger belastet sind (Mielenz et al. 2016). Weder zu direkten N₂O-Feldemissionen im Anbau von Körner- und Futterleguminosen noch zur Abhängigkeit von der Fixierungsleistung unter den Boden- und Klimabedingungen in Deutschland liegen belastbare Daten vor (Böhm et al. 2020). Das Ausmaß der THG-Minderung hängt vom acker- und pflanzenbaulichen Management der Leguminosen in der Fruchtfolge und vom Management der Ernterückstände ab.

Im Projekt ISLAND werden an zwei repräsentativen Versuchsstandorten im Norden (CAU, Kiel) und Süden (TUM, Freising) Deutschlands bestehende Fruchtfolgesystemversuche sowie neu angelegte Feldversuche genutzt, um relevante Prozesse im Stickstoffkreislauf leguminosen-basierter Produktionssysteme zu analysieren und daraus plausible Bewertungsalgorithmen (u.a. N₂-Fixierung) auf empirischer Grundlage abzuleiten.

Material und Methoden

Am Standort Nord wird in 2 konsekutiven Jahren auf dem Versuchsgut Hohenschulen (Uni Kiel) ein Fruchtfolgesequenzversuch angelegt, in dem die Wirkung unterschiedlicher Vorfrüchte auf die direkten Lachgasemissionen, Bodenstickstoffdynamik und Ertragsbildung im nachfolgenden Winterweizen untersucht werden (Tabelle 1).

Tab. 1: Versuchsfaktoren im ISLAND-Fruchtfolgesequenzversuch

Faktor	Faktorlevel	
1. Vorfrucht	Klee gras	legume Vorfrucht
	Ackerbohne	
	Acker gras	nicht fixierende Referenz
2. N-Düngung	Sommerweizen 0 kg N ha ⁻¹	Nachfruchtwirkung
	Sommerweizen 140 bzw. 170 kg N ha ⁻¹	
Nachfrucht	Winterweizen mit 5 N-Stufen: 0, 80, 160, 240, 320 kg N ha ⁻¹	

Der Versuch ist als randomisierte Spaltanlage mit vier Feldwiederholungen angelegt (N-Stufen innerhalb der Vorfrüchte), die Parzellengröße beträgt 3x10 m.

Sowohl in den Vorfrüchten als auch in der mit 160 kg N ha⁻¹ gedüngten Variante im folgenden Winterweizen finden wöchentliche Lachgasmessungen, monatliche N_{min}-

Beprobungen (0-30 cm), tiefe N_{\min} -Beprobungen (0-90) zu relevanten Zeitpunkten sowie mehrere Zwischenernten statt, die auch für die ^{15}N natürliche Abundanz-Methode zur Abschätzung der Fixierungsleistung genutzt werden. Die Spurengasemissionen werden in statischen non-steady-state Hauben (Hutchinson und Mosier 1981; Maier et al. 2022) mittels eines tragbaren Gas-Analysers (gaset GT5000 Terra FTIR Gas Analysator). Zum Zeitpunkt der Ackerbohnen-Blüte sowie vor Klee-gras-Umbruch werden darüber hinaus Wurzelproben entnommen.

Ergebnisse und Diskussion

Erste Einblicke in die N_{\min} -Dynamik der Krume zeigen neben der Düngapplikation im Sommerweizen zunehmende pflanzenverfügbare N-Mengen unter Ackerbohnen. Der Unterschied zum Klee-gras ist durch eine schwache Etablierung 2022 und sehr Gras-dominierte Bestände zu erklären (Abbildung 1). Anders das Nachlieferungspotential nach Klee-gras im Winterweizen, hier lag die Ackerbohne auf vergleichbarem Niveau wie ungedüngter Sommerweizen.

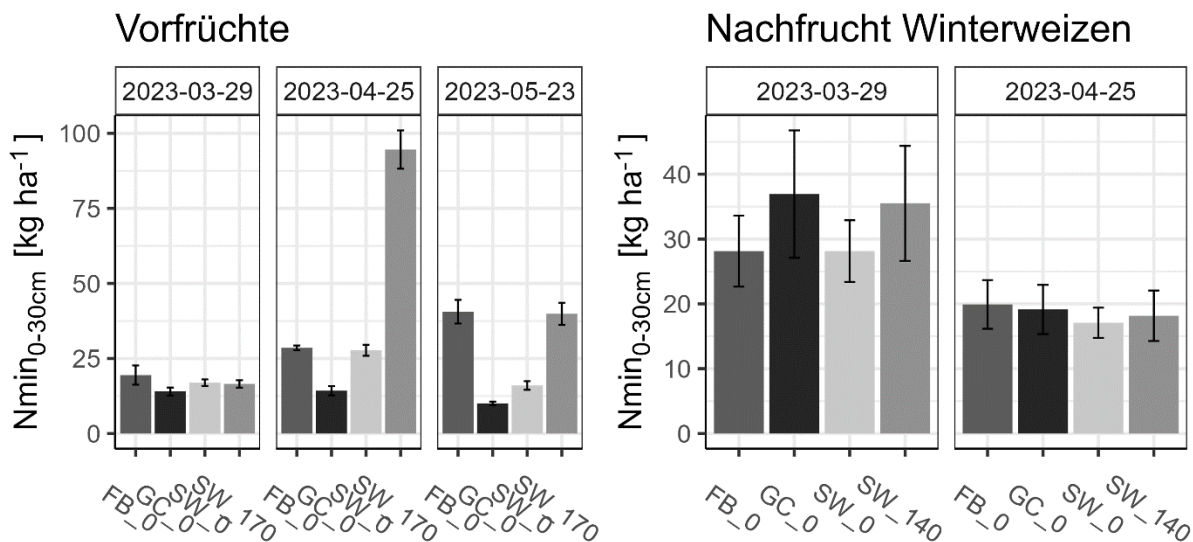


Abb. 1: N_{\min} -Gehalte im Boden unter den Vorfrüchten (FB: Ackerbohne, GC: Klee-gras, SW: Sommerweizen mit der jeweiligen N-Düngung in kg/ha) in den Vorfrüchten (Etablierung 2022, links) und in der Folgefrucht Winterweizen (Etablierung 2021, rechts). Mittelwert aus $n=4 \pm 1\text{SE}$.

Im Zusammenspiel mit den Spurengasmessungen, N-Aufnahmen der oberirdischen Biomasse und den Wurzelanalysen sowie der Quantifizierung der biologischen N-Fixierungsleistung soll so eine umfassende Bewertung der Klimateffizienz heimischer Leguminosen unter typischen Anbaubedingungen erfolgen

Literatur

- Böhm H, Dauber J, Dehler M, et al (2020) Crop rotations with and without legumes: A review. *J für Kult* 72:489–509. <https://doi.org/10.5073/JfK.2020.10-11.01>
- Hutchinson GL, Mosier AR (1981) Improved Soil Cover Method for Field Measurement of Nitrous Oxide Fluxes. *Soil Sci Soc Am J* 45:311–316. <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500020017x>
- Maier M, Weber TKD, Fiedler J, et al (2022) Introduction of a guideline for measurements of greenhouse gas fluxes from soils using non-steady-state chambers. *J Plant Nutr Soil Sci* 185:447–461. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200199>
- Mielenz H, Thorburn PJ, Harris RH, et al (2016) Nitrous oxide emissions from grain production systems across a wide range of environmental conditions in eastern Australia. *Soil Res* 54:659. <https://doi.org/10.1071/SR15376>
- Stützel H, Kage H (1998) Influence of tillage and nitrogen fertilisation within the rotation on the nitrogen dynamics after faba beans. *Pflanzenbauwissenschaften* 2:199–206

Spatial and temporal variability of nitrous oxide fluxes in a German crop rotation

Paulina Englert¹, Antonios Apostolakis¹, Henning Schröder¹, Christian Markwitz², Alexander Knohl², Klaus Dittert³, Stefan Siebert¹ und Ana Meijide¹

¹Department of Crop Sciences, Division Agronomy, University of Göttingen, Göttingen, Germany;

²Bioclimatology, University of Göttingen, Göttingen, Germany;

³Department of Crop Sciences, Division of Plant Nutrition and Crop Physiology, University of Göttingen, Göttingen, Germany; E-Mail: paulina.englert@uni-goettingen.de

Introduction

Nitrous oxide (N₂O) is one of the most powerful greenhouse gases and agricultural soils are one of its largest sources. Nitrous oxide fluxes show a very high temporal and spatial variability, even on agricultural soils which seem very homogenous, challenging its accurate quantification. Quantifying the spatial and temporal variability of N₂O fluxes along with other soil properties may help gaining knowledge on the limitations of the measurement techniques available for N₂O fluxes and may provide insights on their underlying drivers.

Nitrous oxide fluxes have traditionally been measured with static chambers, but this technique poses problems in terms of the limited space it covers and its coarse temporal resolution. More recently, the eddy covariance technique has been applied to the measurement of N₂O fluxes, providing data at a high temporal resolution over a larger surface. We hypothesize that combining the eddy covariance technique with spatially dense chamber measurements and soil analysis may offer opportunities to address the challenges in quantifying the spatial and temporal variability of N₂O fluxes and their drivers.

Material and methods

A flux tower for N₂O flux measurements using the eddy covariance technique and ancillary meteorological parameter was set up in an agricultural field in central Germany in March 2022 with a typical crop rotation (barley - with white mustard as catch crop -, sugar beet and wheat). The site is at 155 m a.s.l. and has as a mean annual precipitation of 618 ± 114 mm and mean annual temperature of 9.5 ± 0.7 °C. The soil is a fluvisol with pH 7.0. The tower was located in the middle of a field of about 10 ha with homogeneous management practices (tower location - 51.49° N, 9.93° E).

The eddy covariance system consisted of a sonic anemometer (uSonic-3 MP Cage, METEK, Elmshorn, Germany) and a fast response closed-path N₂O analyzer (Los Gatos Research, San Jose, USA). Additionally, in February 2023, we started measuring N₂O fluxes with 60 cm diameter chambers using gas chromatography techniques in eight points within the flux tower footprint. Chamber measurements were performed at least monthly but were measured several times a week following fertilization. Two additional campaigns on 50 and 100 sampling points at regular grid with distances of 30 and 20 m between points for the 50 and 100 points, respectively, were performed within the tower footprint by means of a portable N₂O analyzer (LI-7820, Licor, Lincoln, USA) following fertilization (60 kg N ha⁻¹ as a solution of urea with ammonium nitrate) when sugar beet was sown in the field of study. Nitrous oxide fluxes were calculated with the *gasfluxes* R package, following a linear method. Top

soils (0-30 cm) were analyzed for soil mineral nitrogen and dissolved organic carbon in parallel to the 8 chambers and in one third of the 100 sampling points. Volumetric soil water content was always measured together with N₂O chamber measurements by means of a TDR-350 (Spectrum Technologies, Aurora, USA).

Results and discussion

In the 50-points sampling campaign, more than 50% of the fluxes were below 20 $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, but fluxes reached up to 120 $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ in one of the points, showing the large spatial variability of the fluxes within the apparently very homogeneous field. One week later, at the 100 points campaign, fluxes ranged from -20 to 83 $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Fig. 1). Mean fluxes were 6.5 $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and 50% of the fluxes were below 2.8 $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, with fluxes exhibiting a large spatial variability (coefficient of variation of 245.97 %). At this campaign, water filled pore space (WFPS) ranged from 65% to 80%, but no relationships were found between N₂O fluxes and WFPS.

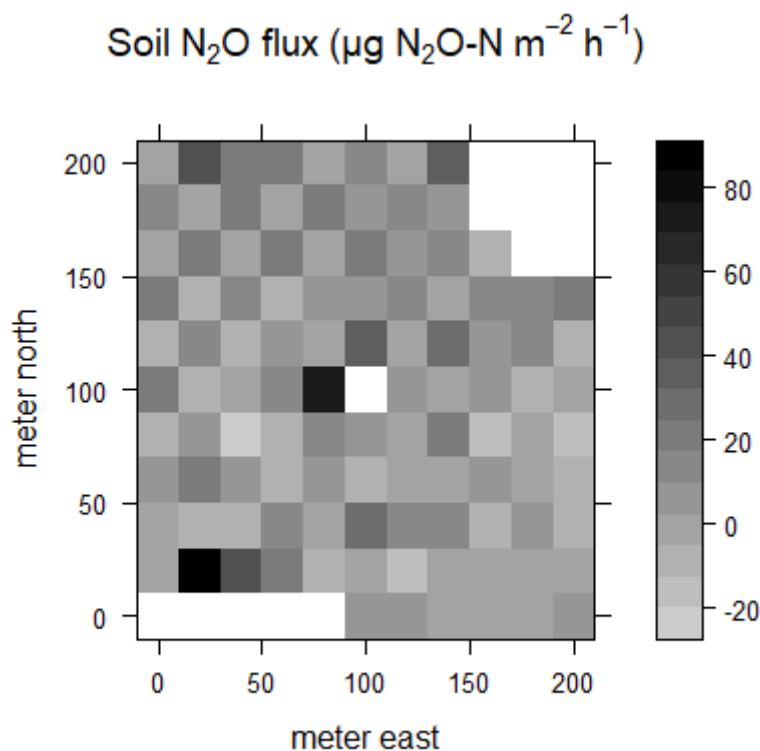


Fig. 1: Spatial variability of N₂O fluxes in the 100-points sampling campaign. Measurements were taken in the middle of each pixel. The flux tower is located in the white pixel in the centre of the grid, and all white pixels are places where no chamber measurements were performed. The y-axis shows the distance in North-direction and the x-axis shows the distance East-direction in m.

Preliminary results on the measured N₂O fluxes using the eddy covariance technique also confirm the large temporal variability of the fluxes, with usually increasing fluxes after fertilization events and with increasing soil moisture. We will analyze the temporal variability of the fluxes during the crop season and further explore the spatial variability of the fluxes in relation to soil properties (mineral nitrogen and dissolved organic carbon) and provide insights on the drivers of these large variabilities.

Growth analysis of autumn- and spring-sown wheat with varying nitrogen fertilization rates

L. J. Koppensteiner¹, H.-P. Kaul¹, H.-P. Piepho², N. Barta³, P. Euteneuer⁴, J. Bernas⁵, A. Klimek-Kopyra⁶, A. Gronauer³ and R. W. Neugschwandtner¹

¹Institute of Agronomy/University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna; ²Institute of Crop Science/University of Hohenheim, Stuttgart; ³Institute of Agricultural Engineering/University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna; ⁴Experimental Farm Groß-Enzersdorf/University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna; ⁵Department of Agroecosystems/University of South Bohemia, Ceske Budejovice; ⁶Department of Agroecology and Plant Production/University of Agriculture, Krakow. E-Mail: lukas.koppensteiner@boku.ac.at

Introduction

In this study, a preliminary growth analysis was conducted to visualize the effects of two quantitative variables, day of the year (DOY) and nitrogen (N) fertilization, on above-ground dry matter (AGDM) in wheat (*Triticum aestivum* L.).

Materials and Methods

Field experiments were conducted in the seasons 2019/20 (E₁) and 2020/21 (E₂) at the Experimental Farm Groß-Enzersdorf of the University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna. The field experiments were set up in a split-plot design in three replications. The main-plot factor was sowing time consisting of two factor levels, autumn-sowing (W_W) and spring-sowing (W_S). The facultative wheat variety Lennox was sown. The sub-plot factor was N fertilization consisting of five levels, 0, 5, 10, 15 and 20 g m⁻². In both seasons, stabilized urea was applied in March. Destructive plant samples were collected every second week from March until harvest in both seasons. Plant material was dried at 105 °C for 24 h.

Statistical analysis was performed using analysis of variance of mixed models and subsequent t-tests for post hoc analyses both at 5% level of significance in SAS 9.4 (PROC MIXED and GLIMMIX). The factor N fertilization was introduced as a quantitative factor, which was analyzed using polynomial regression analysis in accordance with Piepho and Edmondson (2018). Statistical analysis was conducted for individual sampling dates. Resulting least-squares means were spline interpolated over DOY in R 4.2.3 (function `splinefun`). The results were visualized using filled contour plots in SigmaPlot 14.5.

Results and Discussion

Figure 1 shows least-squares means of AGDM for W_W and W_S in E₁ as well as E₂, that were spline interpolated over DOY.

From the first plant sampling in March until harvest in July, AGDM of W_W was higher than that of W_S. This can be explained by the earlier start and longer duration of the vegetation period for W_W compared to W_S (Slafer and Miralles, 1992). The season E₁ showed higher AGDM compared to E₂ until the start of June. Higher temperatures in spring of E₁ hastened development compared to E₂, which is in accordance with Slafer and Miralles (1992). The faster development in spring of E₁ can explain the earlier increase in AGDM. At harvest, however, AGDM was higher in E₂, which featured slower development, than in E₁. The sum and distribution of precipitation was similar in both seasons.

Varying N fertilization significantly affected AGDM from the start of May until harvest. Furthermore, W_W featured a higher increase in AGDM with additional N fertilization compared to W_S . Similar findings were reported by Ehdaie and Waines (2001). At high N fertilization rates, however, AGDM showed no further response to additional N fertilization, which is in accordance with Sugar and Berzsenyi (2012).

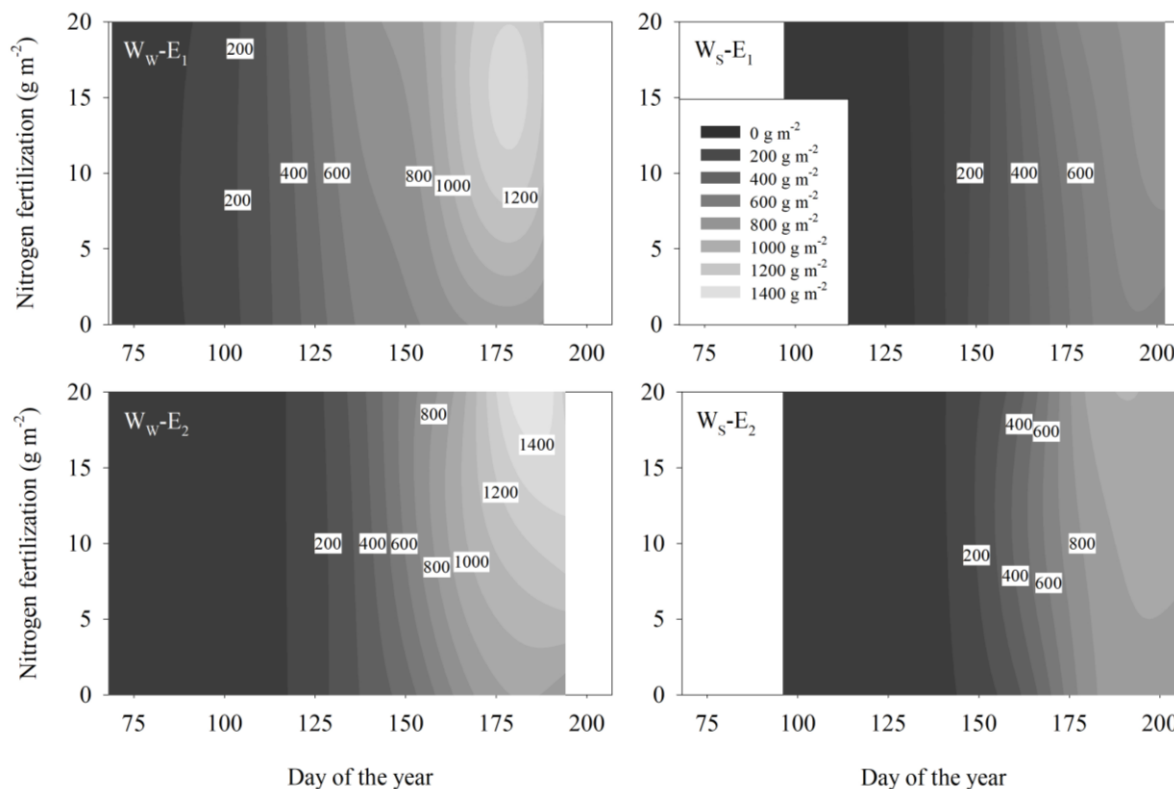


Figure 1: Filled contour plots on above-ground dry matter for autumn-sown wheat in 2019/20 (W_W-E_1) and 2020/21 (W_W-E_2) as well as spring-sown wheat in 2019/20 (W_S-E_1) and 2020/21 (W_S-E_2). Values are least-squares means, that were spline interpolated over days of the year.

The proposed methodology for statistical analysis of field experiments and visualization of multiple quantitative variables is a promising tool for extensive growth analyses. Furthermore, this approach can also be applied to field experimental remote sensing data with high temporal resolution.

References

- Ehdaie, B., Waines, J.G., 2001. Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat. *Field Crops Research* 73, 47–61. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00181-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00181-2).
- Piepho, H.-P., Edmondson, R.N., 2018. A tutorial on the statistical analysis of factorial experiments with qualitative and quantitative treatment factor levels. *Journal of Agronomy and Crop Science* 204, 429–455. <https://doi.org/10.1111/jac.12267>.
- Slafer, G.A., Miralles, D.J., 1992. Green area duration during the grain filling period of an Argentine wheat cultivar as influenced by sowing date, temperature and sink strength. *Journal of Agronomy and Crop Science* 168, 191–200. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1992.tb00998.x>.
- Sugar, E., Berzsenyi, Z., 2012. Effect of N fertilisation on the dynamics of dry matter production and leaf area of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties in different years. *Acta Agron. Hung.* 60, 385–396. <https://doi.org/10.1556/AAgr.60.2012.4.9>.

Environmental design of nitrogen application rate for wheat from the LCA perspective

Jaroslav Bernas¹, Tereza Bernasová², Petr Konvalina¹, Jan Moudrý¹, Lukas J. Koppensteiner³, Hans-Peter Kaul³, Pia Euteneuer⁴, Gerhard Moitzi⁴ und Reinhard W. Neugschwandtner³

¹Department of Agroecosystems, Faculty of Agriculture and Technology, University of South Bohemia in České Budějovice (USB), Studentska 1668, 37005 České Budějovice, Czech Republic.

E-Mail: bernas@fzt.jcu.cz

²Department of Applied Ecology, Faculty of Agriculture and Technology, University of South Bohemia in České Budějovice (USB), Studentska 1668, 37005 České Budějovice, Czech Republic

³Institute of Agronomy, Department of Crop Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU), Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln, Austria

⁴Experimental Farm Groß-Enzersdorf, Department of Crop Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU), Schloßhofer Straße 31, 2301 Groß-Enzersdorf, Austria

Introduction

Nitrogen supply is vital for wheat production, affecting both yield and the environment. A life cycle assessment (LCA) was conducted in Eastern Austria to examine the impact of nitrogen fertilization on facultative wheat. The study considered sowing date, nitrogen rates (0, 50, 100, 150, and 200 kg ha⁻¹), and two years of data when following the previous study (Koppensteiner et al., 2022). The goal was to determine the best cropping design for low environmental impact and sufficient yield. The LCA analyzed processes from start to finish using grain yield and land demand as metrics. High nitrogen doses (>150 kg ha⁻¹) had the greatest environmental impact, while moderate levels (100-150 kg ha⁻¹) had the lowest impact on winter wheat. Finding the right balance is crucial, as both under-fertilizing and over-fertilizing wheat are detrimental. It is important to provide adequate nitrogen for growth without causing excessive harm to the environment.

Material and Methods

An optimal environmental design based on LCA analysis was conducted using the Endpoint and Normalization approach to interpret the data. This allowed for the assessment of 20 variants and 18 impact categories. The data employed a normalization model based on resources, ecosystems, and human health, measured in eco-points. The full related methodology is part of the study, which is the primary source (Bernas et al., 2023).

Results and Discussion

Human health was identified as the most potentially affected category, while ecosystems contributed to 15-30% of the environmental impact, and the resources category had the lowest impact. Figure 1 demonstrated that variants with lower nitrogen inputs (N0, N50, and N100) generally had a reduced environmental impact compared to those with higher inputs. The N50 and N100 variants exhibited the lowest levels of impact and were considered the most environmentally friendly. This interpretation approach highlighted those non-fertilized variants could also have a lower environmental impact, primarily due to their minimal impact on human health and resources. This is attributed to the absence of urea input and its associated effects on human health and resource consumption. The analysis revealed that high N doses (>150 kg ha⁻¹) had the greatest environmental impact. However, variants

without N inputs also had a high impact in certain categories. To balance environmental impact, it is crucial to achieving an appropriate grain N yield considering all inputs (agrotechnology, agrochemicals, seed production, etc.). Variants with N inputs between 100 and 150 kg ha⁻¹ for winter wheat and 50 kg N ha⁻¹ for spring wheat had the least environmental impact, making them suitable for targeted environmental design. Interestingly, intensive cultivation practices with higher fertilizer inputs did not always result in the highest environmental impact. The highest impact occurred with 200 kg ha⁻¹ of fertilizer for spring wheat and the unfertilized variants in certain cases. Ultimately, the achieved grain N yield relative to inputs played a decisive role.

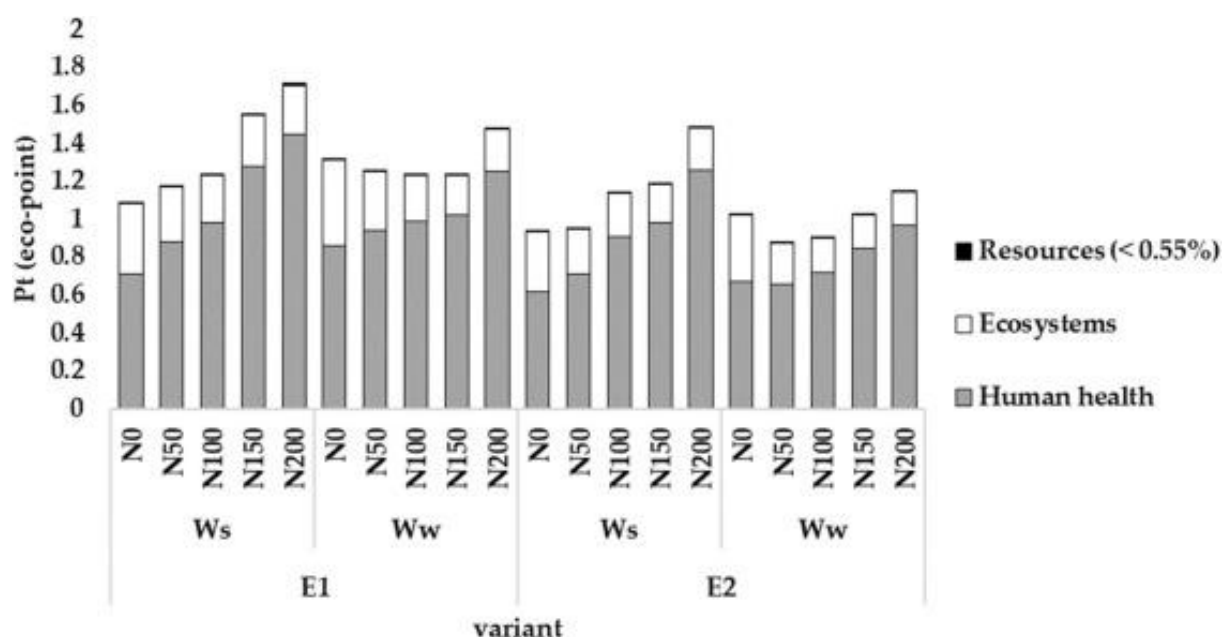


Fig. 1. Environmental impact levels (trends) per 1 kg of grain N yield ha⁻¹ (in eco-points). Pt = The value of 1 Pt (eco-point) is representative of one-thousandth of the annual environmental impact of one average European inhabitant; E1 = environment 1 (season 2019/2020); E2 = environment 2 (season 2020/2021); W_s = spring wheat; W_w = winter wheat; N0 = Control; N50, N100, N150, and N200 = fertilization rates of 50, 100, 150 and 200 kg N ha⁻¹; SimaPro 9.3.0.2 software; ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.05 / World (2010) H; Cut-off System Model approach; Normalization/Weighting model.

Literature

Bernas, J., Koppensteiner, L. J., Tichá, M., Kaul, H.-P., Klimek-Kopyra, A., Euteneuer, P., Moitzi, G., & Neugschwandtner, R. W. (2023). Optimal environmental design of nitrogen application rate for facultative wheat using life cycle assessment. *European Journal of Agronomy*, 146, 126813. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126813>

Koppensteiner, L. J., Kaul, H.-P., Piepho, H.-P., Barta, N., Euteneuer, P., Bernas, J., Klimek-Kopyra, A., Gronauer, A., & Neugschwandtner, R. W. (2022). Yield and yield components of facultative wheat are affected by sowing time, nitrogen fertilization and environment. *European Journal of Agronomy*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126591>

Acknowledgment

This work was supported by the Austrian Federal Ministry of Education, Science and Research (Project No. CZ 05/2022) and Czech Ministry of Education, Youth and Sports within the Scientific & Technological Cooperation (Project No. 8J22AT001).

Stickstoffnutzungseffizienz in der ackerbaulichen Praxis unter den geänderten Düngeregelungen

Steffen Zieseniß, Mona Dieser, Henrike Mielenz, Annett Gummert, Anne-Kathrin Otte, Jörg-Michael Greef und Burkhard Stever-Schoo

Julius Kühn-Institut (JKI) – Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde; Braunschweig.
E-Mail: Steffen.Zieseniß@julius-kuehn.de

Einleitung

Diffuse Stickstoff (N) -einträge aus der Landwirtschaft führten in einigen Regionen Deutschlands zu einer Nitratbelastung des Grundwassers. Der Europäische Gerichtshof verurteilte deshalb die Bundesrepublik Deutschland wegen Verstoßes gegen die europäische Nitratrichtlinie (91/676/EWG). Im Zuge dessen wurde ein Demonstrationsvorhaben mit Frühindikatoren zur Überwachung der Nitratbelastung von landwirtschaftlich genutzten Flächen entwickelt (Mielenz et al. 2021). Der Monitoringansatz des Vorhabens kombiniert analytische und kalkulatorische Indikatoren, wobei in dieser Arbeit der Fokus auf den N-Bilanzen auf der Schlagebene liegt. Es werden die Effekte der geänderten Düngegesetzgebung auf die N-Zufuhr und –Abfuhr der Hauptkulturen im Zeitraum 2014-2022 dargestellt. Die Daten wurden zusätzlich mit dem Konzept der Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) analysiert, um Maßnahmenwirkungen wie die Einschränkung der Herbstdüngung zu bewerten.

Material und Methoden

Die Daten stammen von 48 Ackerbaubetrieben aus fünf Regionen in Deutschland. Diese wirtschafteten betriebsüblich und stellten die realen Bewirtschaftungsdaten zur Verfügung. Daraus wurden Bruttoschlagbilanzen berechnet. Die N-Zufuhr ist die Summe von Stickstoff aus mineralischem und organischem Dünger, sowie der Eintrag durch Deposition (UBA 2019) und N-Fixierung (BMEL 2017). Die N-Abfuhr entspricht dem Entzug mit den Ernteprodukten. In dieser Auswertung wurden die Hauptanbauprodukte Winterweizen (WW), Wintergerste (WG), Zuckerrübe (ZR), Kartoffeln (PO), Silomais (MA) und Winterraps (OR) verwendet. Schläge mit Kompost oder Strohmistdüngung im Herbst wurden ausgeschlossen. Insgesamt enthielt der Datensatz 3607 Schlag-Jahr-Kombinationen. Um den Effekt der Düngeregelungen darzustellen wurden die gemittelten Werte über die Jahre verglichen. Darüber hinaus wurde der Zeitraum vor den Novellierungen der DüV (2014-2017) mit den Zeiträumen DüV17 (2018-2020) und DüV20 (2021-2022) pro Frucht verglichen. Für die Bewertung der Effizienz wurde das NUE-Konzept des EUNEP (2015) verwendet. Hierfür wurden als Zielwerte eine Mindestproduktivität von 80 kg N ha^{-1} , potentielle Emissionen von 50 kg N ha^{-1} und eine anzustrebende Effizienz zwischen 70 bis 90 % festgesetzt.

Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt lag die N-Zufuhr vor 2018 auf einem höheren Niveau als in den Jahren danach. Die N-Abfuhr blieb auf konstantem Niveau. Daraus resultierte eine gesteigerte NUE. Die reduzierte N-Zufuhr zeigte sich auch bei den einzelnen Früchten mit Ausnahme der Zuckerrübe. Die N-Zufuhr wurde zwischen 9 kg N ha^{-1} für Wintergerste und 35 kg N ha^{-1} für Silomais gesenkt. Die N-Abfuhr zeigte Unterschiede zwischen den Vergleichszeiträumen für die einzelnen Früchte. Beim

Winterraps lag die Abfuhr im Vergleich zum Zeitraum vor den Novellierungen niedriger für DüV17, jedoch höher für DüV20. Für Zuckerrüben war die Abfuhr bei unveränderter Zufuhr witterungsbedingt niedriger als im Referenzzeitraum. Auch die Abfuhr für Wintergerste und Winterweizen lagen niedriger als im Referenzzeitraum trotz teilweise konstanter N-Düngungshöhe. Dies lag ebenfalls an Witterungseffekten, die vor allem in den Regionen Schilde und Ilmenau zum Tragen kamen. Hier sind längere Zeitreihen abzuwarten, um die Effekte abschließend zu bewerten.

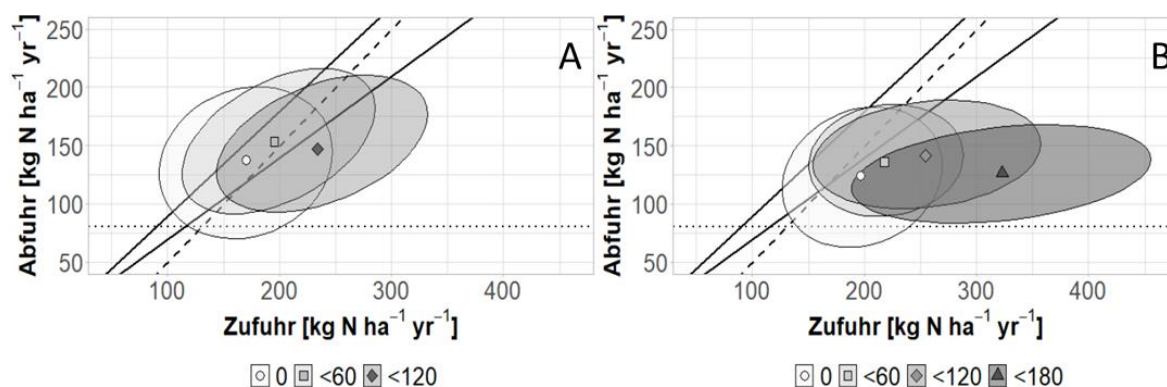


Abb. 1: Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) für Wintergerste (A) und Winterraps (B) mit unterschiedlicher Herbstdüngungsintensität (keine, bis 60, bis 120 oder bis 180 kg N ha⁻¹) dargestellt als 95 % Datenellipsen. Symbole zeigen die Mittelwerte. Die gepunktete Linie symbolisiert eine Mindestproduktivität von 80 kg N ha⁻¹, die gestrichelte Linie ein Saldo von 50 kg N ha⁻¹, die durchgezogenen Linien Effizienz zwischen 70 und 90 %.

Die Reduktion der Herbstdüngung auf maximal 60 kg N ha⁻¹ steigerte die NUE bei gleichbleibender Abfuhr und senkte somit das Stickstoffverlustpotenzial (Abb. 1). Für Wintergerste wurden damit die Zielwerte für eine nachhaltige Bewirtschaftung erreicht. Für Winterraps waren die Grenzwerte zu scharf gesetzt und müssten kulturspezifisch angepasst werden. Trotzdem wurde deutlich, dass eine Düngung über 60 kg N ha⁻¹ im Herbst zu einer niedrigeren NUE führte und keine höhere Abfuhr generierte. Allgemein haben die geänderten Düngeregeln bei gleichbleibender Produktivität zu niedrigen Salden, insbesondere durch die Einschränkungen bei der Herbstdüngung, geführt.

Literatur

Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BMEL) (14.12.2017): Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung - StoffBiIV). StoffBiIV. In: Bundesgesetzblatt.

EUNEP (2015): Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems. Hg. v. Wageningen University. NL-6700 Wageningen, Netherlands.

Mielenz, Henrike; Dieser, Mona; Stock, Oliver; Zieseniß, Steffen; Kücke, Martin; Greef, Jörg Michael; Stever-Schoo, Burkhard (2021): Abschlussbericht: Demonstrationsvorhaben „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“. Julius Kühn Institut (Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, 217).

Umweltbundesamt (UBA) (2019): Hintergrundbelastungsdaten Stickstoffdeposition. Bezugszeitraum: Dreijahresmittelwert der Jahre 2013-2015. Ergebnisse und Daten des PINETI-3-Projekts. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://gis.uba.de/website/depo1/>, zuletzt geprüft am 04.02.2021.

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Gefördert über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Förderkennzeichen 2820ABS001.

Wirkungen unterschiedlicher Düngesysteme auf den Ertrag und die Stickstoffeffizienz – Ergebnisse des digisens-Dauerfeldexperiments

Martin Mittermayer, Joseph Donauer, Franz-Xaver Maidl, Stefan Kimmelman
und Kurt-Jürgen Hülsbergen

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-Straße 2, 85354 Freising. E-mail: martin.mittermayer@tum.de

Einleitung

Unter Praxisbedingungen ist es immer noch eine Herausforderung, die optimale N-Düngung zu bestimmen, wobei zahlreiche Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind (Kulturart, Zielertrag, N_{\min} etc.). Zur Bestimmung der optimalen N-Düngung wurden verschiedene Düngungssysteme entwickelt (Weckesser et al. 2021): (a) simple Methoden, die die N-Düngermenge in Abhängigkeit von der Kulturart und anderen Einflussfaktoren berechnen, (b) Methoden, die zusätzlich die Entwicklung der Kultur (z.B. Stickstoffaufnahme) in definierten Wachstumsstadien berücksichtigen und (c) satelliten- und sensorbasierte Düngesysteme. Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit dieser Düngesysteme wird nicht nur in der landwirtschaftlichen Praxis, sondern auch in der Wissenschaft kontrovers diskutiert (Kage et al. 2022, Taube 2023). Das Hauptziel dieser Untersuchung ist die mehrjährige Analyse verschiedener N-Düngesysteme, insbesondere nach Düngeverordnung (DüV). Darüber hinaus werden die Auswirkungen analysiert, wie sich eine erhöhte und reduzierte N-Düngung im Vergleich zur DüV auf den Ertrag, den Proteingehalt, die N-Aufnahme, die N-Effizienz und den N-Saldo in einer 3-jährigen Fruchtfolge auswirkt.

Material und Methoden

In dieser Studie wurden in den Jahren 2020-2022 Parzellenversuche an der Forschungsstation Roggenstein (35 km westlich von München) durchgeführt. Der Düngungsversuch ist als Fruchtfolgeversuch mit 72 Parzellen in 3 Blöcken angelegt. Jeder Block hat 24 Parzellen mit 6 N-Stufen mit dem Hauptfaktor N-Düngung in vier Wiederholungen. Die Parzellengröße beträgt 60 m² (Breite: 6 m, Länge: 10 m). Die N-Düngung erfolgte nach den folgenden Düngestufen: N 1 (ungedüngt); N 2 (DüV); N 3 (DüV - 20%), N 4 (DüV - 40%), N 5 (DüV + 20%) und N 6 (Sensor und Algorithmen nach Maidl 2011)). Die Differenz zwischen der N-Düngung nach DüV und dem N-Düngungsoptimum bzw. der Ernteertrag nach DüV und der optimale Ernteertrag werden mit Hilfe von Produktionsfunktionen berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Fruchtarten Weizen und Gerste zeigen bereits ab dem zweiten Jahr starke Ertragsrückgänge in den reduzierten Varianten, insbesondere in der ungedüngten Variante. Beim Mais hingegen war der Ertragsrückgang deutlich geringer. Die Variante (DüV -20 %) führte in den ersten drei Untersuchungsjahren zu 5 % Ertragsrückgang. Die Variante DüV liegt bei Weizen nach quadratischer N-Funktion leicht unterhalb von N_{opt} , bei Wintergerste im Mittel der Versuchsjahre nahe N_{opt} , bei Silomais liegt im bisherigen Versuchszeitraum eine sehr hohe Streuung vor. Die Versuche zeigen, dass die N-Düngungssysteme aufgrund der unterschiedlichen Berechnungsmodelle unterschiedliche N-Düngungsempfehlungen liefern. Eine

Erhöhung der mineralischen N-Düngung (DüV + 20 %) im Vergleich zu DüV führte in keinem der Versuche zu einer signifikanten Ertragssteigerung, aber zu höheren N Salden. Die sensorgestützte Variante führte zu keinem Ertragszuwachs, aber zu einer Einsparung von mineralischen Dünger und somit zu einer Erhöhung der N-Effizienz.

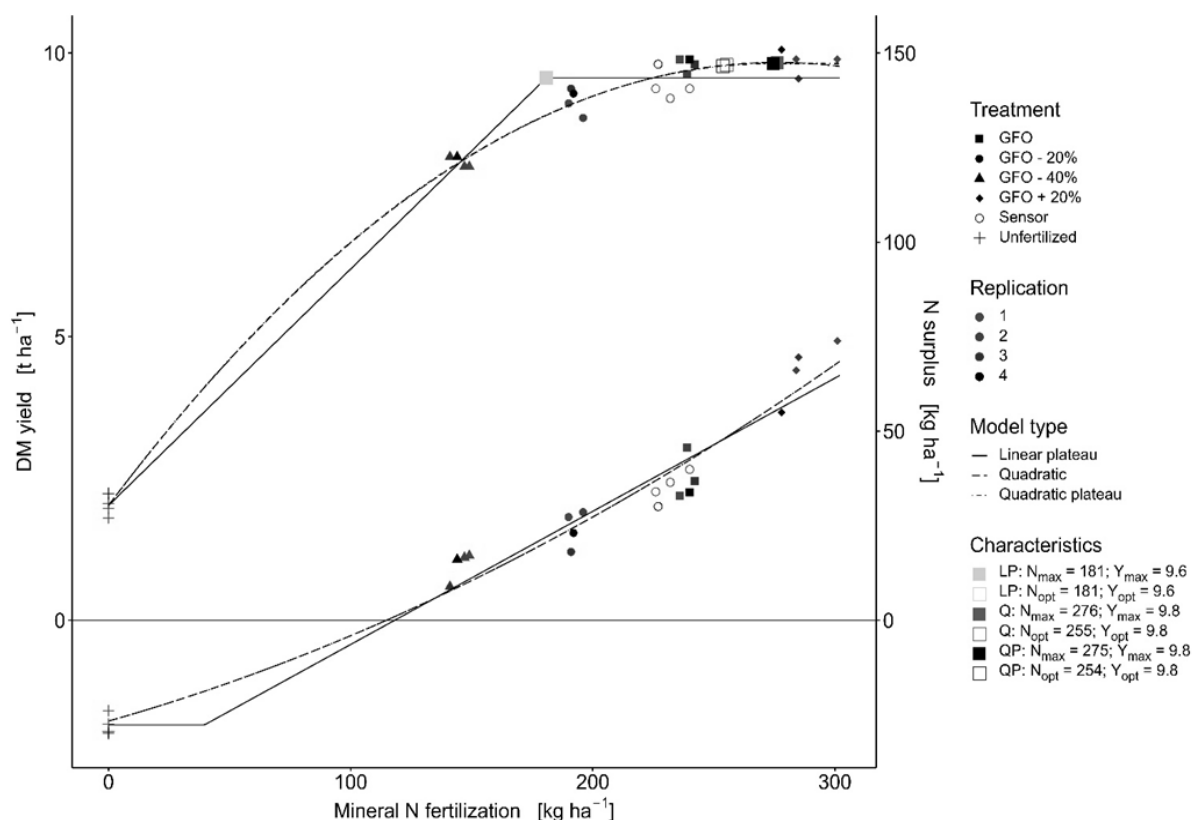


Abb. 1: Zusammenhänge zwischen N-Düngung, Ertrag und N-Saldo für Winterweizen 2022

Literatur

Kage, H.; Rübiger, T.; Sieling, K. (2022): Stickstoffdüngung zu Winterraps und Winterweizen. Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Aktuelle Beiträge. DOI: 10.12767/BUEL.V100I1.415.

Maidl, F.-X. (2011): Verfahren zur Bestimmung des Düngerbedarfs, insbesondere des Stickstoff-Düngebedarfs und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Patentschrift TU1505 on 2011.

Taube, F. (2023): Die Stickstoffbedarfswerte der Düngeverordnung (DüV) für Winterraps und Winterweizen sind 15-20% zu hoch angesetzt – eine Replik auf Kage et al. (2022): Stickstoffdüngung zu Winterraps und Winterweizen. Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Aktuelle Beiträge. DOI: 10.12767/buel.v101i1.467.

Weckesser, F.; Leßke, F.; Luthardt, M.; Hülsbergen, K.-J. (2021): Conceptual Design of a Comprehensive Farm Nitrogen Management System. Agronomy 11 (12), p. 2501. DOI: 10.3390/agronomy11122501.

Durch bioökonomische Mehrfachnutzung verschiedener Pflanzenbestandteile (Blatt, Stängel) der Luzerne zu einer ökologisierten Produktionsstrategie mit verbesserter N-Lieferung in der Fruchtfolge

Klaus Gutser und Johann Bachinger

Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg; E-Mail: klaus.gutser@zalf.de

Einleitung

Der geringe Futterwert von Luzerneganzpflanze und ihr geringer Anteil an pflanzenverfügbarem Stickstoff bei der Verwertung als Wirtschaftsdünger verhindert bisher sowohl höhere Verwendung in der Tierhaltung als auch höhere Erträge im Pflanzenbau zu erzielen. Dies führt sowohl in der Tier- und Pflanzenproduktion zu erhöhten THG-Emissionen. Auch bei Einhaltung der Dünge-VO von 170 kg N ha⁻¹ durch Wirtschaftsdünger haben Gemischtbetriebe höhere N-Verluste als der Marktfruchtbau. Die hohen Preise für Mineraldünger während der Energiekrise und das stabil hohe Preisniveau von Soja und Raps zeigen jedoch jetzt, dass vermehrt Luzerne angebaut werden sollte. Die hohe Menge an Stickstoff aus der N₂-Fixierung, eiweißreiches Futtermittel für die Tierhaltung und nicht zuletzt die hohe Trockentoleranz sind hierfür vor dem Hintergrund des Klimawandels die Gründe. Einerseits muss für eine ökologisierte Produktionsstrategie die Stickstoffwirksamkeit aus der Reststoffverwertung verbessert werden. Neben ökonomischen Gründen sollte andererseits Soja und Raps in der Fütterung durch einen hohen Anteil an Blattmasse mit mehr nutzbarem Rohprotein aus dem Luzernanbau reduziert werden, um einen Stickstoffkreislauf über betriebseigenes Futter aufzubauen. Weil der rohfaserreiche Stängelanteil am Gesamtertrag über 50 % beträgt, muss wegen der Wirtschaftlichkeit eine alternative Verwertung gefunden werden. Im Forschungsprojekt FUFAPRO (Futter-Faser-Protein) stand deshalb die Doppelnutzung von Luzerne im Mittelpunkt. Stängel mit einem hohen Rohfasergehalt nach mechanischer Blatt-Stängeltrennung können zu naturfaserverstärkten Kunststoffen für den Leichtbau für die Fahrzeugindustrie verarbeitet werden, und um vermehrt Soja- oder Rapsextraktionsschrot durch blattreiches Material ersetzen zu können.

Material und Methoden

Als Verbundprojekt wurde in FUFAPRO die Eignung der Stängel in naturfaserverstärkte Kunststoffe am Fraunhoferinstitut IAP überprüft. Verfahrenstechnik zur Blatt-Stängeltrennung wurde beim Praxispartner entwickelt. Die Entwicklung des Rohfaser- und Rohproteingehalts der Blätter, Stängel und des Hochschnitts meist in 20 cm Schnitthöhe zu verschiedenen Wachstumsstadien im Vergleich zur Ganzpflanze wurden am ZALF ab Ende April 21 und 22 untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die Stängel sind deshalb das Hauptproblem, weil innerhalb von 20 Tagen der Rohproteingehalt unter 12 % fällt. (s. Tab.). Zwischen Ende April bis Anfang Juni verdoppelt sich die Wuchshöhe von 35 auf über 70 cm als auch der Rohfasergehalt von 25 auf fast 50 % und der Stängelanteil steigt von 40 % auf über 60 % an. Der Futterwert in den unteren 20 cm der Pflanze sinkt besonders schnell. Aber nur Stängel im Stadium ab Mitte der Blüte aus dem 1. Schnitt erzielen annähernd

befriedigende Ergebnisse für naturfaserverstärkte Kunststoffe. Für einen weiteren Aufwuchs über 65 cm Wuchshöhe fehlt in Regionen mit < 550 mm Niederschlag vermehrt Wasser.

Tab.: Verlauf des Rohproteingehalts (Median XP %) im ersten Schnitt in Abhängigkeit des Schnittzeitpunkts (Beginn der Blüte am 3.6.2022)

	Schnittzeitpunkt 1. Schnitt XP (%)					
	28.4.	4.5.	19.5.	3.6.	16.6.	23.6.
Ganzpflanze	24,3	21,7	20,5	15,2	10,0	9,8
Blätter	27,9	29,3	26,0	21,2	18,2	15,9
Hochschnitt (>20 cm)			25,0	16,0	14,5	12,0
Restpflanze (5-20 cm)			16,7	14,3	9,8	8,9
Stängel	20,2	15,6	11,5	8,2	6,3	6,2

Auch wegen der Schwankungsbreite der Blätter von 15 bis 30 % Rohprotein trotz ≤ 22 % Rohfaser bedarf es einer Diversifizierung in der Verwertung als auch der Erntestrategie. Im 2. Versuchsjahr konnte gezeigt werden, dass alle Anforderungen zur Konservierung von Luzerne nur über den Einsatz eines Doppelmessermähwerks im Frontaubau zu erfüllen ist. Es erlaubt eine Ernte in Schnitthöhen zwischen 12 und 30 cm bei einer hohen Schlagkraft, die Luftzufuhr von unten ermöglicht eine schnelle Bodentrocknung ohne Wenden. Zusammen mit einer Wuchshöhe unter 60 cm und einer Schnitthöhe von ca. 15 cm verbessert sich der Futterwert ohne eine Blattstängeltrennung und die Silierfähigkeit entscheidend. Über hochwertige Luzernesilage um 6,5 statt 5,3 MJ NEL pro kg TM mit 25 % statt 19 % Rohprotein (XP) kann die Extraktionsschrotfütterung bei einer Herdenleistung von 12.000 kg Milch um über 50 % reduziert werden. Erste Ergebnisse mit einem Zyklonabscheider zur Abtrennung der Stängel anstatt eines Mähdreschers mit geringerer Schlagkraft und Trennleistung sind auch für die Fütterung der Monogastrier vielversprechend. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Fasern der Luzerne sich sehr gut für die Herstellung zu Kartonagen und Papier eignen oder in einer Biogasanlage verwertet werden können. Besonders effizient wäre der Stickstoffkreislauf, wenn über die Vapogant-Technologie der Firma Biogastechnik-Süd aus dem Gärsubstrat bis zu 90 % des Ammoniaks extrahiert und Ammoniumsulfat-Lösung (ASL) (≤ 18 % N) hergestellt wird (s. Abb.). Eine Ausweitung und Ökologisierung des konventionellen Feldfutterbau mit Luzerne kann beim Umsatz der EU-Farm to Fork Strategie wertvolle Dienste leisten.

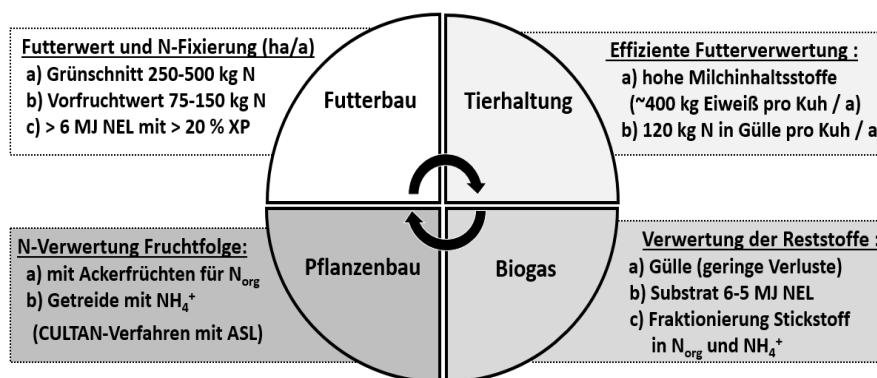


Abb. : Ökologisiertes Produktionssystem mit Luzerneanbau über eine effiziente Stickstoffverwertung in organischer und mineralisierter Form (N_{org} , ASL)

Modeling crop growth and performance in cereal/legume mixture

Dereje T. Demie¹, Madhuri Paul², Sofia Hadir¹, Thomas Gaiser¹, Thomas F. Döring², Daniel Wallach¹ and Sabine J. Seidel¹

¹Crop Science, Institute of Crop Science and Resource Conservation, University of Bonn, Katzenburgweg 5, 53115 Bonn, Germany

²Agroecology and Organic Farming, Institute of Crop Science and Resource Conservation, University of Bonn, Auf dem Hügel 6, 53121 Bonn, Germany

Introduction

Wheat-faba bean mixtures increase significantly productivity and alleviate nitrate leaching and runoff which have implication for the environment in comparison to its respective mono-cropping (Xu et al., 2019). However, the performance of crop mixtures depends on the genotype choice of the species (Demie et al., 2022). Testing a high number of genotypes and their traits on various sites and under different climate and management conditions is costly and laborious. The complex interactions in the mixture can be disentangled by process-based agroecological models (Malézieux et al., 2009). In this study (1), we calibrated a new mixture model using field data (solely treatments); (2) we combined both, above-ground and below-ground competition for light, water and nitrogen in one simulation approach; and (3) we validated the model against the mixture treatments of the three environments.

Material and Methods

The field experiment was conducted at the research facilities Campus Klein-Altendorf (CKA, 2020 and 2021) and Wiesengut (WG, 2020) of the University of Bonn. Treatments included sole crops and 1:1 mixture (replacement design) of twelve spring wheat (*Triticum aestivum* L.) entries (ten cultivars differing mainly in plant height and two 5-component mixtures of these wheat cultivars), and two faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars. All combinations were sown in two sowing densities, 80% (low density, LD) and 120% (high density, HD) of a commonly applied sowing density (100%). The design resulted in a total number of 320 plots per site. Treatments composed of two wheat cultivars with both faba bean cultivars were selected as key treatments (G1) where the data collection (crop development, biomass, plant height, soil moisture, leaf area index (LAI), photosynthetic active radiation, yield) was intensified.

The simulations were conducted with the SIMPLACE modelling platform. To simulate a mixture, the above- and below-ground resources (light, soil water and soil nitrogen) were split between the two species based on the coverage of each species in the mixture, the plant height difference, and the root length density per soil layer. The intensively observed solely key treatments (G1) of the three environments were used for model calibration and the data from the mixture treatments was used for validation. First, model parameters such as seed weight, coverage, maximum plant height, strip width and sowing date were set in the model according to observations or the field design. Then, phenology and growth parameters were calibrated based on the sole cropping key treatments. The other G2 treatments were used for further validation. Here, the cultivars differed only in seed weight and maximal plant height.

Results and Discussion

In general, environment and sowing density affected observed grain yield of both crops and mixture performance significantly. For both, the key treatment (G1) and the other cultivars (G2), the model predicted grain yield with a relative root mean square error (RRMSE) of <0.3 for both faba bean and spring wheat. The model overestimated the grain yield and plant height at the organic site WG for both species which can be explained by the weed competition. The model sufficiently predicted crop growth in mixtures calibrated on sole crops and hence, could help in designing optimal field design and cultivar choice.

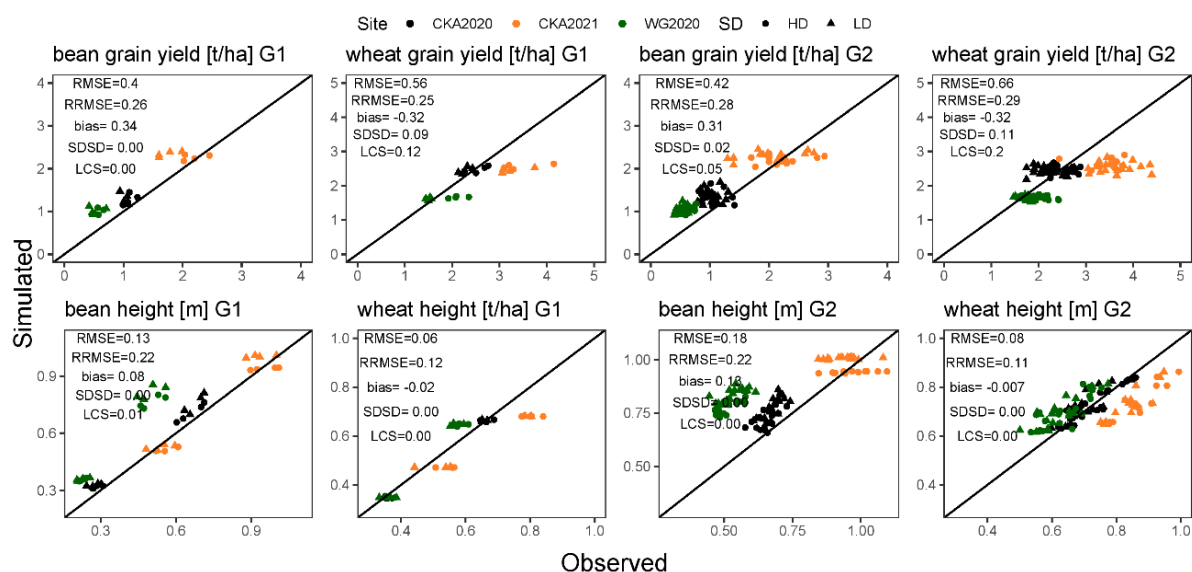


Fig. 1. Model evaluation in mixture. G1 – is key treatment (two wheat and two bean cultivars); G2- rest other cultivars used in experiment (10 wheat cultivars and 2 faba bean cultivars).

Reference

- Demie, D.T., Döring, T.F., Finckh, M.R., van der Werf, W., Enjalbert, J., Seidel, S.J., 2022. Mixture \times Genotype Effects in Cereal/Legume Intercropping. *Front. Plant Sci.* 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.846720>
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., De Tourdonnet, S., Valantin-Morison, M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: Concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 43–62. <https://doi.org/10.1051/agro:2007057>
- Xu, Y., Qiu, W., Sun, J., Müller, C., Lei, B., 2019. Effects of wheat/faba bean intercropping on soil nitrogen transformation processes. *J. Soils Sediments* 19, 1724–1734. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2164-3>

Einfluss von Pflanzenkohle in Kombination mit Rindergülle und Mineraldüngerstickstoff auf den Ertrag von Silomais und Winterweizen

Emanuel Jaufmann, Harald Schmid und Kurt-Jürgen Hülsbergen

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme/Technische Universität München, Freising. E-Mail: emanuel.jaufmann@tum.de

Einleitung

Die Anwendung von Pflanzenkohle kann Bodeneigenschaften und -funktionen verbessern, Kohlenstoff im Boden sequestrieren und zu Ertragssteigerungen führen (Jeffery et al. 2011, Ye et al. 2020). Allerdings ist weitgehend unklar, ob durch Pflanzenkohleanwendung auch Ertragssteigerungen auf Böden gemäßiger Boden-Klima-Regionen in gutem Kulturzustand erzielbar sind. In der landwirtschaftlichen Praxis wird Pflanzenkohle zumeist nicht allein, sondern in geringen Mengen als Futterzusatz, zur Geruchs- und Emissionsminderung im Stall oder als Zusatz bei der Güllelagerung eingesetzt, und in Kombination mit organischen Düngern auf betrieblich genutzte Flächen ausgebracht. Die standortspezifisch optimalen Mischungsverhältnisse und Aufwandmengen von Pflanzenkohle und Gülle sowie deren optimale Kombinationen mit Mineraldüngerstickstoff sind bisher unbekannt, weil Dauerversuche fehlen (Umweltbundesamt 2016). In der Initialphase eines faktoriellen Dauerfeldversuches mit Pflanzenkohle, die vor der Anwendung mit Rindergülle vermischt und gelagert wurde und einer zusätzlichen Mineralstickstoffstaffelung wurde der Ertrag der Kulturen Silomais und Winterweizen untersucht.

Material und Methoden

Die Versuchsfläche liegt auf einer sandig-kiesigen Hügelkuppe im bayerischen Tertiärhügelland (Landkreis Freising) auf 500 m ü. NN. Das Versuchsjahr 2021 war durch einen feuchten Sommer mit optimaler Niederschlagsverteilung gekennzeichnet, während 2022 lange Trockenphasen auftraten.

Die Pflanzenkohle (angestrebte Ausbringungsmengen von 0, 500 und 1000 kg Pflanzenkohle-C ha⁻¹ a⁻¹, hergestellt aus Waldrestholz bei 750 °C in einem Pyreg-Reaktor und bereitgestellt von der Novocarbo GmbH), wurde mehrere Wochen vor der Ausbringung mit der Rindergülle (100 kg N ha⁻¹ a⁻¹) vermischt, in geschlossenen Behältern gelagert und wöchentlich gerührt. Die Ausbringung erfolgte oberflächennah und wurde vor der Maissaat unmittelbar nach der Ausbringung eingearbeitet, während im Winterweizen keine Einarbeitung erfolgte.

Die Mineralstickstoffdüngung (0, 60, 120, 180 kg N ha⁻¹ a⁻¹) erfolgte als Kalkammonsalpeter zu praxisüblichen Düngeterminen.

Geerntet wurde mit einem Parzellenhäcksler mit Wiegefunktion (Silomais) und mit einem Parzellenmähdescher im Winterweizen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit gemischten Modellen mit dem Programm R Studio mit der Mineraldüngung und der Pflanzenkohleanwendung als feste Faktoren und den Randomisationseinheiten sowie dem Versuchsjahr als zufällige Faktoren.

Ergebnisse und Diskussion

Die Trockenmasseerträge des Silomais erreichten 16.8 bis 27.2 t ha⁻¹, der Kornertrag des Winterweizens lag bei 4.5 bis 10.4 t ha⁻¹ (Tab.1.) Alle

Mineralstickstoffstufen erhöhten sowohl den Silomais- als auch den Winterweizenertrag. Die Zugabe von Pflanzenkohle zur Rindergülle führte konsistent in beiden Versuchsjahren zu einem leichten (aber nicht signifikanten) Ertragsrückgang, wenn keine oder eine geringe mineralische Stickstoffdüngung von 0 bzw. 60 kg ha⁻¹ erfolgte. Dieser Effekt wurde bei den höheren Mineralstickstoffgaben von 120 bzw. 180 kg ha⁻¹ nicht beobachtet. Mögliche Erklärungen hierfür sind die Adsorption und Stabilisierung der organischen Substanz während der Güllelagerung an die Oberflächen der Pflanzenkohle und folglich ein verminderter Stickstoffumsatz der Rindergülle (Conte & Laudicina 2017, DeCiucies et al. 2018), der unter nährstofflimitierenden Bedingungen zu einer moderaten Ertragsminderung führte.

Die negativen Ertragseffekte in der Initialphase schließen nicht aus, dass durch Pflanzenkohleanwendung in späteren Phasen des Dauerfeldversuchs Ertragssteigerungen auftreten, da sich die Bodenprozesse erst allmählich verändern und Akkumulationseffekte erwartet werden.

Tab. 1: Silomais- und Winterweizenertrag der güllegedüngten Versuchsvarianten

Mineraldünger-N [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	Pflanzenkohle-C [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]				
	0	60	120	180	
Silomais (2021)	0	19.0	23.2	24.7	26.0
TM-Ertrag [t ha⁻¹]	500	19.7	22.5	25.0	27.2
	1000	16.8	21.7	24.3	27.2
Winterweizen (2022)	0	5.09	7.35	8.88	10.40
Kornertrag [t ha⁻¹]	500	4.74	7.07	8.90	9.89
	1000	4.50	6.64	8.70	10.26
Statistische Analyse					
Pflanzenkohle		n.s.			
Mineraldüngung		***			
Pflanzenkohle x Mineraldüngung		n.s.			

Literatur

- Conte P & Laudicina VA 2017: Mechanisms of Organic Coating on the Surface of a Poplar Biochar. *Current Organic Chemistry* 21: 559–565.
- DeCiucies S, Whitman T, Woolf D, Enders A & Lehmann J 2018: Priming mechanisms with additions of pyrogenic organic matter to soil. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 238: 329–342. DOI: 10.1016/j.gca.2018.07.004.
- Jeffery S, Verheijen F, van der Velde M & Bastos AC 2011: A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144: 175–187. DOI: 10.1016/j.agee.2011.08.015.
- Umweltbundesamt 2016: Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer "veränderter" Biomasse als Bodenhilfsstoffe für die C-Sequestrierung in Böden. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_04_2016_chancen_und_risiken_des_einsatzes_von_biokohle.pdf.
- Ye L, Camps-Arbestain M, Shen Q, Lehmann J, Singh B & Sabir M 2020: Biochar effects on crop yields with and without fertilizer: A meta-analysis of field studies using separate controls. *Soil Use and Management* 36: 2–18. DOI: 10.1111/sum.12546.

Quantifying the effect of phosphorus on leaf area and growth of maize

Shinhye Lee, Filippo Abele, Peteh Mehdi Nkebiwe, Simone Graeff-Hönninger and Sebastian Munz

Agronomy, Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart.
Email: shinhye.lee@uni-hohenheim.de

Introduction

Phosphorus (P) is an essential macro nutrient for plant growth. However, phosphate acquisition by crops can be problematic due to complex interacting biotic and abiotic processes that influence phosphate availability in soil (Walker and Syers, 1976); Hinsinger, 2000). Consequently, low plant-availability of phosphate is an important factor limiting crop yields. P-deficiency can reduce leaf appearance and leaf area, and increase senescence, which all decrease light interception and thus biomass growth of maize (*Zea mays* L.) (Timlin et al., 2017; Colomb et al., 2000). For understanding the effect of P-deficiency on these different processes, experiments with gradients in P supply are necessary.

Materials and methods

A greenhouse pot experiment was conducted with silage maize (cv. Ricardinio; KWS Saat SE, Einbeck, Germany) grown under six different P fertilization levels (P1-P6: 8, 14, 20, 28, 38, and 90 mg P kg⁻¹ soil) at the University of Hohenheim (Stuttgart, Germany) in 2020. Twice per week, the number of leaf tips and collars were counted, and length, width, and percentage of senescent leaf area of each leaf were measured non-destructively. In addition, plants were destructively sampled three times for aboveground dry matter determination during the early development of maize up to the 7th-leaf stage.

Results and discussion

The decrease in P-supply resulted in a lower number of leaf tips (Fig. 1A) and green leaf area per plant (Fig. 1B) starting already 14 days after planting (DAP), and an increase in leaf senescence apparent at 20 DAP (Fig. 1C). The high temporal resolution clearly shows when P-deficiency occurred for the different P-levels compared to P6.

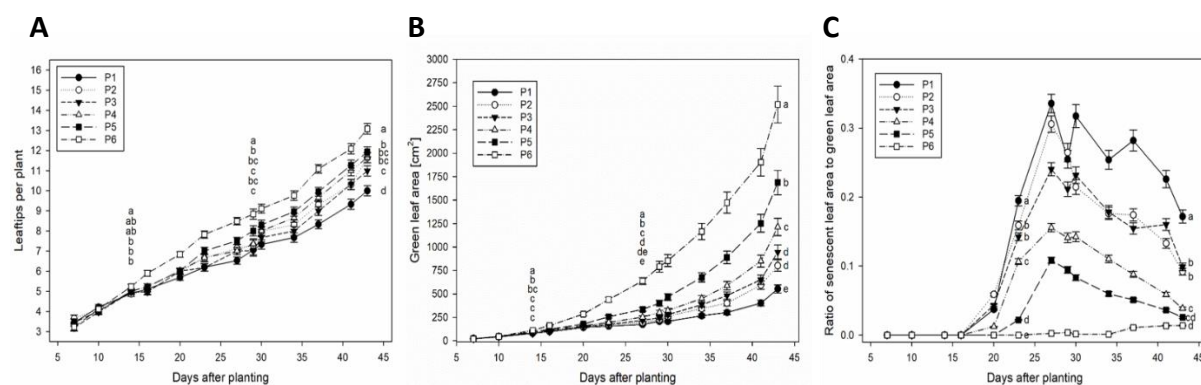


Figure 1. Number of leaf tips (A), green leaf area (B), and ratio of senescent leaf area to green leaf area (C) for the six P-levels (P1 – P6: 8, 14, 20, 28, 38, and 90 mg

P kg⁻¹). Error bars indicate standard error. Different letters indicate significant differences between treatments within a date ($p < 0.05$).

Figure 2 shows aboveground dry weight in DAP 16, 29 and 43. At the low phosphorus rates, the initial growth rates could not be sustained, and aboveground dry matter did not increase greatly over time (Figure 2).

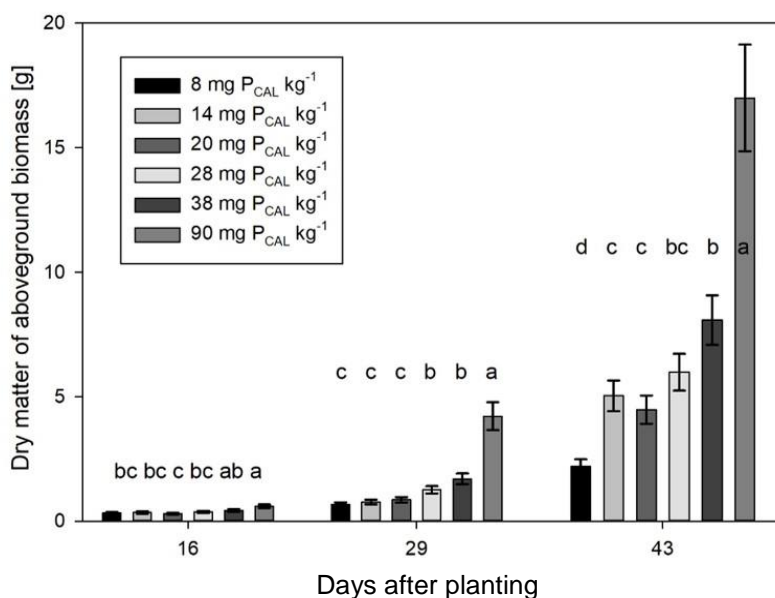


Figure 2. Total aboveground dry matter per plant for the six P-levels (P1 – P6: 8, 14, 20, 28, 38, and 90 mg P kg⁻¹). Error bars indicate standard error. Different letters indicate significant differences between treatments within a date ($P < 0.05$).

The results clearly indicated the impact of low P levels on early maize growth. After the appearance of the fifth leaf, P deficiency became apparent in the plants grown with lower P-level. The onset and degree of reductions in leaf number, individual leaf size, and the increase in leaf senescence followed the P-gradient. Further greenhouse and field experiments are conducted to finally derive response functions for P-deficiency related to leaf area growth, and also photosynthesis, to be used in crop growth models.

Literature

- Colomb, B., Kiniry, J. R., & Debaeke, P. (2000). Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field-grown maize. *Agronomy Journal*, 92(3), 428–435. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.923428x>.
- Hinsinger, P. (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and soil*, 237(2), 173-195. <https://doi.org/10.1023/A:1013351617532>
- Timlin, D. J., Naidu, T. C. M., Fleisher, D. H., & Reddy, V. R. (2017). Quantitative effects of phosphorus on maize canopy photosynthesis and biomass. *Crop Science*, 57(6), 3156–3169. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.11.0970>.
- Walker, T. W., & Syers, J. K. (1976). The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, 15(1), 1-19. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(76\)90066-5](https://doi.org/10.1016/0016-7061(76)90066-5)

Variable Grunddüngung basierend auf dem Nährstoffentzug

Carl-Philipp Federolf, Andreas Truszkowski-Graw, Jörg Jasper und Stefan Reusch

Yara International ASA, Research Centre Hanninghof, Dülmen.
E-Mail: carl-philipp.federolf@yara.com

Einleitung

Die Erträge und somit auch die Nährstoffentzüge, sowie die Verfügbarkeit von Nährstoffen aus dem Boden, können innerhalb einzelner Schläge mitunter erheblich variieren. Kenntnis über Unterschiede zwischen- und innerhalb landwirtschaftlich genutzter Flächen sind für die Bemessung einer bedarfsgerechten Düngung der Nährstoffe Phosphor (P) und Kalium (K) unumgänglich. Konzepte für die teilflächen-spezifische Grunddüngung basieren derzeit meist auf zonenbasierten Bodenunter-suchungen und, wenn vorhanden, der Ertragskartierung von Erntemaschinen (Lorenz & Münchhoff, 2015; Mallarino et al., 1999).

Die Qualität der daraus resultierenden Entscheidungsempfehlungen ist wesentlich von der Verwertbarkeit der Einflussgrößen Bodennährstoffkarte und Ertragskarte abhängig. Insbesondere bei der Ertragskartierung schränken Fehler bei der Kalibrierung der Messtechnik, sowie der Datenaufzeichnung und -interpretation seit Einführung der Technik die Nutzbarkeit ein (Lyle et al., 2014). Zudem ist der herstellerübergreifende Austausch von Daten nach wie vor eine wesentliche Barriere zur Nutzung in der landwirtschaftlichen Praxis.

Hier vorgestellt wird ein Konzept, das fernerkundlich erstellte Ertragskarten als Basis für eine fruchtfolgeübergreifende, die Nährstoffabfuhr ausgleichende Grunddüngung verwendet.

Material und Methoden

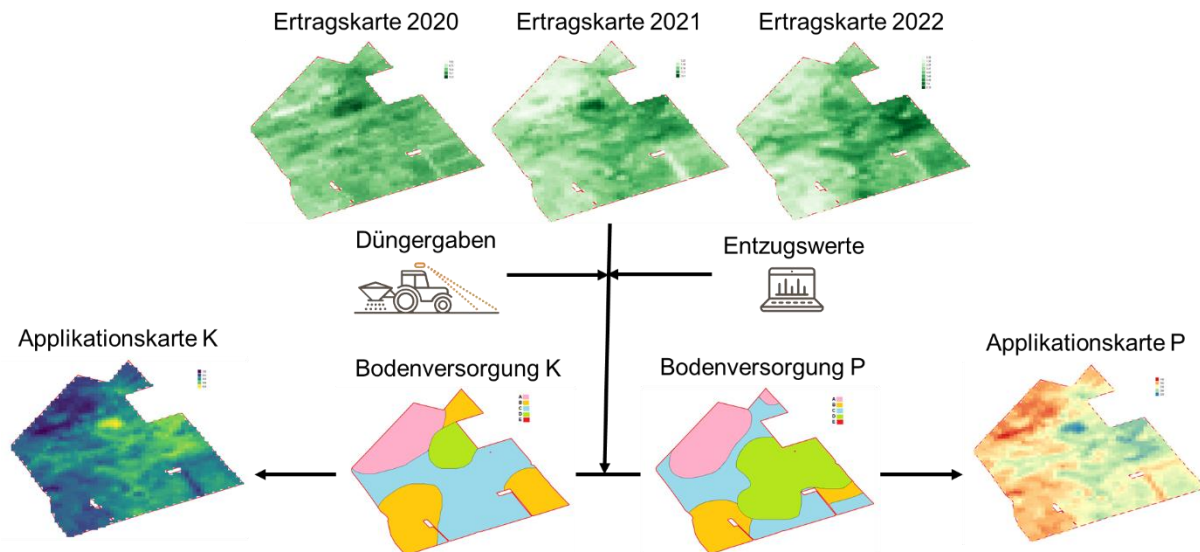
Im Artikel „Ertragskartierung aus Satellitenbildern“ derselben Autorengruppe in diesem Tagungsband ist beschrieben, wie rückblickend Ertragskarten erstellt werden können. Für jedes Pixel dieser Karten werden mit Hilfe von kulturspezifischen Nährstoffentzugskoeffizienten die mit der Ernte entzogenen Nährstoffmengen be-rechnet und so pro Saison eine Nährstoffentzugskarte erstellt.

Die Nährstoffentzüge der in der Fruchtfolge angebauten Kulturen werden auf-summiert und den im Rahmen der Fruchtfolge applizierten Nährstoffmengen gegenübergestellt. Der für jedes Pixel errechnete Nährstoffbedarf wird auf der Basis der in der Bodenuntersuchung ermittelten Nährstoffgehaltsklassen mit ent-sprechenden Zu- beziehungsweise Abschlägen korrigiert (vgl. Wiesler et al., 2018). Die ausgegebenen Applikationskarten (vgl. Grafik 1) werden in einem maschinen-lesbaren Format exportiert.

Ergebnisse und Diskussion

Das vorgestellte Konzept zur teilflächenspezifischen Grunddüngung ermöglicht es, auf Basis einer begrenzten Datengrundlage schnell und einfach Applikationskarten zu erstellen. Im Gegensatz zur Verwendung von Ertragskarten aus Mähdreschern ist der Aufwand für die Datenvorbereitung sehr gering, da für die Entzugsberechnung lediglich die Schlaggrenzen mit den jeweiligen Kulturarten für den relevanten Anbauzeitraum benötigt werden. Somit kann eine wesentliche Barriere zur Anwendung teilflächenspezifischer Grunddüngung überwunden werden.

Die Verwendung von Bodenuntersuchungsergebnissen und der daraus abgeleiteten Bodennährstoffklassifizierung ist optional und kann grundsätzlich sowohl schlageinheitlich als auch durch Einbeziehung entsprechender Bodengehaltskarten (wie in Grafik 1 dargestellt) erfolgen. Eine Schwierigkeit in der praktischen Umsetzung ergibt sich nach wie vor aufgrund unterschiedlicher Datenformate. Dies gilt nicht nur für die Bodennährstoffkarten sondern auch für Applikationskarten variabler Düngung innerhalb der Fruchtfolge, die zunehmend Einzug in die landwirtschaftliche Praxis hält und zukünftig in das Konzept integriert werden soll.



Grafik 1: Schematische Darstellung der Erstellung von Applikationskarten für die Grunddüngung von P und K basierend auf erstellten Ertragskarten und den daraus errechneten Entzügen, der Bodenversorgung und vom Landwirt applizierten Düngergaben.

Literatur

- Lorenz, F., & Münchhoff, K. (2015). DLG Merkblatt 407 - Teilflächenspezifische Bodenprobennahme und Düngung.
- Lyle, G., Bryan, B. A., & Ostendorf, B. (2014). Post-processing methods to eliminate erroneous grain yield measurements: review and directions for future development. *Precision Agriculture*, 15, 377–402.
- Mallarino, A. P., Wittry, D. J., Dousa, D., & Hinz, P. N. (1999). Variable-rate phosphorus fertilization: On-farm research methods and evaluation for corn and soybean. *Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture*, 687–696.
- Wiesler, F., Appel, T., Dittert, K., Ebertseder, T., Müller, T., Nätscher, L., Olf, H.-W., Rex, M., Schweitzer, K., Steffens, D., Taube, F., & Zorn, W. (2018). VDLUFA Standpunkt - Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf.

Effects of phosphate fertilizer type and soil liming on shoot growth, P uptake, and yield of two maize cultivars

Fangfang Ning, Peteh Mehdi Nkebiwe, Sebastian Munz
and Simone Graeff-Hönninger

Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart.

E-Mail: fangfang.ning@uni-hohenheim.de

Introduction

Phosphorus (P) is an essential, nonrenewable, and finite resource that is indispensable for crop production. The crop P use efficiency (PUE) of rock phosphate (RP) is low whereas that of diammonium phosphate (DAP) is high (Abbasi et al., 2015). During the process of mining RP to the production of P-fertilizers and pesticides, around 30% of P in RP can be lost to the environment (Wang et al., 2020). Therefore, a maize cropping system designed to improve the PUE of RP will not only save the costs for more expensive DAP fertilizers but can also reduce P losses in the production chain.

Materials and methods

The experiment was conducted at the experimental station 'Oberer Lindenhof' of the University of Hohenheim, located in the south of Germany, in 2020. The field was defined as 0.9 mg P 100 g⁻¹, the lowest class 'A' (very poor) according to the classification system in Germany. Three experimental factors were investigated (i) two P-fertilizer types, DAP and RP, (ii) lime application, Lime and No lime, and (iii) two maize cultivars, 'Stabil' and 'Ricardinio'. Shoot biomass and P-concentration were measured at two growth stages (six-leaf stage and harvest).

Results and discussion

The results showed that DAP increased shoot dry biomass by 245% at the six-leaf stage and by 38% at harvest compared with RP (Figure 1). However, the effects of cultivar and lime application were not significant.

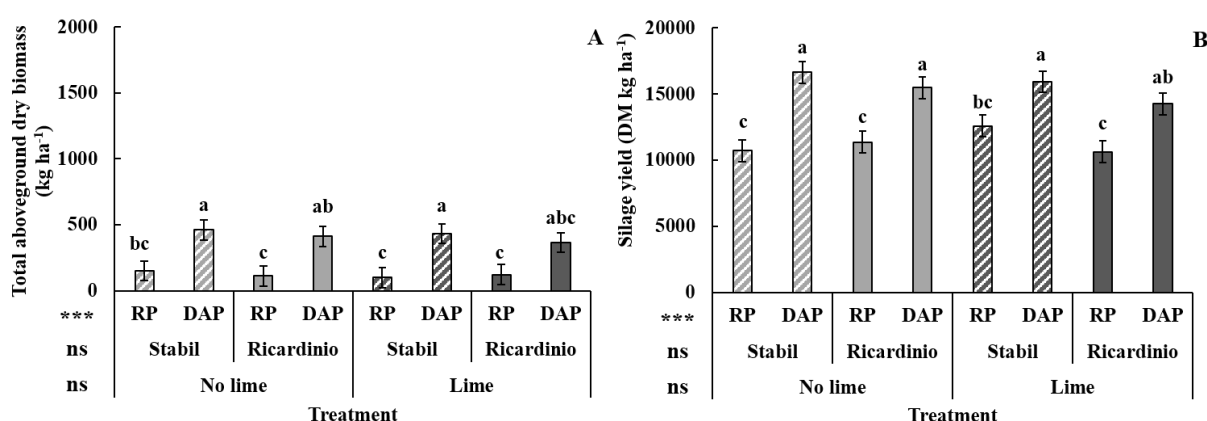


Figure 1 Effects of P fertilizer type, cultivar, and soil liming on total aboveground dry biomass at the six-leaf stage (A) and silage yield at harvest (B).

Shoot P concentration at the six-leaf stage was 33% higher with the application of DAP compared with RP (Figure 2A). P fertilizer type, cultivar, and soil liming had no effects on plant P concentration at harvest (Figure 2B).

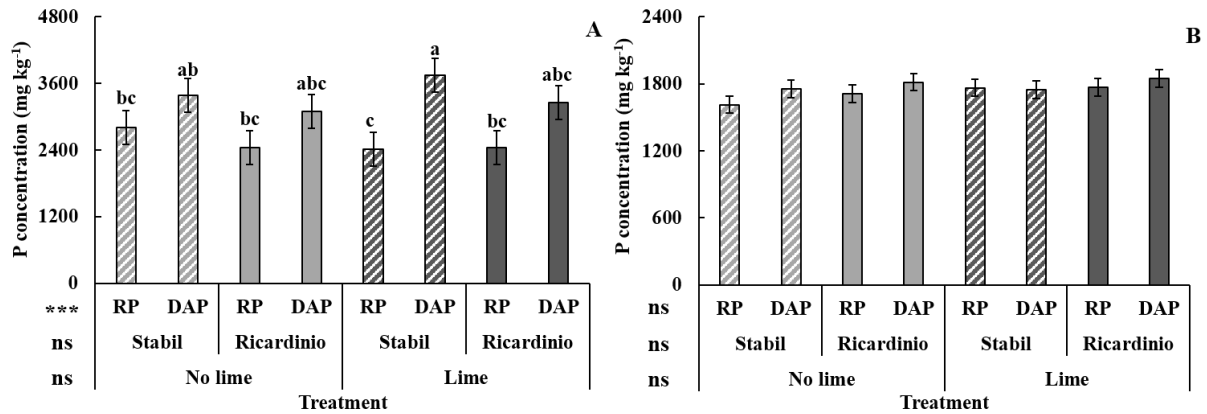


Figure 2 Effects of P fertilizer type, cultivar, and soil liming on plant P concentration at the six-leaf stage (A) and harvest (B).

At harvest, the interactions P fertilizer type * cultivar and P fertilizer type * lime application were significant for plant P content. On average, combining cultivar and soil liming, the application of DAP increased plant P content by 24% compared with RP (Figure 3).

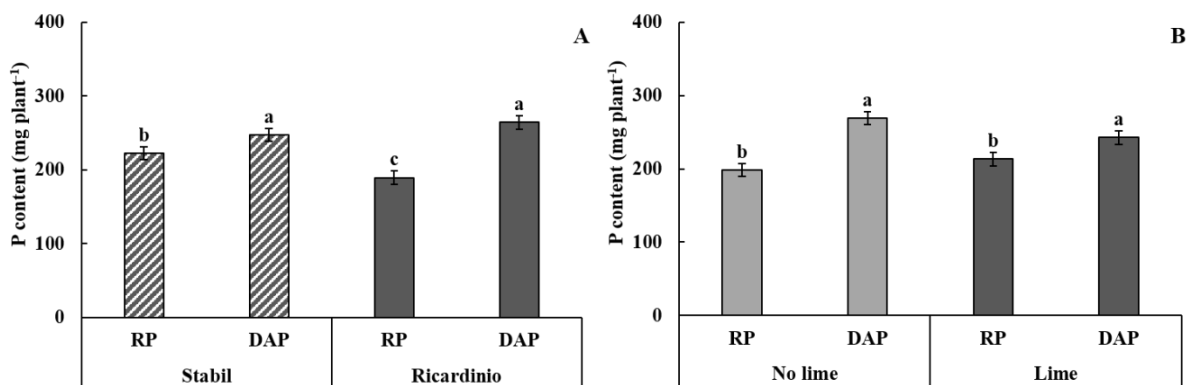


Figure 3 Interaction of P fertilizer type and cultivar (A), and P fertilizer type and soil liming (B) on plant P content at harvest.

In conclusion, the experiment in 2020 did not indicate that RP can replace DAP in silage maize production under the tested experimental conditions.

References

- Abbasi, M.K., Musa, N., & Manzoor, M. (2015). Mineralization of soluble P fertilizers and insoluble rock phosphate in response to phosphate-solubilizing bacteria and poultry manure and their effect on the growth and P utilization efficiency of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Biogeosciences*, 12(15), 4607–4619.
- Wang, Z.H., Hartmann, T.E., Wang, X.H., Cui, Z.L., Hou, Y., Meng, F.L., Yu, X.C., Wu, J.C., & Zhang, F.S. (2020). Phosphorus flow analysis in the maize based food-feed-energy systems in China. *Environmental Research*, 184, 109319.

Nährstoffstress in Medizinisches Cannabis während der Blütezeit - Auswirkungen verschiedener organischer und mineralischer Düngemittel auf Biomasse, CBD-Ertrag und Nährstoffnutzungseffizienz

Danilo Crispim Massuela¹, Sebastian Munz¹, Jens Hartung², Peteh Mehdi Nkebiwe³
und Simone Graeff-Hönninger¹

¹Agronomy, Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart; ²Biostatistics, Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart; ³Department of Fertilization and Soil Matter Dynamics, Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart.
E-Mail: danilo.crispimassuela@uni-hohenheim.de

Einleitung

Indoor-Anbausysteme für medizinisches Cannabis ermöglichen den ganzjährigen Anbau, und bieten eine bessere Kontrolle über die Gesamtproduktion, mit einem höheren Grad an Spezialisierung, Modifizierung der Umweltbedingungen und Induktion von abiotischem Stress bei den Pflanzen (Malík et al., 2021). Indoor-Systeme sind jedoch energie- und ressourcenintensiv (Madhusoodanan, 2019; Wartenberg et al., 2021) und haben aufgrund des hohen Wasser- und Düngemittelverbrauchs negative Auswirkungen auf die Umwelt durch Wasser-, Luft- und Bodenverschmutzung (Zheng et al., 2021). Daher ist der optimierte Einsatz von Mineraldüngern in der derzeitigen kommerziellen Cannabisproduktion von entscheidender Bedeutung, um die Auswirkungen auf die Umwelt zu verringern, indem der Einsatz von Mineraldüngern reduziert oder durch organische Düngemittel ersetzt wird. Es ist bekannt, dass abiotischer Stress wie Nährstoffmangel die Produktion von Sekundärmetaboliten in Pflanzen auslösen kann, die für die Verteidigung und das Überleben der Pflanze wichtig sind (Aguirre-Becerra et al., 2021). Folglich ist es von größter Bedeutung zu erforschen, ob die kontrollierte Induktion von Nährstoffstress während der Blüte die Produktion von Cannabinoiden steigern kann, was zu einer höheren agronomischen Effizienz der Nährstoffnutzung führt, ohne die Biomasse zu verringern, und somit die Effizienz des Cannabinoidertrags pro Pflanze/Fläche für die zugeführte Nährstoffmenge optimiert. In Anbetracht der begrenzten Anzahl von Studien zu Düngestrategien für medizinisches Cannabis und der relativen Bedeutung von N, P und K für das Pflanzenwachstum ist der Vergleich von mineralischen und organischen Düngemitteln und die Auswirkung von Nährstoffentzug auf die Cannabinoid-Produktion von entscheidender Bedeutung, um genauere Empfehlungen für Düngerregime zu erarbeiten.

Material und Methoden

In diesem Versuch werden zwei Düngemitteltypen (mineralisch und organisch) in drei Verdünnungen (80, 160 und 240 mg N L⁻¹) verglichen, um die Auswirkungen des Nährstoffentzugs während der Blüte auf die Biomasse, den Cannabidiol (CBD)-Ertrag und die Nährstoffnutzungseffizienz von N, P und K zu bewerten. Beide Düngerlösungen wurden gemischt und so zubereitet, dass sie die gleiche Konzentration an Makronährstoffen (N, P, K, Ca und Mg) enthalten, basierend auf den Angaben des Herstellers. Während der Anbauphase wurden zwei Ernten in der

vegetativen Phase (22 und 36 Tage nach der Pflanzung (DAP)) und vier Ernten in der Blütephase (54, 69, 83 und 99 DAP) durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Dies ist die erste Studie, die zeigt, dass es möglich ist, den Düngereinsatz zu reduzieren und gleichzeitig den CBD-Ertrag von medizinischem Cannabis zu erhalten. Obwohl der Ertrag der Blütenstände bei der letzten Ernte zurückging, wurde dies durch eine höhere CBD-Konzentration kompensiert - ein Trend, der bei allen Düngemitteltypen zu beobachten war. Darüber hinaus stellten wir fest, dass die höhere Nährstoffnutzungseffizienz von N, P und K durch eine stärkere Mobilisierung und Verlagerung von Nährstoffen erreicht wurde, was die Nutzungseffizienz der erworbenen Nährstoffe erhöhte. Unterschiede im CBD-Ertrag zwischen den Düngemitteltypen traten nur bei der letzten Ernte auf, wo die höhere CBD-Konzentration die geringere Trockenmasse der Blütenstände nicht ausgleichen konnte. Unsere Ergebnisse zeigten eine geringere Aufnahme- und Verwertungseffizienz für den organischen Dünger.

Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen 160 und 240 traten nur in den letzten Wochen der Blütenentwicklung auf, da sie in diesem Stadium die größte Senke darstellen.

Generell zeigen die Zahlen eine höhere Nährstoffaufnahme und agronomische Nutzungseffizienz für mineralische im Vergleich zu organischen Behandlungen. Außerdem ist eine effizientere Nutzung von Düngemitteln festzustellen, wenn die Pflanzen unter Nährstoffstress stehen (bei der Behandlung 160 im Vergleich zu 240). Die Unterschiede zwischen den Düngemittelkonzentrationen sind bei den mineralischen Behandlungen ebenfalls ausgeprägter, was die höhere Verfügbarkeit - und damit die höhere Nährstoffaufnahme - der Nährstoffformen in mineralischem Dünger im Vergleich zu organischem Dünger unterstreicht.

Schließlich wird dies durch die viel höhere agronomische Nutzungseffizienz (AEinfloreszenzen) von Mineraldüngern wiedergegeben, die bei den 160 Behandlungen doppelt so hoch war wie die organische.

Die Ergebnisse zeigen eine geringe P-Aufnahme bei beiden Düngemitteltypen. Schließlich konnten Pflanzen unter Nährstoffstress (160) ihre agronomische Nährstoffnutzungseffizienz erhöhen, um im Vergleich zu gut gedüngten Pflanzen (240) einen CBD-Ertrag zu erzielen. Der AECBDyield für N und K stieg bei den organischen Düngern um 34 % (von 0,47 auf 0,35) und bei den Mineraldüngern um 72 % (von 0,76 auf 0,44). Mit der Düngemittelkonzentration 160 wurden also 95 % des CBD-Ertrags von 240 erzielt, während die Nährstoffzufuhr um ein Drittel geringer war.

Literatur

- Malík, M., Velechovský, J., and Tlustoš, P. (2021). The overview of existing knowledge on medical cannabis plants growing. *Plant, Soil and Environment* 67 (2021), 425–442. doi: 10.17221/96/2021-PSE.
- Madhusoodanan, J. (2019). Can cannabis go green? *Nature* 572, S8–S9. doi: 10.1038/d41586-019-02526-3.
- Wartenberg, A. C., Holden, P. A., Bodwitch, H., Parker-Shames, P., Novotny, T., Harmon, T. C., et al. (2021). Cannabis and the Environment: What Science Tells Us and What We Still Need to Know. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 8, 98–107. doi: 10.1021/acs.estlett.0c00844.
- Zheng, Z., Fiddes, K., and Yang, L. (2021). A narrative review on environmental impacts of cannabis cultivation. *Journal of Cannabis Research* 3, 35. doi: 10.1186/s42238-021-00090-0.
- Aguirre-Becerra, H., Vazquez-Hernandez, M. C., Saenz de la O, D., Alvarado-Mariana, A., Guevara-Gonzalez, R. G., Garcia-Trejo, J. F., et al. (2021). "Role of Stress and Defense in Plant Secondary Metabolites Production," in *Bioactive Natural Products for Pharmaceutical Applications Advanced Structured Materials.*, eds. D. Pal and A. K. Nayak (Cham: Springer International Publishing), 151–195. doi: 10.1007/978-3-030-54027-2_5.

Einfluss von Stickstoff und Zink auf den Gehalt an ätherischen Ölen in verschiedenen *Mentha*-Genotypen

Charlotte Hubert¹, Alexander Langen¹, Katharina Luhmer^{1,2}, Marcel Dieter Moll¹ und Ralf Pude^{1,2}

¹ INRES – Nachwachsende Rohstoffe/Universität Bonn; ² Campus Klein-Altendorf/Universität Bonn.
E-Mail: charlotte.hubert@uni-bonn.de

Einleitung

Ätherische Öle sind der wichtigste Inhaltsstoff der *Mentha* sp. und Bestandteil vieler Produkte der Lebensmittel- und Pharmaindustrie (Anwar et al., 2019). Vor allem die Nährstoffversorgung der Pflanze kann hier einen entscheidenden Einfluss auf Pflanzenvitalität und Öl-Ausbeute haben (Lothe et al., 2021). Daher wurde der Einfluss einer Stickstoff- (N) und einer Zink-Düngung (Zn) sowie einer kombinierten Düngung aus N und Zn auf drei *Mentha*-Genotypen (*Mentha* × *piperita* ‘Multimentha’, *Mentha* × *piperita* ‘Fränkische Blaue’ und *Mentha rotundifolia* ‘Apfelminze’) untersucht. Dabei standen sowohl der ätherische Ölgehalt als auch die physiologische Reaktion der Pflanzen im Fokus.

Material und Methoden

Die Genotypen wurden über Kopfstecklinge vermehrt und pro Genotyp (‘Multimentha’, ‘Fränkische Blaue’, ‘Apfelminze’) wurden 44 Pflanzen in 0,5 l Töpfen unter Gewächshausbedingungen kultiviert, jeweils 11 pro Genotyp und Düngevariante (Kontrolle, N, Zn, N+Zn). Verwendet wurde das „TYPical“ Substrat (Kekkilä-Brill Substrates GmbH, Vantaa, Finnland). Als Stickstoffdünger wurde der Flüssigdünger „MONO Stickstoff“ (CANNA Deutschland GmbH, Kleve) mit 16,9 % Gesamtstickstoff genutzt. Als Zinkdünger wurde das wasserlösliche Zinkchelate der Raiffeisen Rhein-Ahr-Eifel verwendet. Enthalten sind 93 g Zink/l als EDTA, dies entspricht 9,3 %. Ausgebracht wurden 1,5 ml/l „MONO Stickstoff“ und 0,1 ml/l Zinkchelate. Die Düngergaben erfolgten wöchentlich über die achtwöchige Versuchslaufzeit (Januar bis März 2022). Währenddessen wurden folgende Parameter erfasst: Pflanzenhöhe (in cm), Biomasse (FM und TM; in g/Pflanze) zum Erntezeitpunkt, Vegetations-Indices (PolyPen RP 400 (UV-VIS), Photon Systems Instruments, Drásov, Tschechische Republik) sowie der ätherische Ölgehalt mittels Wasserdampfdestillation („behrotest“, Behr Labortechnik) bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Bei den Parametern Wachstum, Biomasse und Ölgehalt zeigten die Düngungen mit N und N+Zn signifikant höhere Werte als die Düngung mit Zn und die Kontrolle. Die reine N-Düngung wies die höchsten Werte auf. Dabei erreichte ‘Multimentha’ am letzten Boniturtermin eine Höhe von 21,4 cm nach einer N-Düngung und erreichte in dieser Düngevariante so die größte Pflanzenhöhe. Sowohl unter Kontrollbedingungen (13,1 cm) als auch einer N+Zn-Düngung (20,2 cm) oder reinen Zn-Düngung (12,6 cm) wies die ‘Apfelminze’ die höchste Pflanzenhöhe auf. Während ‘Multimentha’ unter Kontrollbedingungen einen TM-Ertrag von 10,6 g/Pflanze erzielte, lag dieser nach einer N-Düngung bei 21,2 g/Pflanze. Bei dem ätherischen Ölgehalt (Abb. 1) zeigte auch die ‘Multimentha’ mit 1,6 ml/100 g TM nach einer reinen N-Düngung den höchsten Wert, bei der N+Zn-Düngung waren es 1,5 ml/100 g TM. ‘Fränkische Blaue’ erzielte 1,5 ml/100 g TM (N) und 1,4 ml/100 g TM (N+Zn)

wohingegen die Kontrolle 0,6 ml/100 g TM aufwies. 'Multimentha' erreichte bei N+Zn-Düngung für den REIP1-Index, durch den sich Rückschlüsse auf den Stickstoffgehalt ziehen lassen (Boochs et al., 1990), mit 720 einen signifikant höheren Wert als die 'Apfelminze' mit 716 und damit eine höhere Nährstoffversorgung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich eine N-Düngung ertragssteigernd auswirkte und der Genotyp 'Multimentha' dabei mit der größten Steigerung in Biomasse und Ölgehalt reagierte. Eine Zn-Düngung bedeutete keine signifikante Erhöhung der Ölgehalte. Rückschlüsse auf die Öl-Zusammensetzung und demnach der Qualität können jedoch nicht gezogen werden. Daher sind weitere Experimente geplant, welche eine Öl-Analyse anschließen.

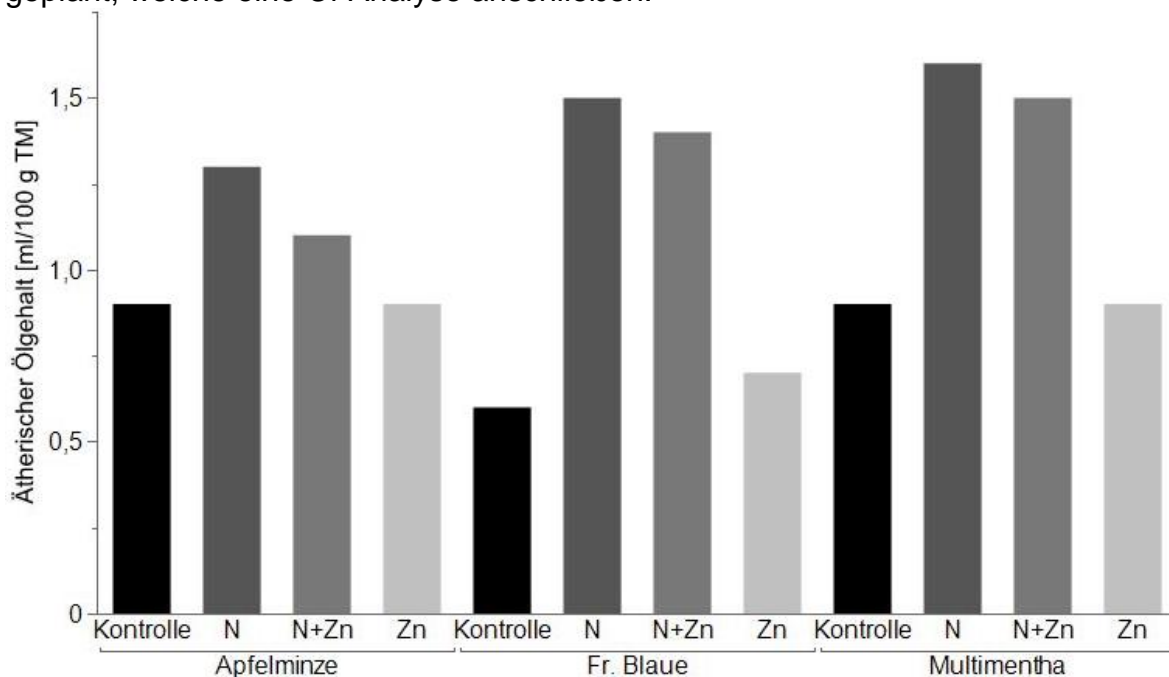


Abb. 1. Gehalt ätherischer Öle [ml/100 g TM] der drei *Mentha*-Genotypen 'Multimentha', 'Fränkische Blaue' und 'Apfelminze' je Düngevariante (N: reine Stickstoffgabe; N+Zn: Stickstoff- und Zinkapplikation; Zn: Zinkdüngung) nach Einfachbestimmung ($n=1$).

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie - EXC 2070 - 390732324 - gefördert.

Literatur

- Anwar, F., Abbas, A., Mehmood, T., Gilani, A.-H. & Rehman, N.-U. (2019). Mentha: A genus rich in vital nutra-pharmaceuticals-A review. *Phytotherapy research: PTR*, 33 (10), 2548–2570. <https://doi.org/10.1002/ptr.6423>
- Boochs, F., Kupfer, G., Dockter, K., Kühbauch, W. (1990). Shape of the red edge as vitality indicator for plants. *International Journal of Remote Sensing*, 11 (10), 1741–1753. <https://doi.org/10.1080/01431169008951127>
- Lothe, N.-B., Mazeed, A., Pandey, J., Patariya, V., Verma, K., Semwal, M., Verma, R.-S., Verma, R.-K. (2021). Maximizing yields and economics by supplementing additional nutrients for commercially grown menthol mint (*Mentha arvensis* L.) cultivars. *Industrial Crops and Products*, Volume 160. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113110>

Einfluss von Pflanzenkohle auf Ammoniakemissionen nach Gülleausbringung

Winkhart, F., Jaufmann, E., Schmid, H. und Hülsbergen, K.-J.

Technische Universität München, TUM School of Life Science, Lehrstuhl für ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, E-Mail: felizitas.winkhart@tum.de

Einleitung

Der Einsatz von Pflanzenkohle (PK) im Ackerbau wird zunehmend als potentieller Beitrag zur Entwicklung einer klimaschonenden Landwirtschaft und zur Sicherung der natürlichen Bodenfunktionen diskutiert. Durch die Einbringung von Pflanzenkohle in den Boden kann die Speicherfähigkeit für Wasser und Nährstoffe erhöht werden und damit die Bodenfruchtbarkeit langfristig verbessert werden. Es kommt zu einer dauerhaften Humusanreicherung und die CO₂-Bindung der Flächen steigt (Woolf et al., 2010). Die Düngerwirkung kann gesteigert werden und eine kombinierte Anwendung von PK und Gülle kann sich positiv auf die Erträge auswirken (Ye et al., 2020).

Bezüglich der NH₃-Emissionen bei PK Anwendung gibt es bis jetzt kontroverse Erkenntnisse. Einerseits sollen durch die große Oberfläche der PK Geruch und Emissionen gemindert werden (Clough et al., 2013), andererseits soll sich die PK auf den pH-Wert auswirken und sowohl diesen als auch die NH₃-Emissionen erhöhen (Kim et al., 2021). Andere Studien wiederum konnten keinen Effekt der Kohle auf die Emissionen nachweisen (Tan et al., 2018).

Material und Methoden

Der Versuch wurde im Jahr 2021 angelegt, befindet sich in Thalhausen (ca. 30 km nördlich von München, 48°26'14.1"N 11°39'43.6"E) und wird konventionell bewirtschaftet (Mais – Winterweizen – Wintergerste). Hinsichtlich der NH₃-Emissionen wurden folgende Varianten untersucht: 1. Null (ungedüngte Kontrollvariante) 2. Gülle (gedüngt mit 100 kg ha⁻¹ N in Form von Rindergülle), 3. PK1 (100 kg ha⁻¹ N (Rindergülle) kombiniert mit 500 kg ha⁻¹ C durch Pflanzenkohle) und 4. PK2 (100 kg ha⁻¹ N (Rindergülle) kombiniert mit 1000 kg ha⁻¹ C durch Pflanzenkohle).

NH₃-Emissionen wurden mit der Dräger-Tube-Methode (DTM) nach Pacholski et al. (2006) gemessen. DTM ist eine Kammermethode zur Erfassung von Ammoniakverlusten aus der Bodenoberfläche und ist für Parzellenversuchen im Freiland geeignet. Die Vorrichtung besteht aus vier voneinander getrennten Kammern, die an der Unterseite geöffnet sind und direkt auf dem Boden platziert werden können. Die Kammern sind über Leitungen an eine tragbare elektrische Pumpe angeschlossen. Die Luft wird aus den Kammern über die Leitungen direkt in ein Indikatorröhrchen gesaugt, welches an der Pumpe befestigt wird. Ist Ammoniak in der angesaugten Luft enthalten, verfärbt sich das gelbe Bromphenolblau blau. Die Messung erfolgte sieben Tage lang direkt nach der Düngerausbringung und fünf Mal täglich. Die Berechnung der NH₃-Flüsse folgte durch multiple lineare Regression, wobei Temperatur, Windgeschwindigkeit sowie Luftdruck berücksichtigt wurden (Pacholski et al., 2006).

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 a und b stellen die Ergebnisse der Jahre 2021 (Gülle eingearbeitet) und 2022 (Gülle oberflächlich) dar. Auffallend ist, dass in beiden Jahren die mit PK

behandelten Varianten mehr NH_3 emittierten. Im Jahr 2021 erreichte PK2 $8,5 \text{ kg ha}^{-1}$ $\text{NH}_3\text{-N}$ und damit mehr als doppelt so viel wie Gülle ($3,9 \text{ kg ha}^{-1}$ $\text{NH}_3\text{-N}$). Im Jahr 2022 waren die Emissionen der gedüngten Varianten allgemein höher als im Jahr zuvor. Die Varianten PK1 und PK2 erreichten mit $21,2 \text{ kg ha}^{-1}$ $\text{NH}_3\text{-N}$ und $20,3 \text{ kg ha}^{-1}$ $\text{NH}_3\text{-N}$ knapp mehr als die Variante Gülle ($19,1 \text{ kg ha}^{-1}$ $\text{NH}_3\text{-N}$). Durch die Einarbeitung der Dünger im Jahr 2021 zur Maissaat verringern sich die Emissionen erheblich (Maguire et al., 2011). Die Verringerung der Verflüchtigung kommt durch Verhinderung der Aufwärtsdiffusion und der erneuten Bindung von Ammonium an die Bodenpartikel zustande (Rochette et al., 2013).

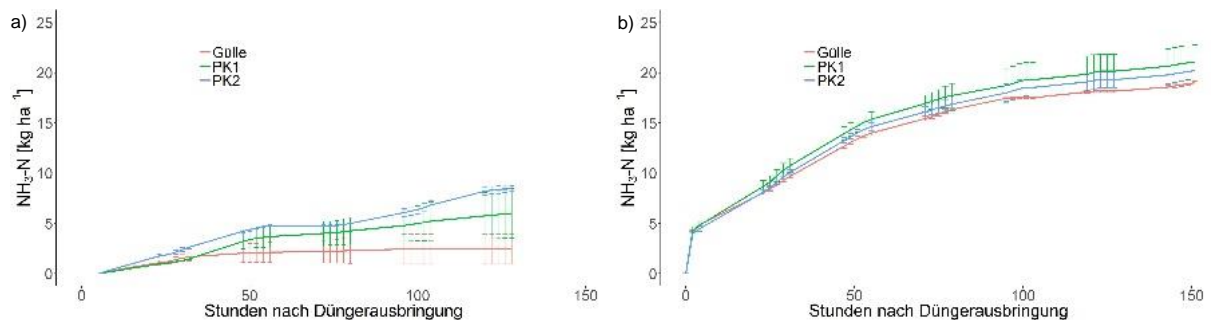


Abb. 1 a: NH_3 -Emissionen nach Düngerausbringung (Gülle und Gülle mit PK kombiniert) im konventionellen Maisanbau. Die Gülle wurde eingearbeitet. Die Messungen wurden vom 15.04. bis zum 20.04.2021 durchgeführt. **1 b:** Im Jahr 2022 wurde die Gülle oberflächlich mit dem Schleppschlauch in den Weizenbestand ausgebracht. Die Messungen fanden vom 23.03. bis zum 30.03.2022 statt.

Die Ergebnisse zeigen, dass es einen Einfluss von Pflanzenkohle auf die NH_3 -Emissionen gibt. Dieser war 2021 bei der Einarbeitung (vor Mais) stärker als bei der Oberflächendüngung im Jahr 2022 (vor Winterweizen). Im Jahr 2021 emittierten die mit PK behandelten Varianten mehr als doppelt so viel ($8,5 \text{ kg ha}^{-1}$ $\text{NH}_3\text{-N}$) wie die Variante mit reinem Wirtschaftsdünger ($2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ $\text{NH}_3\text{-N}$). Im Jahr 2022 waren die Emissionen allgemein höher und erreichten $20,2 \text{ kg ha}^{-1}$ $\text{NH}_3\text{-N}$ bei der Behandlung mit 500 kg ha^{-1} C PK.

Die Datengrundlage zum Einfluss von PK auf NH_3 -Emissionen in Feldversuchen ist dürftig und muss dringend erweitert werden.

Literatur

- Clough, T., Condon, L., Kammann, C. & Müller, C. (2013). A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics. *Agronomy*, 3(2), 275–293. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020275>
- Kim, M.-S., Min, H.-G., Koo, N. & Kim, J.-G. (2021). Response to Ammonia Emission Flux to Different pH Conditions under Biochar and Liquid Fertilizer Application. *Agriculture*, 11(2), 136. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020136>
- Pacholski, A., Cai, G., Nieder, R., Richter, J., Fan, X., Zhu, Z. & Roelcke, M. (2006). Calibration of a simple method for determining ammonia volatilization in the field – comparative measurements in Henan Province, China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74(3), 259–273. <https://doi.org/10.1007/s10705-006-9003-4>
- Tan, G., Wang, H., Xu, N., Liu, H. & Zhai, L. (2018). Biochar amendment with fertilizers increases peanut N uptake, alleviates soil N_2O emissions without affecting NH_3 volatilization in field experiments. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8817–8826. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1116-6>
- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J. & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1, 56. <https://doi.org/10.1038/ncomms1053>
- Ye, L., Camps-Arbestain, M., Shen, Q., Lehmann, J., Singh, B. & Sabir, M. (2020). Biochar effects on crop yields with and without fertilizer: A meta-analysis of field studies using separate controls. *Soil Use and Management*, 36(1), 2–18. <https://doi.org/10.1111/sum.12>

A Collaborative Software Architecture for Data Analysis and Exploration in Plant Science

Jean-Pascal Lutze and Finn Gaida

NoMaze UG, München, E-Mail: *Jean-Pascal.Lutze@NoMaze.de*

Einleitung

Plant breeding and plant science are crucial for ensuring future food security in the face of climate change and a growing global population. With the projected doubling of overall food demand by 2050, relying solely on land expansion for cultivation will prove insufficient [1]. To address this challenge, it is necessary to enhance the efficiency of plant cultivation and utilization through various approaches, including genetic modification[2], marker-based selection, and improved data processing and selection[3]. Each of these factors represents a distinct research field, involving both universities and commercial enterprises. This work specifically focuses on the processing of plant data, which encompasses a wide range of data types in plant sciences, such as genetic, phenotypic, and image data, thereby making the field highly complex. Additionally, plant data is intricately linked to its domain, necessitating domain experts for its analysis, setting plant science apart from other major data generation domains.

Material und Methoden

The aim of our work is to investigate plant sciences, analyze their data processing practices, identify major challenges, and develop an intelligent software solution to support this vital field. To gain insight into their daily work, we engaged with numerous plant experts and explored existing software tools, with a specific emphasis on unique use cases. Notably, we focused on the head-to-head comparison of different plants in various environments, comparing them against existing methods and adapting our software solution accordingly.

Ergebnisse und Diskussion

Through this iterative process, we identified the primary difficulties hindering further efficiency improvement in current plant sciences. Firstly, domain experts expressed the desire for an intuitive and visually accessible approach to examining their data, avoiding the need for complex programming, unlike the elaborate evaluation methods employed by plant breeders such as PCA[4] or BLUP [5]. Consequently, an ideal software solution should prioritize user-friendliness, enabling the easy assembly of complex evaluations and fostering collaboration.

Based on our research findings, we embarked on developing software that maximizes its alignment with the needs of plant scientists. We opted for a web-based platform to eliminate the need for individual user installations, thereby facilitating accessibility. The software's performance is independent of the user's device capabilities. The web-based solution can be utilized in the cloud or deployed on-premises at the user's site to meet higher data security requirements. Moreover, the web-based solution enables seamless sharing and discussion of steps and results with colleagues. Considering different levels of expertise, the software incorporates a hierarchical user management system, granting specific users access only to relevant elements. Additionally, admin users can assign different processing

programs to different users. This user hierarchy necessitates user authentication to ensure data security.

To accommodate the complex processing requirements of all types of plant scientists, the software provides a simple way to program using a no-code, block-based programming language [6]. It offers a library of predefined processing and calculation blocks, ranging from basic filters to PCA and curve-fitting methods. These blocks can be easily dragged and dropped into a working environment and interconnected, simulating the flow of data. Consequently, changes in one block affect the subsequent blocks. This approach enables the provision of complex processing and calculations without the need for writing a single line of code. We refer to these interconnected blocks as pipelines. Pipelines can be saved for future reference, which is crucial for reporting purposes, and can be easily shared with colleagues, enabling them to apply the same processing steps to their own data.

In summary, the developed software prioritizes user-friendliness without compromising the complexity of its processing capabilities. All processing steps are visually accessible and interactive, ensuring that users develop a comprehensive understanding of their data. Processed data and visual results can be effortlessly shared and saved for future documentation. Through our work, we significantly enhance the efficiency and insights into plant scientists' data.

Literatur

- [1] Valin, Hugo, et al. "The future of food demand: understanding differences in global economic models." **Agricultural Economics** 45.1 (2014): 51-67.
- [2] Bortesi, Luisa, and Rainer Fischer. "The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond." **Biotechnology advances** 33.1 (2015): 41-52.
- [3] Shakoor, Nadia, et al. "Big data driven agriculture: big data analytics in plant breeding, genomics, and the use of remote sensing technologies to advance crop productivity." **The Plant Phenome Journal** 2.1 (2019): 1-8.
- [4] Hölker, Armin C., et al. "European maize landraces made accessible for plant breeding and genome-based studies." **Theoretical and Applied Genetics** 132 (2019): 3333-3345.
- [5] Robinson, George K. "That BLUP is a good thing: the estimation of random effects." **Statistical science** (1991): 15-32.
- [6] Sanchis, Raquel, et al. "Low-code as enabler of digital transformation in manufacturing industry." **Applied Sciences** 10.1 (2019): 12.

Zuckerrübe der Zukunft: Modell- und datenbasierte Ertragsszenarien für eine klimaangepasste Selektion der Züchtung (Beets4Future)

Finn Großmann, Till Rose und Henning Kage

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung/Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel;
E-Mail: grossmann@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Die Zuckerrübe ist weltweit einer der bedeutendsten Zuckerlieferanten und wichtiger Baustein einer nachhaltigen Zuckerproduktion (FAO 2023a, Märländer et al. 2003). Ihre hohen Standortansprüche machen sie allerdings auch sehr empfindlich gegenüber Trockenstress, welcher schon heute die Hauptursache für nicht ausgeschöpftes Ertragspotential ist und im Zuge des Klimawandels weiter an Bedeutung gewinnen wird (Jones et al. 2003, Shretsha et al. 2010). Vor allem in der EU, dem größten Zuckerrübenproduzenten der Welt gibt es aufgrund der genannten Aspekte enormen Forschungsbedarf (FAO 2023b, Pidgeon et al. 2001). Im von der BLE geförderten Projekt soll dazu gemeinsam mit den Projektpartnern, der KWS Saat SE & Co. KGaA und der Helmholtz-Zentrum hereon GmbH untersucht werden, wie Zuckerrüben genotypen in Merkmalen, die ihre Trockenstresstoleranz determinieren, variieren, welche Ertragsszenarien aus der gegebenen Bandbreite an Klimaszenarien folgen und welche pflanzenzüchterischen Anpassungsmaßnahmen geeignet sind, um den Auswirkungen des Klimawandels entgegenzuwirken. Anpassungsmaßnahmen könnten zum Beispiel eine angepasste Wahl des Selektionsstandortes oder die Integration von indirekten Selektionsmerkmalen sein. Der räumliche Fokus des Projektes liegt hierbei auf relevanten Anbau- und Züchtungsgebieten Mitteleuropas.

Material und Methoden

Das Projekt umfasst Feldversuche mit drei großen Sortimenten mit 100 Genotypen an den Standorten Leeheim (Hessen, Deutschland), Échemines (Aube, Frankreich) und Monselice (Venetien, Italien) und zwei kleinen Sortimenten mit sechs Genotypen an den Standorten Hohenschulen (Schleswig-Holstein, Deutschland) und Einbeck (Niedersachsen, Deutschland). Durch die Kombination von Phänotypisierungstechnik im Feldversuch, modellgestützter Analyse und Interpretation der Phänotypisierungsdaten sowie Szenarienrechnungen unter Einbeziehung von Klimaszenarien sollen Anpassungsstrategien erarbeitet werden, die Züchter und Praktiker helfen auch unter den suboptimalen Bedingungen des Klimawandels weiterhin erfolgreich Zuckerrüben zu züchten und anzubauen. Hierzu werden spektrale Reflexions- und Thermographiedaten erhoben, im Modell analysiert und simultan deren Eignung für die Erfassung indirekter Selektionsmerkmale überprüft. Außerdem wird mithilfe digitaler und klassischer Phänotypisierung ein Zuckerrüben-Wachstumsmodell parametrisiert und validiert. Dazu finden am Standort Hohenschulen, an dem die sechs Genotypen im Split-Plot-Design mit vier Wiederholungen in einer bewässerten und einer unbewässerten Variante angelegt sind, regelmäßig Zeiternten statt. Es werden Frisch- und Trockenmassen der Organe sowie die Blatt- und Stängelfläche erfasst, drohnen- und kamerabasierte Aufnahmen gemacht und Rammkernsondierungen durchgeführt, um Durchwurzelungstiefe und -intensität zu bonitieren. Zudem werden

wöchentlich Bodenwassergehalte mit dem Sentek Diviner gemessen. Von allen Versuchen werden zur Ernte Ertrags- und Qualitätsdaten erhoben.

Ergebnisse und Diskussion

Das erste Versuchsjahr ist noch nicht abgeschlossen. Bisher kann eine gute Entwicklung der Feldversuche beobachtet werden. Auf Hohenschulen ist mittlerweile ein gegenüber den unbewässerten Varianten deutlich besser entwickelter Blattapparat der bewässerten Varianten zu erkennen. Dies spiegelt sich auch in den gemessenen Bodenwassergehalten wieder. Zudem stellt sich die momentane Witterung als sehr günstig für die Beantwortung der Versuchsfragestellungen dar. Die Modellierung mit älteren Wetterdaten ergab eine gute Prognosegenauigkeit des Zuckerrüben-Wachstumsmodells. Auch beim Abgleich der Ertragsmodellierung von modellierten Daten des Helmholtz-Zentrums mit alten, gemessenen Wetterdaten konnten zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden, die die am Projekt beteiligten Partner zuversichtlich auf die Prognosegüte der Zukunftsszenarien blicken lassen. Die verfügbaren Ergebnisse des ersten Versuchsjahres werden zur Tagung dargestellt.

Literatur

- FAO (2023a): FAOSTAT. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, zuletzt aktualisiert am 19.06.2023, zuletzt geprüft am 27.06.2023.
- FAO (2023b): FAOSTAT. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, zuletzt aktualisiert am 19.06.2023, zuletzt geprüft am 27.06.2023.
- Jones PD, Lister DH, Jaggard KW, Pidgeon JD (2003). Future Climate Impact on the Productivity of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Clim. Change* 58(1):93–108
- Pidgeon JD, Werker AR, Jaggard KW, Richter GM, Lister DH, Jones PD (2001). Climatic impact on the productivity of sugar beet in Europe, 1961-1995. *Agric. For. Meteorol.* 109(1):27–37
- Märländer B; Hoffmann C; Koch H-J; Ladewig E; Merkes R; Petersen J; Stockfisch N (2003). Environmental Situation and Yield Performance of the Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 189(4), 201–226. doi:10.1046/j.1439037x.2003.00035.x
- Shrestha N, Geerts S, Raes D, Horemans S, Soentjens S, Maupas F, Clouet P (2010). Yield response of sugar beets to water stress under Western European conditions. *Agric. Water Manage.* 97(2):346–350

Using the CROPGRO Chickpea Model to predict phenology and yield of various chickpea cultivars grown in South-western Germany

Meylin Terrel Gutierrez and Simone Graeff-Hönninger

Institute of Crop Science, Agronomy, University of Hohenheim, Stuttgart
E-Mail: Meylin.Terrel_Gutierrez@uni-hohenheim.de

Kurzfassung

The combination of global warming and an increasing population is expected to strain the world's food systems in the coming decades. Farmers and others stakeholders in the agricultural and food sectors need to take action by coping with climate change, delivering healthy and nutritious food, and sustainably managing soil and water resources. In this context, chickpeas should be introduced into crop rotations in South-Western Germany as they can potentially better cope with increasing drought in certain areas caused by climate change than other conventional grains. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) can be a crop for the future in Germany as it has very deep roots and adapts very well to dry and warm regions. Moreover, the increasing demand for plant-based proteins in the last years supports chickpeas future production and demand. Chickpeas are also a good source of vitamins, amino acids, minerals, contain fibres that cause satiety, and also regulate blood pressure.

A cropping system for chickpea under the environmental conditions of Baden Württemberg is being developed within the framework of the CICERO Project*, where the adaptation of chickpea cultivars, crop management practices and further processing like drying, preparation and suitability of the variety for various end products are taken into account. The model requires inputs of management practices, soil and environmental conditions, and cultivar-specific traits to predict daily growth and development. Therefore, field trials are carried out over multiple seasons between 2022 and 2024 with different cultivars and various management practices in two research stations of the University of Hohenheim. This research study presents a first attempt to use the existing the CROPGRO-Chickpea model to predict phenology and yield of various chickpea cultivars grown in South-western Germany. Accordingly, the modelling approach can help to come up with an improved cropping system and clear recommendations for famers.

* Real lab chickpeas - Establishment of chickpea cultivation in Baden-Württemberg for a sustainable supply of regional, high-quality proteins (CICERO). Project duration: 2022-2024.

Ursachen der Sink-Limitierung bei der Ertragsbildung von Zuckerrüben – Projektionen für zukünftige Anbaubedingungen

Anna Jacobs

Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-Mail: jacobs@ifz-goettingen.de

Einleitung

Verschiedentlich zeigten Studien, dass die Bildung von Zuckerrüben- und Zuckerertrag einer Sink-Limitierung unterliegt (z. B. Manderscheid et al. 2010). Ein exaktes Verständnis über physiologische Prozesse dieser Limitierung und der treibenden abiotischen Faktoren liegt aktuell nicht vor. Somit ist diese physiologische Limitierung in gängigen Ertragsprognosemodellen nicht berücksichtigt (Söder et al. 2022). Das vorgestellte Projekt soll physiologische Gründe für die Sink-Limitierung aufdecken. Zum anderen sollen abiotische Treiber (z. B. Wasserversorgung) für Zeitpunkt und Ausmaß der Sink-Limitierung identifiziert werden. Ziel ist es, im Rahmen einer Projektkooperation (siehe Beitrag von Harfouch et al.) ein Sink-Limitierungsmodul in Ertragsbildungsmodelle integrieren zu können. Besonderes Augenmerk bekommt der Einfluss zukünftiger abiotischer Bedingungen, u. a. Strahlung, veränderter Wasser- und Stickstoffversorgung sowie erhöhter CO₂-Konzentration.

Material und Methoden

Thematische Schwerpunkte der Gewächshaus- und Feldversuche bilden zukünftige abiotische Bedingungen und deren Effekte auf physiologische Prozesse in unterschiedlichen Wachstumsphasen (Jammer et al. 2020). Dabei werden Parameter der Ertragsbildung und insbesondere der Kohlenstoffpartitionierung in Blatt und Rübe untersucht.

Im Jahr 2023 wird in einer Free-Air-CO₂-Enrichment (FACE) -Anlage des Forschungszentrums Jülich der Effekt einer erhöhten atmosphärischen CO₂-Konzentration (600 ppm) auf Blattflächenindex, Rübenkopfdurchmesser und mikroklimatische Parameter (Bodenfeuchte, Bodentemperatur) im Verlaufe der Vegetationsperiode an zwei Zuckerrübensorten geprüft. Ferner werden ober- und unterirdischer Biomasse- sowie der Zuckerertrag ermittelt.

Zukünftige Feldversuche in den Jahren 2024 und 2025 werden unterschiedliche Wasser- und Stickstoffversorgungen zum Schwerpunkt haben.

In Gewächshausversuchen wird der Einfluss von Trockenstress, Strahlung, Länge von Licht- und Dunkelphasen und CO₂-Konzentration insbesondere auf die frühe Entwicklungsphase und ohne Einfluss von biotischen Stressoren untersucht werden.

Ergebnisse und Diskussion

Ergebnisse lagen zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrages noch nicht vor. Der Beitrag wird Blattflächenindices aus dem FACE-Versuch vorstellen. Hierbei werden eine veränderte Blattentwicklung und leicht erhöhte Erträge bei erhöhter CO₂-Konzentration erwartet (Manderscheid et al. 2010). Untersuchungen zur Reaktion von verschiedenen Zuckerrübensorten liegen bislang nicht vor.

Eine wesentliche Herausforderung dieses Projektes sind die ungeklärten physiologischen Interaktionen von Kohlenstoffpartitionierung und abiotischen Bedingungen in makroskopisch nicht unterscheidbaren Entwicklungsphasen. Zum Beispiel zeigten frühe Arbeiten die von Licht- und Dunkelphasen getriebene Dynamik

von Synthese und Abbau von Stärke und Zucker in jungen Rübenblättern (Fondy et al. 1989). Diese lassen einen jahreszeitlichen Effekt auch auf die Zuckerverlagerung in die Rübe vermuten – genaueres ist jedoch unbekannt. Ferner gibt es Hinweise auf einen Einfluss der atmosphärischen CO₂-Konzentration auf den Gehalt von Stärke im Blatt (Fox und Geiger 1984; Gewächshaus) sowie von löslichen Kohlehydraten im Stiel (Manderscheid et al. 2010; Feld), was auf einen Assimilatestau im Blatt hinweist. Weiterhin ist grundsätzlich bekannt, jedoch nicht quantifiziert, dass der ungestörte Ablauf der frühen Entwicklungsphase der Zuckerrüben entscheidend ist für den finalen Ertrag und somit die Sink-Kapazität der Rübe in einer späteren Akkumulationsphase (Jammer et al. 2020; Ebmeyer und Hoffmann 2022).

Dieser Komplexität an Fragestellungen und Faktoren ist nur durch umfangreiche destruktive Beprobungen und einer Ausgewogenheit von kontrollierten abiotischen Faktoren und Feldbedingungen zu begegnen. Moderne Verfahren, wie pulse-labelling, sensorische Methoden und Genomanalysen können zielführend zur Klärung beitragen. Fachliche Diskussionsbeiträge sind willkommen und an die Autorin zu richten.

Literatur

- Ebmeyer, Henning; Hoffmann, Christa M. (2022): Water use efficiency of sugar beet genotypes: A relationship between growth rates and water consumption. In: *J Agron Crop Sci* 208 (1), S. 28–39. DOI: 10.1111/jac.12569.
- Fondy, B. R.; Geiger, D. R.; Servaites, J. C. (1989): Photosynthesis, Carbohydrate Metabolism, and Export in *Beta vulgaris* L. and *Phaseolus vulgaris* L. during Square and Sinusoidal Light Regimes. In: *Plant Physiol.* 89 (2), S. 396–402. DOI: 10.1104/pp.89.2.396.
- Fox, T. C.; Geiger, D. R. (1984): Effects of decreased net carbon exchange on carbohydrate metabolism in sugar beet source leaves. In: *Plant Physiol.* 76 (3), S. 763–768. DOI: 10.1104/pp.76.3.763.
- Jammer, Alexandra; Albacete, Alfonso; Schulz, Britta; Koch, Wolfgang; Weltmeier, Fridtjof; van der Graaff, Eric et al. (2020): Early-stage sugar beet taproot development is characterized by three distinct physiological phases. In: *Plant direct* 4 (7), e00221. DOI: 10.1002/pld3.221.
- Manderscheid, Remy; Pacholski, Andreas; Weigel, Hans-Joachim (2010): Effect of free air carbon dioxide enrichment combined with two nitrogen levels on growth, yield and yield quality of sugar beet: Evidence for a sink limitation of beet growth under elevated CO₂. In: *Eur. J. Agron.* 32 (3), S. 228–239. DOI: 10.1016/j.eja.2009.12.002.
- Söder, Mareike; Berg-Mohnicke, Michael; Bittner, Marlene; Ernst, Stefan; Feike, Til; Frühauf, Cathleen et al. (2022): Klimawandelbedingte Ertragsveränderungen und Flächennutzung (KlimErtrag): Johann Heinrich von Thünen-Institut.

Accounting for soil input uncertainty in large-scale crop model simulations for winter oilseed rape in Germany

Michelle Viswanathan, Asmae Meziane, Peter Horney, Maria Quade,
Ashifur Rahman Shawon and Til Feike

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow. E-Mail: Michelle.Viswanathan@julius-kuehn.de

Introduction

Winter oilseed rape (WOSR) is an important oil crop in Germany, where it is cultivated on about 1 million ha corresponding to 9% of total arable land in 2022 (Statistisches Bundesamt). WOSR requires high nitrogen (N) fertilization and is characterized by low nitrogen use efficiency (NUE). This is problematic due to the environmental risk of N leaching into the groundwater and also resulting in high agricultural emissions of N₂O, a potent greenhouse gas with a warming potential 298 times that of CO₂ for a 100-year timescale (IPCC, 2014). Plant breeding research has focused on developing new genotypes to improve NUE (Stahl et al., 2019). In addition to genetic factors, it is also essential to understand the interactions of these genotypes with the environment. Soils for example, their texture, organic content, pH, etc., influence plant N availability and leaching. Furthermore, the impact of agricultural management practices should be understood to develop sustainable N management strategies while ensuring high crop productivity. Agroecosystems models that simulate these complex interactions can be used for this purpose. They simulate biogeochemical processes in the soil-plant-atmosphere system and provide a mechanistic representation of different environmental effects (Zhang and Yu, 2021). Over the years, these models have been enhanced by improving model process representation and identifying suitable parameter values. However, most models that attempt to emulate natural systems are imperfect representations of reality. Uncertainties exist in model inputs, equations, parameters, and the observations used to calibrate them (Wallach and Thorburn, 2017). Soils, which form important inputs to such models, exhibit spatial heterogeneity not only at regional but also at field-scale (Folberth et al., 2016). Not accounting for this uncertainty in soil properties could lead to unreliable model predictions. In this study, we aim to account for soil-specific uncertainties while calibrating a crop model to WOSR grown in Germany in order to improve crop model predictions.

Materials and Methods

In this study, we calibrate the DSSAT CROPGRO canola model (Jing et al., 2016) to data from official variety trials performed by the Federal Plant Variety Office (Bundessortenamt) for WOSR grown at trial sites across Germany. Bayesian inference is used to calibrate the model to observations of crop phenology and yield components from five reference cultivars grown at the nine most common trial locations across Germany between 2011 and 2020. A total of 30 site-years or growing seasons per cultivar are used. The calibration dataset is not balanced and represents a real-world scenario of data availability. Sensitive model parameters which influence the time from plant emergence to flower appearance, from first flower to first seed, and from first seed to physiological maturity, as well as specific leaf area are estimated. In addition to the model parameters, the soils at the trial location are assumed to be uncertain. The considered site-specific soil type and respective

horizon-wise properties, which are inputs to the model, are based on the BUEK200 soil map from the German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe - BGR). The BUEK200 soil map provides soil profile descriptions along with their percentage of areal share in each spatial unit. These percentages are interpreted as prior information about the probability of a particular soil profile existing at the given trial site. For each trial site, the three profiles with the highest probability are chosen. They are assigned prior weights, which reflect our prior knowledge about their probability of occurrence at the given site. During calibration, these weights are updated along with the crop model parameters. The resultant posterior soil weights provide an indication of which soil profile is most likely to exist at the trial sites, given the crop observations. To validate the resultant model, these posterior model parameters and soil profile weights are used to predict WOSR yields for trials that are not used in model calibration.

Results and Discussion

In this study, we reduce the uncertainty in soil type by calibrating an agroecosystem model to crop observations. The inclusion of soil type uncertainty is expected to result in a more representative estimate of yield prediction uncertainty. This study could provide relevant insights into the importance of soil type on yield simulations. The results could also feed into evaluations of N₂O emissions and overall crop carbon footprints using life cycle assessment.

Literature

- Statistisches Bundesamt; <https://www.destatis.de/EN/Themes/Economic-Sectors-Enterprises/Agriculture-Forestry-Fisheries/Field-Crops-Grassland/Tables/arable-land-after-the-main-groups-and-crops.html?nn=22296>
- IPCC, 2014; Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]; IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Stahl A., Vollrath P., Samans B., Frisch M., Wittkop., Snowdon R.j., 2019; Effect of breeding on nitrogen use efficiency-associated traits in oilseed rape; *Journal of Experimental Botany*, Volume 70, Issue 6, Pages 1969–1986; <https://doi.org/10.1093/jxb/erz044>.
- Zhang Y., Yu Q., 2021; Does agroecosystem model improvement increase simulation accuracy for agricultural N₂O emissions?; *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 297; <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108281>.
- Wallach D., Thorburn P. J., 2017; Estimating uncertainty in crop model predictions: Current situation and future prospects; *European Journal of Agronomy*, Volume 88; <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.06.001>.
- Folberth, C., Skalský, R., Moltchanova, E. et al. Uncertainty in soil data can outweigh climate impact signals in global crop yield simulations. *Nat Commun* 7, 11872 (2016). <https://doi.org/10.1038/ncomms11872>
- Jing, Q., Shang, J., Qian, B., Hoogenboom, G., Huffman, T., Liu, J., Ma, B.-L., Geng, X., Jiao, X., Kovacs, J. and Walters, D. (2016), Evaluation of the CSM-CROPGRO-Canola Model for Simulating Canola Growth and Yield at West Nipissing in Eastern Canada. *Agron. J.*, 108: 575-584. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0401>
- Bundessortenamt: <https://www.bundessortenamt.de/bsa/>
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: <https://www.bgr.bund.de>

A meta-analysis of projected mid-century wheat and maize yields in Germany

Marlene Bittner, Ludwig Riedesel und Til Feike

Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow;
E-Mail: marlene.bittner@julius-kuehn.de

Einleitung

Climate change constitutes a major threat to the future of our planet. With the global population and respective demand for agricultural products expected to further increase until mid-century and climate change exerting increasingly negative impacts on agricultural productivity the question of food security becomes of vital importance. To be able to adapt to climate change and develop climate resilient cropping systems it is crucial to first assess climate change impact on crop production. With more and more studies published over the past two decades, increasing evidence is available regarding the potential impact of climate-related changes on agricultural productivity. However, there is a lack of an integrated assessment of the current state of knowledge regarding climate change impact on crop yields in 2050 in Germany. Therefore, this study aims to summarize and analyse all relevant literature that project yields of winter wheat and silage maize in Germany in the mid-21st century conducting a meta-analysis.

Material und Methoden

20 peer-reviewed papers and reports published since 2005 were selected following a systematic literature review. Available data were extracted from all studies covering change in yield, temperature, precipitation and CO₂-level, as well as information on the study location, modelling approach and considered climate scenario. In total 328 and 478 data points on yield change available for maize and wheat, respectively. Descriptive analysis was used to display relative yield changes according to crop, region, modelling approach and whether or not CO₂-effects were included. Furthermore, a local linear quantile regression was conducted to describe the relationship between relative yield changes and changes in mean temperature, mean precipitation, and CO₂-concentration. Finally, a core dataset was prepared (201 and 65 data points for wheat and maize, respectively), which entailed the yield change information together with all of the three climate variables. A linear mixed-effects model was fitted to determine and quantify the effect of the three climate variables on yield change.

Ergebnisse und Diskussion

The descriptive analysis shows that the vast majority of projected changes in average yields in 2050 vary from -10% to +10% for both crops, while wheat yields tend to increase and maize yields tend to slightly decrease. Moreover, maize is projected to experience mostly negative mean yield changes in eastern and southern Germany. Also statistical models project merely negative yield developments for maize. On the other side, yield increases are projected all-over Germany for wheat. Quantile regression revealed more distinct relations of CO₂-, temperature- and precipitation-change on future yields in wheat compared to maize. The linear mixed-effects model confirmed these results with regard to precipitation showing a strong positive relation with wheat yields but a rather indistinct effect on maize yields.

Accordingly, no effect was found for temperature change on maize yields, but an exponentially negative effect on wheat yields, i.e., slight temperature increase acted positive, while an increase $>2^{\circ}\text{C}$ acted negative on future yields. An increase in CO_2 concentration excerpts positive effects on yields for both crops, with the increase more prominent for wheat than for maize.

One needs to be aware that the depicted climate variables, describe mean seasonal changes in temperature and precipitation. However, future yields are likely to be influenced also by intra-seasonal shifts, e.g., wetter winters and drier springs. Furthermore, the results of the considered studies are influenced by the investigated trial sites, climate models and time slices, as well as the used models, which all entail their uncertainties. Moreover, the applied approaches differ regarding their extent and type of additional information, e.g., farming practices, pest and diseases, adaptation and others, which also influence yields.

Datenerhebung zu Sorte, Pflanztermin und N-Kopfdüngung zur Modellierung von Wachstum und Entwicklung des Weißkohlbaus (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *alba*) auf der Filderebene

J. Pfenning und T. Zimmermann

Universität Hohenheim, Fg. Pflanzenbau, Stuttgart. E-Mail: judit.pfenning@uni-hohenheim.de

Einleitung

Die Metropolregion Stuttgart mit der Filderebene ist durch einen hohen Anteil an Sonderkulturen geprägt, wo, neben anderen, Kohl (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *alba*) für Frischmarkt, Lagerung und Verarbeitung auf ca. 250 ha angebaut wird.

Im Projekt DiWenkLa (Digitale Wertschöpfungskette für eine nachhaltige kleinstrukturierte Landwirtschaft) sollen Möglichkeiten und Bedingungen für einen Einsatz digitaler Technologien in kleinstrukturierten Betrieben entwickelt und erprobt werden. Dazu erhebt Teilprojekt 8 - Gemüsebau - Daten zu Pflanze und Standort während der Kulturdauer von Weißkohl. Diese bilden die Grundlage für eine Modellierung des Pflanzenwachstums, u.a. mit dem prozessorientierten Modell DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (DiWenkLa, 2020). Dies soll die Beurteilung der Wirkung abiotischer Einflussfaktoren (Meiners & Lorenz, 2017) auf Ertrag und Qualität bei Weißkohlpflanzen vereinfachen und dem Anbauer als Entscheidungshilfe dienen, um die Produktionsmittel ökonomisch und ökologisch nachhaltig einzusetzen.

Material und Methoden

Die Weißkohlversuchsflächen befanden sich auf der Filderebene (Filderstadt-Sielmingen, Stuttgart). Diese wurden als Streifenanlage mit drei Wiederholungen, zwei Sorten ('Storidor', 'Zenon'), drei Pflanzterminen und drei Stickstoffstufen als Kopfdüngung (ohne, 50% praxisüblich, praxisüblich) angelegt. Die Auswahl der Flächen und die Kulturführung erfolgten praxisüblich durch den Gemüsebetrieb Bayha (Filderstadt-Sielmingen).

Im Versuchsjahr 2021 erfolgten die Pflanzungen an drei Terminen (i, ii, iii) auf zwei Flächen; Fläche1: i) 9.05.2021 und ii) 12.05.2021 sowie Fläche 2 mit ii) Termin 17.05.2021 und iii) 03.06.2021. Die praxisübliche Stickstoff(N)-Kopfdüngung mit 80 kg N ha⁻¹ erfolgte am 23.7.2023 und die Variante „50% praxisübliche N-Kopfdüngung“ am 04.08.2023. Die Ernte fand am 29.09.2021 statt.

Im Versuchsjahr 2022 erfolgten die Pflanzungen auf nur einer Fläche am i) 05.05.2022, ii) 14.05.2022 und iii) 01.06.2022. Die praxisübliche N-Kopfdüngung mit 70 kg N ha⁻¹, als auch die Variante „50% praxisübliche N-Kopfdüngung“, erfolgten am 20.7.2022. Die Ernte fand am 10.10.2022 statt.

Für die Datenerhebung erfolgten Probenahmen ab der Pflanzung in zweiwöchigem Abstand bis zum N-Kopfdüngungstermin und nachfolgend bis zum Erntetermin im Abstand von vier Wochen. Bei jeder Probenahme wurde die Biomasse (Frisch- und Trockenmasse) des Aufwuchses, getrennt in Pflanzenteile (Wurzel, Strunk, Umblätter, Kopf), Anzahl und Fläche der Umblätter erfasst sowie der N_{ges}-Gehalt der Pflanzenteile bestimmt. Es werden die Ergebnisse der Sorte Storidor vorgestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Zum Erntezeitpunkt unterschieden sich die Frisch- und Trockenmasse des Kopfgewichtes (Ertrag) der Sorte Storidor des ersten und zweiten Pflanztermins, trotz einer Kulturdauer von 158 (2022) bzw. 143 (2021) und 149 (2022) und 140 (2021) Tagen, wenig. Vergleichsweise wiesen die Pflanzen des dritten Pflanztermins, nach einer Kulturdauer von 131 (2022) bzw. 118 (2021) Tagen, ein ca. 500 g (FM) niedrigeres Kopfgewicht auf. Dies weist darauf hin, dass der Effekt der Kulturdauer, trotz deutlich unterschiedlicher Wetterbedingungen in den Versuchsjahren 2021 und 2022, von geringerem Einfluss war.

Die N-Kopfdüngung resultierte bei keinem Pflanztermin in den Versuchsjahren 2021 und 2022 durchgängig in einem höheren Kopfgewicht. In 2022 betrug die Niederschlagsmenge 152 mm im Zeitraum Juli bis Oktober 2022 (Agrarmeteorologie Baden-Württemberg, 2023), im selben Zeitraum im Jahr 2021 201 mm, was keinen messbaren Effekt auf den Ertrag (Kopfgewicht, Frisch- und Trockenmasse) hatte. Dies ist ein Hinweis, Effekt und Termin der N-Kopfdüngung während der Kulturdauer sowie mit Berücksichtigung des Pflanztermins genauer zu betrachten.

Die prozentuale Verteilung der Pflanzenteile Blatt, Wurzel, Strunk und Kopf am Aufwuchs von Pflanzen der Sorte Storidor ohne Kopfdüngung zeigt, dass die Anteile, trotz unterschiedlicher Kulturdauer infolge der drei Pflanztermine, am Erntetermin in gleicher Höhe waren. Diese Information mit Bezug zu Wachstumsverlauf und Entwicklungsstadium kann im Modell zur Beschreibung des Einflusses abiotischer Faktoren genutzt werden.

Literatur

Agrarmeteorologie BadenWürttemberg (2023). <https://www.wetter-bw.de/Agrarmeteorologie-BW/Wetterdaten/Stationskarte>, 06.07.2023

DiWenkLa (2020). <https://diwenkla.uni-hohenheim.de/startseite>, 26.06.2023

Meiners, T., and S. Lorenz. Adaptation strategies to climate change-challenges in the development of measures in the fields of phytochemistry, preservation, environmental behaviour and impact of agricultural chemicals. *Journal für Kulturpflanzen* 69.2 (2017): 69-72

Multi-year yield map generator – An open source software tool for modeling multi-year yield maps

Marco Donat^{1,2}, Jonas Geistert¹, Kathrin Grahmann¹
and Sonoko D. Bellingrath-Kimura^{1,2}

¹Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Germany; ²Institute of Agriculture and Horticulture, Faculty of Life Science, Humboldt University of Berlin, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin, Germany. E-Mail: Marco.Donat@zalf.de

Introduction

Yield maps have become an essential element in precision agriculture to optimize cropping systems and provide information to quantify yield variability. Methods have already been established for filtering and cleaning yield maps generated from combine harvester and identifying management zones. However, these methods have very often been validated with multiannual yield maps that are not publicly available, making comparison between individual methods difficult.

The aim of this study was to develop an open source software tool that realistically models plant yields. Generated yield values correlate spatially and temporally and can be adapted to different use cases by several parameters. Own field geometries can be used. The tool was developed as a module and can be installed using standardized package managers for Python (e.g. *pip*). Generated multi-year yield maps can be used to create data set for new methods to identify management zones.

Material and Methods

The open source software tool was developed in the *Python* programming language. To create multi-year yield maps, a yield value $yield(x,y,t)$ is calculated for each spatial point within a three-dimensional matrix using the following formula:

$$yield(x, y, t) = \frac{\sum_{i=0}^c v_i * e^{-d_i(x,y,t)}}{\sum_{i=0}^c e^{-d_i(x,y,t)}} \quad \text{[Equation 1]}$$

with v_i being the kernel coefficient of the i -th kernel and e the exponential function from the negative distance to the i -th kernel d_i , which is calculated as followed:

$$d_i(x, y, t) = \sqrt{\left(\frac{(x - x_i)}{b}\right)^2 + \left(\frac{(y - y_i)}{b}\right)^2 + \left(\frac{(t - t_i)}{b_t}\right)^2} \quad \text{[Equation 2]}$$

where x,y are the spatial and t the temporal position of the respective point, and x_i,y_i are the spatial and t_i the temporal position of the i -th kernel, b is the scaling factor for the spatial dimension and b_t is the scaling factor for the temporal dimension. The generated yields are subsequently standardized to relative yield values. The yield correlates spatially as well as temporally and can be regulated in its variability via parameters b and b_t . To validate the tool, generated data sets (rand) were compared with real multi-year yield maps from one field (real) for 5 growing seasons each. The cleaning from erroneous data points of raw yield maps was done according to Donat et al. (2022). To test the autocorrelation of the data sets, spatial autocorrelation Moran's I statistic with a distance weights matrix (radius of 40 m) was used. To test for small-scale variation, experimental and fitted variograms were compared. To test

the temporal-spatial stability of normalized yield data, statistical grid pointwise analysis using σ over time was applied (Donat et al. 2022).

Results and discussion

The tool is available as download in an open source repository (Multi-year yield map generator, 2023). Validation with real yield maps showed minor deviations from modeled yields in terms of spatial and temporal variability. Temporal stability analysis showed that the field (real) contained 246 data points with $\sigma > 30$, whereas field (rand) contained 221 data points with $\sigma > 30$ and thus classified as unstable (Fig. 1).

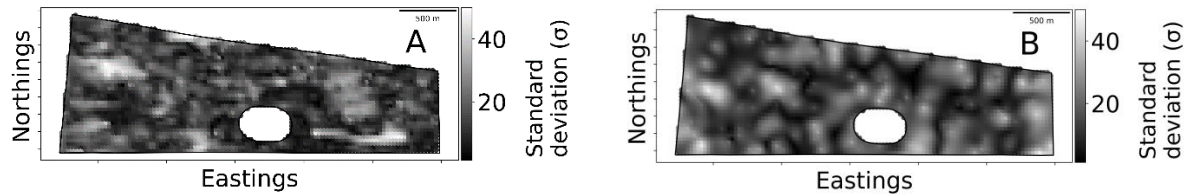


Figure 1. Temporal stability map of all 5 growing seasons with standard deviation of all data points. A) Field (real) and B) Field (rand).

Overall, 54.0% of all grid points of the field (real) showed high and stable yields, 38.5% low and stable yields and 7.5% unstable yields. For the field (rand), 46.0% of all grid points showed high and stable yields, 47.0% low and stable yields and 7.0% unstable yields. The annual yields of the field (real) showed significant global Moran values of 0.73, 0.66, 0.72, 0.72, and 0.66. Similar global autocorrelation was found for the field (rand) with values of 0.83, 0.77, 0.78, 0.79 und 0.75 for each year, respectively.

Table 1. Parameters of best fitted variogram models of multi-year yield maps of field (real) and field (rand)

	Year1	Year2	Year3	Year4	Year5
Field (real)					
Fitted Model	Stable	Stable	Matern	Matern	Matern
Range [m]	138	115	197	168	115
Sill	453	1349	660	508	367
RMSE	9.92	48.2	11.9	11.4	8.1
Field (rand)					
Fitted Model	Matern	Gaussian	Matern	Stable	Gaussian
Range [m]	150	122	133	108	115
Sill	621	523	672	426	482
RMSE	14.3	16.9	18.0	11.2	24.4

Variogram analyses of relative yield values showed strong spatial correlation of yield data for both data sets (Table 1). For both fields, similar ranges of spatial dependency between 108 m and a maximum of 197m were found.

This tool can be used to validate and compare methods of yield map cleaning, spatial

interpolation, and management zone creation.

Acknowledgements

This work was realized through funding from the Digital Agriculture Knowledge and Information System (DAKIS) Project (031B0729A), financed by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF).

References

- Multi-year yield map generator (2023). (<https://github.com/mardonat/Multi-year-yield-map-generator>)
 Donat, M., et al. (2022). "Patch cropping-a new methodological approach to determine new field arrangements that increase the multifunctionality of agricultural landscapes." *Computers and Electronics in Agriculture* 197: 106894

Sensitivity analysis of wheat carbon footprints in Germany

Donghui Ma¹, Ludwig Riedesel¹, Carolin Lichthardt², Dirk Rentel², Friedrich Laidig³, Hans-Peter Piepho³ and Til Feike¹

¹Julius Kühn Institute, Institut for Strategies and Technology Assessment, Kleinmachnow

²Federal Plant Variety Office, Hannover

³University of Hohenheim, Institute of Crop Science, Biostatistics Unit, Stuttgart

E-Mail: Donghui.Ma@julius-kuehn.de

Introduction

Climate change mitigation has emerged as a critical issue in the agricultural sector. Suffering from the consequences of climate change, farmers are aware of the need to reduce greenhouse gas (GHG) emissions. The carbon footprint (CFP) describes the sum of GHG emissions that arise during production of a specific product. It can help as an indicator of the climate change contribution of crop cultivation and respective food products. It can guide farmers' crop management towards low-emission agriculture and allow consumers to take better-informed decisions regarding their food choice (Smith et al., 2013).

To model and quantify the CFP on the level of a product, process, individual, enterprise (e.g., farm) or even country, life cycle assessment (LCA) is widely used. It aims to account all emissions throughout the life cycle of e.g., a specific product. While there are certain standards for LCA including the ISO 14044 (ISO, 2006), the methodology itself bears intrinsic uncertainties and LCA results might differ substantially if conducted by different LCA practitioners. The main reason is that emissions can obviously not be measured throughout the entire production and life cycle of a product, but LCA needs to estimate the emissions building on various assumptions. Hence, the uncertainty evolves from the availability and potential variability of input data or respective assumptions, as well as the applied models and methods used for estimations in different production processes. With respect to crop production, the Life Cycle Inventory (LCI) parameter uncertainties from LCA comprise Activity Data (AD), i.e., types and amounts of inputs and applied production methods, and Emission Factors (EF), i.e., the total GHG emissions expressed in CO₂-equivalents (CO₂e) related to a unit product, e.g., CO₂e kg⁻¹ applied N fertilizer. Another important source of uncertainty in LCA for crop production is associated to the methods used to calculate the direct and indirect N₂O emissions, i.e., IPCC Tier 1 vs. Tier 2 method. Sensitivity analysis combined with uncertainty analysis improves the robustness of LCA results regarding the key drivers of environmental impacts (Röös et al., 2010). It can further assist in identifying areas where additional data or research is required.

While there is awareness on the challenges related to LCI parameters' uncertainty and respective (non-)comparability of CFP results between different studies or industry reports, there is still a lack of empirical evidence regarding the extent and contribution sources of uncertainty in crop production. We choose the case of winter wheat, as the most relevant national and major global crop. Accordingly, the specific objectives of this study are to (i) provide CFP sensitivity estimates for wheat production with different traceability, i.e., certainty of input data, and to (ii) provide novel insights regarding the requirements for precise LCA and respective CFP reporting for winter wheat grain.

Material und Methods

To determine the CFP and related uncertainties of German wheat grain production, comprehensive German-wide on-farm yield and management data would constitute the most suitable information source. However, such data is currently not available. Hence, we utilize the “value for cultivation and use” (VCU) trial data, kindly provided by the Federal Plant Variety Office (Bundessortenamt), which comprises site-, year- and genotype-specific information on crop management and respective yields. The data covers a period from 1983 to 2021 on newly tested winter wheat varieties to be registered and released to the European market. All candidate varieties undergo a period of three years of testing for VCU at multiple sites in Germany. The decision on final approval is made after the third year of testing and we only include approved varieties in our analysis.

The study applies a cradle-to-farm gate LCA, following ISO 14044 guidelines and focusing on climate change impact, i.e. GHG accounting, only. The methodology considers all relevant relationships and emission factors (EF) for GHG fluxes within the boundaries of the study's system. We evaluated two functional units (FU): (1) total GHG emissions per hectare (GHGL; kg CO₂e ha⁻¹) and (2) carbon footprint per unit product (CFP; kg CO₂e kg⁻¹) to measure the life cycle GHG emissions.

We use Monte Carlo simulations and sample values from truncated multivariate normal distributions representing the AD measured in the VCU data and EF available in literature, considering Tier 1 vs. Tier 2 approach additionally. We test selected scenarios of traceability, i.e., availability of AD data, stretching from the case where all AD data for wheat production is available to the case that only yield data is available.

Results und Discussion

We find that the AD of nitrogen input, which accounts for a large part of total GHGL and CFP, is a major source of uncertainty, depending on the considered amounts but also types of N fertilizer applied. Furthermore, the estimation method of N₂O contributes high uncertainty. Additionally, the yield performance plays a significant role in CFP. Similar management intensity and respective GHGL can relate to substantially different yields, depending on the location, year and genotype, leading to considerable variations in wheat grain CFPs in Germany. Our results highlight the uncertainty related to wheat CFP in Germany, also demonstrating the risk for fraud in CFP accounting through purposefully selecting AD and EF to report especially high or low CFP. Accordingly, it is crucial to have accurate AD data available and improve standardization and transparency of CFP accounting and reporting for effective environmental impact assessment and informed decision-making in agricultural systems.

Literature

- ISO (2006). ISO 14044—Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva
- Röös, E., Sundberg, C., & Hansson, P.-A. (2010). Uncertainties in the carbon footprint of food products: a case study on table potatoes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(5), 478-488. <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0171-8>
- Smith, P., Haberl, H., Popp, et al. (2013). How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals? *Global Change Biology*, 19(8), 2285-2302. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.12160>

Improving experimental design for plant competition studies using Functional Structural Plant Models - Showcase in wheat canopies

Emilio Villar Alegria

Albrecht Thaer Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften; Humboldt Universität zu Berlin.
E-Mail: emilio.villar.alegria@hu-berlin.de

Einleitung

Plant competition is a key eco-physiological aspect commonly studied in agronomy by testing different densities in controlled environments and measuring the plastic phenotypic response. Often, the tested treatments follow a qualitative scale by the number of neighbors or planting distance. On its own, this approach fails to directly capture individual effects of each additional plant on resource availability (e.g. light interception) and shade avoidance responses (e.g. red:far red ratio) on the surrounding canopy. These two cues are considered the main drivers for above-ground competition and depend on the developmental stage, the distance between individuals and their relative disposition to the radiation source. Functional Structural Plant Models (FSPMs) allow simulating realistic canopies with integrated physiological responses to the virtual environment conditions. Such models can be used to improve the design of experimental scenarios related to plant competition by quantitatively evaluating the effect of different plant configurations on light quantity and quality through the canopy. The present work displays the potential of FSPM to predict the phenotypic space covered in an asymmetric layout experiment of 0-4 below-ground and 0-8 above-ground neighbors and give insights into prior hypotheses of plant competition experiments.

Material und Methoden

The growth chamber (rhizotrons, artificial lighting system and surrounding walls) in IPK Leibniz-Institut, where the plant competition experiment was planned to be conducted was replicated in GroIMP and added to an already existing mechanistic wheat FSPM in the same platform. A virtual wheat canopy was simulated over 60 days of growth at decreasing densities (plant to plant distances between 0.05-1 m) to determine over time the distance (d-max) at which the shading between consecutive plants would take place. To calculate it, an ANOVA between the different plant distances was performed on the daily intercepted radiation and the highest value that showed significant differences with respect to non-competing plants was established as the d-max. This d-max was subsequently used to estimate the actual number of above-ground neighbors in the proposed setup. An initial asymmetric experimental design with 24 different levels of shoot and root competition, that was hypothesized to cover a wide phenotypic landscape, was simulated in the virtual growth chamber. Its computed daily and accumulated light interception, biomass and R:FR ratio in the virtual canopy over time was correlated to its original qualitative neighbor scale with a fixed d-max.

Ergebnisse und Diskussion

The simulations from the homogeneous stand showed a progressive decrease of $r:fr$ and light interception by the virtual plants with time and higher densities, which resulted in a progressive increase of d_{max} , from 0 cm the first days to reach 30 cm at the end of the simulation. The simulated $R:FR$ ratio plausibly decreased faster than the intercepted light. In the virtual experimental set up, the neighbor scale using a dynamic d_{max} represented better than the fixed d_{max} the competition dynamics for light in the canopy. Consequently, the actual experimental proposal was adjusted to incorporate the model results in the design and will be validated in the physical space.

Projections of sugar yields in Germany, Europe and world-wide from sugar beet under changing climate

Mayssa Harfouch¹, Anna Jacobs², Heinz-Josef Koch², Christa Hoffmann²,
Christine Kenter² und Claas Nendel¹

¹Leibniz-Center for Agricultural Landscape (ZALF), Müncheberg; ²Institute of Sugar Beet Research, Göttingen. E-Mail: mayssa.harfouch@zalf.de

Einleitung

Simulation studies of climate change impact on agricultural production have mostly focused on wheat, maize, soybean and rice (White et al., 2011). Crop models of these crops have been parameterized, evaluated as to CO₂, temperature, water shortage, water excess, and interactions with management factors and intercompared for a selected set of regions to ensure their validity for climate change impact studies (Rosenzweig et al., 2013). This is not the case for the sugar beet crop, whose models were developed at least two decades ago and had rarely been used in climate change impact assessments. It is therefore inappropriate to rely on these models for quantifying the magnitude of climate change impacts on sugar yield from sugar beet. Hence, our research objective is to enhance the existing mechanistic simulation model, MONICA, for accurate prediction of sugar yield. To achieve this goal, we propose a hybrid simulation approach based on coupling MONICA with Machine Learning (ML) models as a tool for facilitating model development. Machine learning algorithms will be used for extracting knowledge and identifying unknown patterns from large datasets, to help improve MONICA.

Material und Methoden

The dynamic, process-based model MONICA (MOdel for Nitrogen and Carbon dynamics in Agroecosystem) (Nendel et al., 2011b) was developed for the assessment of climate change impact on agricultural production and the environment. MONICA proved to be a suitable tool for predicting crop growth and yield formation under current and future climate conditions (Nendel et al., 2011a), analyzing crop management options (Nendel et al., 2014), investigating the coupled effects of climate factors that are predicted to change drastically in the future on crop growth and development (Ewert et al., 2015), and soil processes in Central Europe, which makes it the perfect candidate for our study.

To develop MONICA for sugar beet we will start with an intensive review of existing literature and of research data from the Institute for Sugar Beet Research, as well as other research institutions, universities and experimental stations. In a second step, we will use data mining techniques for the identification of the main factors that govern sugar yield from sugar beet. The new and unknown patterns identified will then be used for the alteration and tuning of the mechanistic simulation model.

Ergebnisse und Diskussion

Preliminary model results using training data from Germany indicate a major decrease in sugar beet yields across the central and western parts of the study area in the future. Figure 1 and 2 provide additional understanding of the changes in sugar beet yield between the future (2031-2060) and present (1971-2000). However, there is room for improvement by further developing the MONICA crop model specifically for the sugar beet and conducting a detailed calibration of the model. Additionally,

incorporating data from other European countries can play a crucial role in testing and validating the accuracy of the model's results. This validation process is essential for utilizing the model as a reliable tool to assist decision makers in taking efficient and early adaptation strategies to prevent future sugar yield losses from climate change.

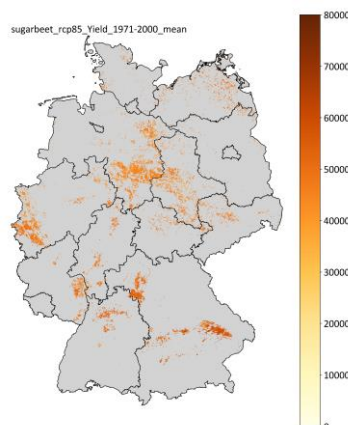


Fig. 1 Historical Yield Prediction Map for Sugar Beet in Germany: Training Period 1971-2000

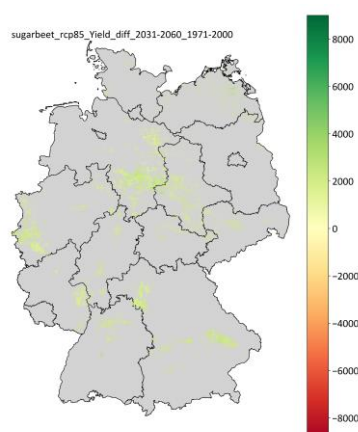


Fig. 2 Future Yield Prediction Map for Sugar Beet in Germany: Projection for 1931-2060

Literatur

- White, J. W., Hoogenboom, G., Kimball, B. A., & Wall, G. W. (2011). Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research*, 124(3), 357-368.
- Rosenzweig, C., Jones, J. W., Hatfield, J. L., Ruane, A. C., Boote, K. J., Thorburn, P., Antle, J. M., Nelson, G. C., Porter, C., & Janssen, S. (2013). The agricultural model intercomparison and improvement project (AgMIP): protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 166-182.
- Nendel, C., Berg, M., Kersebaum, K., K. C., Mirschel, W., Specka, X., Wegehenkel, M., Wenkel, K., & Wieland, R. (2011a). The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling*, 222(9), 1614-1625.
- Nendel, C., Berg, M., Kersebaum, K., Mirschel, W., Specka, X., Wegehenkel, M., Wenkel, K., & Wieland, R. (2011b). The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling*, 222(9), 1614-1625.
- Nendel, C., Kersebaum, K. C., Mirschel, W., & Wenkel, K.-O. J. E. J. o. A. (2014). Testing farm management options as climate change adaptation strategies using the MONICA model. 52, 47-56.
- Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., Kimball, B. A., Ottman, M. J., Wall, G., & White, J. W. J. N. c. c. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. 5(2), 143-147.

Assessment of climate change impact on mid-century wheat production in Germany using multi-model-ensembles

Christian Jorzig¹, Ashifur Rahman Shawon¹, Emir Memic², Anto Raja Dominic¹, Arno de Kock¹, Jörn Strassemeyer¹, Burkhard Golla¹ and Til Feike¹

¹Julius Kühn-Institut, Institute for Strategies and Technology Assessment, Kleinmachnow

²Working Group Cropping Systems and Modelling (340), University of Hohenheim

E-Mail: christian.jorzig@julius-kuehn.de

Introduction

Process-based crop simulation models provide valuable information on potential crop production under future climate conditions. They further allow the development and evaluation of suitable adaptation strategies in crop management to address future risk factors like increased temperature and altered precipitation pattern (Reynolds *et al.*, 2016), hereby the use of a multi-model-ensemble (MME) approach in crop modelling can increase simulation robustness compared to single model outputs (Martre *et al.*, 2015). The objective of this study is to simulate mid-century mean yield development and yield stability of winter wheat (*Triticum aestivum*) under different climate scenarios of RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 for important wheat production regions in Germany.

Material and Methods

We use the three wheat crop models CERES, CROPSIM and NWHEAT embedded in the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) (Jones *et al.*, 2003). This enables depiction of the model-specific uncertainties in addition to the climate-related uncertainties allowing a more robust evaluation of potential future wheat yields. In the first step, we conduct a cultivar specific calibration and validation of the three models building on a vast experimental data set of around 100 site-years with 75 % of the data being used for model calibration and 25 % for model validation. Model calibration is executed to a similar extend for all models adjusting comparable types and number of coefficients to fitting observed and simulated phenology, growth and yield parameters. We then use the calibrated models to simulate yields in 2031-2060 and the reference period 1971-2000 using daily weather data of the 17 climate scenarios of the core ensemble of the German weather service (Deutscher Wetter Dienst, 2018). The simulations for future period 2031-2060 are additionally performed with constant mean CO₂-level of 1971-2000 in order to quantify and evaluate the CO₂ fertilization effect on future yield development. These virtual experiments are executed for a range of representative wheat production sites covering the diversity of soil types and climate conditions present in Germany. Furthermore, the selection of wheat production sites also aimed to cover the most important crop production regions for wheat in the country. All selected sites are test sites of the Federal Plant Variety Office (Bundessortenamt; BSA). Cultivar-specific experimental data available for these sites had been used for previous model calibration and evaluation.

Results and Conclusion

When comparing simulated yields in 2031-2061 with simulated yields in 1971-2000, we see that for all sites and climate scenarios the MME projects higher yields in the future than in the past (Fig.1), with a mean yield increase of around 12% for RCP2.6 and RCP4.5 up to 15% for RCP8.5. Most of the projected yield increase is driven by the increasing atmospheric CO₂ concentrations, which are highest under RCP8.5 and lowest under RCP2.6.

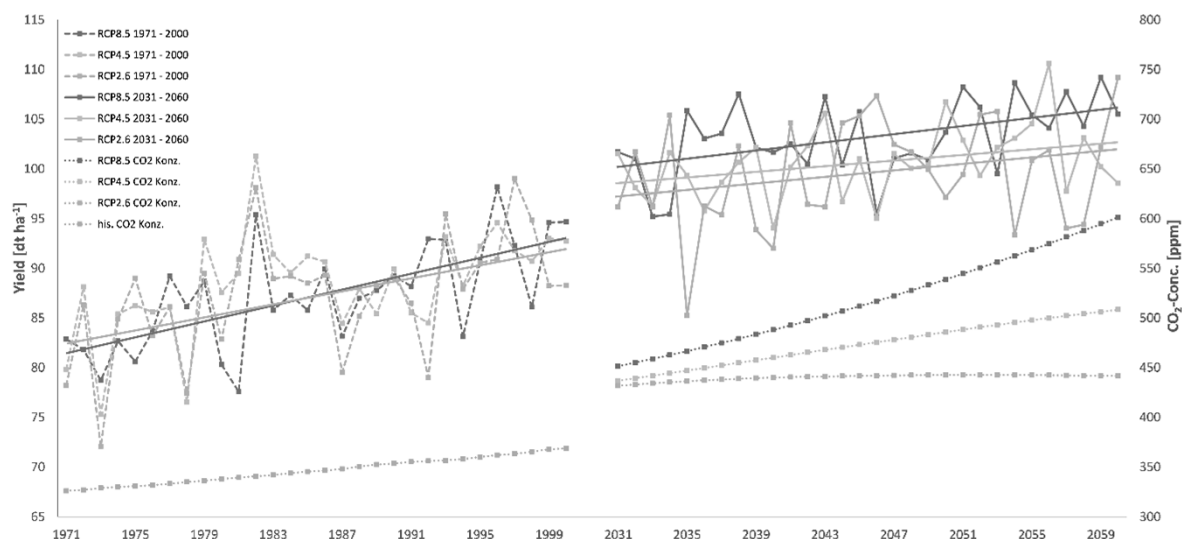


Figure 1: Absolute yield change of simulated multi-model-ensemble wheat yields for Germany in dt/ha with 86% dry matter in the course of time for the reference period 1971-2000 (left) and period of examination 2031-2060 (right), aggregated over all wheat production regions analyzed for the different climate scenarios under RCP2.6 (green), RCP4.5 (yellow) and RCP8.5 (blue) and depiction of historic and projected RCP-specific atmospheric CO₂-concentrations used in yield simulations.

Compared to the past, phenological development is accelerated under future climate, fastest in scenarios under RCP8.5. Furthermore, the results show that the yield advances due to the CO₂ fertilization effect are likely going to decrease in future. This indicates that other, non CO₂-related climatic changes (i.e., temperature, precipitation) are going to exert an increasingly negative impact on future yield formation of winter wheat. The study demonstrates the potential and necessity of using MME both, with regard to climate change scenarios and crop models, especially when intended for policy advice.

Literature

- Deutscher Wetter Dienst (DWD) (2018) Datensätze auf der Basis der RCP – Szenarien. www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimaprojektionen/fuer_deutschland/fuer_dtdl_rcp-datensatz_node.html
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K. J., Batchelor, W.D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijssman, A. J., Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 235–265.
- Martre, P., Wallach, D., Asseng, S., Ewert, F., Jones, J.W., Rotter, R. P., ... Wolf, J. (2015). Multimodel ensembles of wheat growth: Many models are better than one. *Global Change Biology*, 21(2), 911–925.
- Reynolds, M. P., Quilligan, E., Aggarwal, P. K., Bansal, K. C., Cavalieri, A. J., Chapman, S. C., ... Yadav, O. P. (2016). An integrated approach to maintaining cereal productivity under climate change. *Global Food Security*, 8, 9-18.

Adapting the DSSAT-CROPGRO model for narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*)

Maximilian Forchert, Dima Sabboura, Ashifur Rahman Shawon, Asmae Meziane
and Til Feike

Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow
E-Mail: Maximilian.Forchert@julius-kuehn.de

Introduction

Increasing the production of legumes is one important goal of current agricultural policy in Germany and the EU. It may help to increase the supply with regionally produced protein, increase diversity in common crop rotations and help to contribute to climate change mitigation by substituting synthetically produced N in cropping systems and by providing alternative plant-based proteins for human nutrition. Narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*) is a promising legume for temperate climate regions. It is traditionally grown in Northeast-Germany but has also potential to enrich crop rotations in other cropping regions. The anticipated warming trend in the climate is having noteworthy effects on the growth and yield of lupin and hence its suitability in different parts of Germany and other potential growth regions worldwide.

Process-based agroecosystem models (AEM) are valuable tools for assessing genotype × environment × management interactions under climate change conditions. AEM capture the soil-plant-atmosphere system simulating crop phenological development, growth and yield formation in hourly to daily time steps. The decision support system for agro-technology transfer (DSSAT) is a widely used modelling platform (Jones et al., 2003) that comprises models for more than 40 different crops. Within DSSAT the generic CROPGRO model is available that is parameterized for different legumes, including peanuts, soybean, chickpea and green beans. However, there is so far no lupin model available in DSSAT. Hence, in this study, we aim to adapt the DSSAT-CROPGRO model for lupin.

Materials and Methods

Our initial starting point for adapting the model for lupin is the CROPGRO green bean model (Boote, *et al.*, 2002). We select this model as it offers a species file that closely aligns with lupin, surpassing other grain legumes' models in terms of similarity. We further gather available information on lupin's vs. green bean's morphological, phenological and physiological characteristics from literature. Moreover, we gather various available experimental data from published sources and available in-house datasets. A valuable source of multi-environment phenological and yield data are the post-registration variety trials. The respective authorities of different states conduct and report those trials annually aiming at informing farmers on regionally recommended genotypes (e.g., Jentsch et al., 2017; Zenk et al., 2017). We further use data from an experiment conducted at the JKI station in Berlin, where four shifted sowing dates were tested annually over three years. The experiment comprises additional data on crop growth, i.e., leaf area index and biomass time series over the growing season. For model adaptation, we decided to go for the common narrow-leaved lupin cv. Boruta first, which was released already in 2001 and is still cultivated in practical farming up to date. Boruta is characterized by a determined, i.e., terminal, growth habit featuring a rather clear phenology with little

overlap of vegetative and generative growth on the same plant. The assembled dataset encompasses a comprehensive collection of nearly 50 site-years of data for cv. Boruta, providing a robust foundation for our model parametrization. We split the data in ~2/3 for model calibration and ~1/3 for model evaluation.

First, we adapt selected model coefficients building on published sources and define specific coefficients, e.g., maximum grain size, based on analysis of our extensive dataset. For further adapting the model we calibrate multiple cultivar and ecotype coefficients, and utilize the time-series estimator tool (TSE) integrated in the DSSAT framework (Röll, et al., 2020). Notably, this advanced tool facilitates the synchronization of the calibration process across various coefficients and time-series data. Here we first start from phenology parameters, including temperature response, then growth parameters, and finally yield parameters to capture the unique growth characteristics and patterns specific to lupin.

Outlook

The developed and evaluated CROPGRO lupin model allows the assessment of different management options including sowing dates and densities in lupin for various production regions in Germany under current and future climatic conditions. As a new crop in DSSAT, it enables the assessment of lupin in different crop rotations at various sites. This will allow to thoroughly assessing its potential to substitute synthetic N fertilizer in crop rotations and evaluate its contribution to resource use efficiency. As the DSSAT AEM simulates daily N₂O emissions, the model also allows considering direct and indirect N₂O emissions according to Tier 3 approach in GHG accounting. This allows a thorough assessment of the climate change mitigation potential of lupin cultivation in Germany.

In the next step, the model should be extended to also simulate in-determinate varieties, like cv. Boregine or cv. Mirabor. Additionally the model is envisaged to be further improved regarding its robustness in resembling drought and heat stress. Additional targeted and extensive experiments in the field and in climate chambers are therefore required.

Literature

- Boote, K.J.; Minguuez, M.I.; Sau, F. (2002) *J. Agron.*, 94(4): 743-756.
- Röll, G., Memic, E. and Graeff-Hönninger, S. (2020) *Agr. J.*, 112(5), 3891-3912.
- Jones, J.W.; Hoogenboom, G.; Porter, C.H.; et al. (2003) *Eur J Agron.*, 18(3): 235-265.
- Jentsch, U.; Günther, K.; Guddat, C. (2017) Landessortenversuche in Thüringen, Blaue Lupin, Versuchsbericht 2016. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena; Themenblatt-Nr.: 23.02
- Zenk, A.; Pietz, G.; Michel, V. (2017) Sommergetreide und Leguminosen 2017, Ergebnisse Landessortenversuche - Anbaugebiet „D-Nord/ MV Süd“. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Gülzow – Prützen

Impact of soil input data on crop growth modelling

Trenz J., Memic E. and Graeff-Hönninger S.

Agronomy/University of Hohenheim, Stuttgart; E-Mail: j.trenz@uni-hohenheim.de

Introduction

In the prediction and in the analysis of yield gaps plant growth models have shown their potential. Especially process-based models with their ability to capture a broad range of interactions between crops and environment are considered as a useful tool, supporting the decision-making process of farm management. The Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) is one of the most common process-oriented crop modelling software solutions (Hoogenboom et al., 2019). This software application program includes their primary modules such as soil, weather, and crop management practices for simulating crop growth. However, a main interest in crop production is a highly accurate simulation which requires precise input data. Measuring soil data is labor intense, time consuming and costly. The soil module in the DSSAT shell requires merely the content of the soil texture data (clay and silt content per layer) to run a simulation. Missing relevant soil profile parameters like drained upper limit and lower limit are calculated with a pedo-transfer function. By using a one-year dataset of an on-farm research with maize (*Zea mays*) this study reflected the effect of soil input data on the simulation outcome by comparing two different methods of collecting soil data and two levels of soil input data.

Materials and Methods

The data for this conference paper, derived from an on-farm field trial conducted in 2021, was collected in Kochendorf, Baden-Württemberg. The test field "In den 20 Morgen," is defined as a Luvisol characterized with excellent drainage properties and a high plant available water capacity. Corn (*Zea mays* L., cultivar 'P 0725') was planted for energy production with a row distance of 0.75 m. To assess crop growth biomass cuts and Leaf Area Index (LAI) measurements were performed throughout the growing season. Three biomass cuts were conducted during the vegetative phase, culminating with the third cut representing the transition to the flowering stage. The 4th cut took place between fruit development and ripening in the generative phase and at maturity a final harvest cut was conducted. The biomass cuts were carried out on a designated area consisting of two seeded rows with a length of 25 m. Soil samples are taken before sowing and after harvest to determine N_{min} , as well as the soil texture for three depths 0-30 cm, 30-60 cm and 60-90 cm. Furthermore, a soil analysis was conducted by analyzing the sequence of natural horizons within two study sites, allowing for the determination of key parameters such as organic carbon content, bulk density, pH and hydraulic parameters. The analysis was performed for the specific layer separation. Based on the research question the effect of the soil input data on the modelling results were tested by comparing two simulation approaches using the CERES Maize model of the DSSAT-CSM. The **Standard Simulation (SS)** is based on the taken soil samples within three different depths, and the second approach is conducted on the prospect method by using the specific layer sequence, characterized as **Prospect Simulation (PS)**. Each simulation approach was performed with a minimum and maximum simulation set up. The

minimum set up merely used the soil texture data whereas the maximum set up used all the available soil data.

Results and Discussion

The simulation results of the two different approaches are shown in Table 1 by comparing simulated with observed values for the variables leaf weight and grain weight. The minimum input data of the PS and SS approaches lead to the highest difference between simulated and observed values. The PD for the selected variables, leaf weight and grain weight, showed with 19 % respectively 13 % similar results. The simulation conducted with all available soil inputs resulted in improvements in both leaf weight and grain weight simulations, as compared to simulations using the minimum input. The lowest RMSE respectively PD was observed for the SS. However, both approaches showed precise simulations for grain weight.

Table 1 Comparison of the **Standard Simulation (SS)** and the **Prospect Simulation (PS)** by comparing simulated and observed values for Dry matter weight of leaf and grain evaluated by RMSE and Percent difference.

Simulation approach	Input level	Variable	Observed	Simulated	RMSE	PD(%)
PS	min	Leaf weight (dm in kg ha ⁻¹)	2690	3120	504	19
	max			3034	433	16
SS	min			3116	500	19
	max			2626	301	11
PS	min	Grain weight (dm in kg ha ⁻¹)	13552	15362	1810	13
	max			13724	172	1
SS	min			15331	1779	13
	max			13538	14	<1

The results presented in this conference paper were conducted for a single experimental year, nevertheless valuable insights were shown. The accuracy of the model relies on the quality of soil input data. When using the same quality of soil input data, the model simulations demonstrated a higher fit for the SS approach. This suggests that introducing a differentiation of observed horizons, as done in the PS approach, does not necessarily result in more accurate simulation outcomes. Consequently, it can be inferred that a one-dimensional soil model performs more accurately when the soil is divided into multiple layers (Boote et al., 2008). Overall, the simulations carried out with minimal soil input data produced acceptable results for the simulated grain weight. The decision to collect extensive soil data depends on the specific research objectives and requirements and has to be considered.

Literature

- Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Shelia, V., Wilkens, P. W., Singh, U., White, J. W., Asseng, S., Lizaso, J. I., Moreno, L. P., Pavan, W., Ogoshi, R., Hunt, L. A., Tsuji, G. Y., & Jones, J. W. (2019). The DSSAT crop modeling ecosystem. In K. Boote (Ed.), *Burleigh Dodds Series in Agricultural Science. Advances in crop modelling for a sustainable agriculture* (pp. 173–216). Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/AS.2019.0061.10>
- Boote K. J, Sau, F., Hoogenboom, G., Jones, J.W (2008). Experience with water balance, evapotranspiration, and prediction of water stress effects in the CROPGRO model. In: L. R Ahuja, V. R. Reddy, S.A. Saseendran, Q. Yu (Eds.) *Response of crops to limited water: modeling water stress effects on plant growth processes*, volume 1 of *advances in agricultural systems modeling*. Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA, 59–103.

Einfluss verschiedener Pflanzsubstrate auf Bewurzelungsgeschwindigkeit und Bewurzelungserfolg bei der Stecklingskultivierung von *Cannabis sativa* L.

Torsten Schober, Tobias True, Achim Präger und Simone Graeff-Hönninger

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Pflanzenbau/Universität Hohenheim, Stuttgart;
E-Mail: torsten.schober@uni-hohenheim.de

Einleitung

Der Anbau von medizinalem Cannabis (*Cannabis sativa* L.) zielt auf eine standardisierte Produktion, um eine gleichbleibende Qualität der pflanzlichen Erzeugnisse zu gewährleisten. Um die genetische Variation möglichst gering zu halten, erfolgt die Vermehrung ausschließlich über Stecklinge. Die vorrangige Indoorproduktion setzt dabei voll auf den Einsatz von organischen und anorganischen Pflanzsubstraten. Häufigste Verwendung in der Cannabisindustrie finden Steinwolle, Torf- und Kokosgemische. Ziel dieses Experimentes war es den Einfluss des Pflanzsubstrates auf die Bewurzelungsgeschwindigkeit und den Bewurzelungserfolg für zwei CBD-reiche Genotypen zu untersuchen.

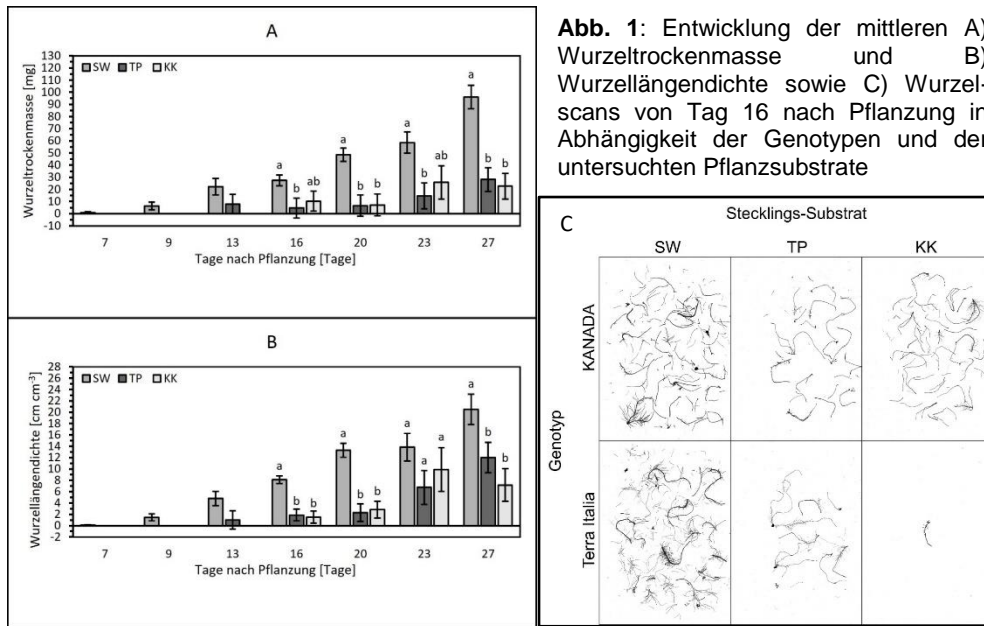
Material und Methoden

Für die Evaluierung der Pflanzsubstrate wurde ein Anzuchtversuch im Versuchsgewächshaus (Phytotechnikum) der Universität Hohenheim durchgeführt. Es wurden die Pflanzsubstrate Steinwolle (SW), in Form von 52 cm³ Würfeln (AO 36/40, Grodan, Roermond, Niederlande), und zwei organische Mischungen (Klasmann-Deilmann, Geeste, Deutschland), darunter Torf-Perlit (TP) und Kokosmark (KK), verglichen. Alle Substrate wurden in Anzuchtplatten HerkuPak D84/4P-35 (HerkuPlast-Kubern GmbH, Ering am Inn, Deutschland) vorgelegt. TP und KK wurden entsprechend ihres Schüttgewichtes auf das Volumen der Töpfe (57 cm³) eingewogen und für einen ebenerdigen Abschluss mit dem oberen Topfrand angedrückt. Als Pflanzenmaterial wurden ~10 cm lange Stecklinge von Mutterpflanzen der Genotypen „Kanada“ und „Terra Italia“ geschnitten und in die jeweiligen Substrate gesteckt (1cm tief). Der gesamte Versuch fand in einem Folienzelt bei ~90% Luftfeuchte und ~100 μmol m⁻² s⁻¹ photosynthetisch aktiver Strahlung statt. Der dreifaktorielle Versuch wurde als vollständig randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen durchgeführt. Die Faktorkombination aus Substrat, Genotyp und Schnittzeitpunkt wurde zufällig innerhalb der Blöcke verteilt, so dass zu insgesamt 7 Terminen (7,9,13,16,20,23 und 27 Tage nach Pflanzung) jeweils ein Steckling je Block, Genotyp und Substrat gemessen wurde. Die Wurzeln der Stecklinge wurden vorsichtig aus den Substraten ausgewaschen. Anschließend wurden die Wurzeln mittels Wurzelscanner zur Bestimmung der Wurzellängendichte gescannt und danach das Trockengewicht (Trocknung bei 60°C für 48 h) bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Die statistische Auswertung der Wurzelmasse und Wurzellängendichte ergab eine signifikante Interaktion von Substrat und Zeitpunkt ($p = 0,0017$), während es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Genotypen gab. In SW bildeten sich 7 Tage nach Pflanzung (DAP) die ersten Wurzeln, während in TP und KK noch keine Wurzeln sichtbar waren. Erste Wurzeln wurden in KK 9 Tage nach Pflanzung beobachtet. Dagegen bildeten sich in TP erst 13 Tage nach Pflanzung die ersten

Wurzeln, wobei SW im Vergleich zu TP bereits eine 2,8 x höhere Wurzelrockenmasse (SW 22,3 ± 6,70 mg; TP 8,03 ± 8,01 mg) und 4,8 x höhere Wurzellängendichte (SW 4,79 ± 1,24 cm cm⁻³; TP 1,00 ± 1,64 cm cm⁻³) gebildet hat. Wurzelrockenmasse und Wurzellängendichte war zu allen Zeitpunkten am Höchsten in SW, während sich TP und KK nicht signifikant unterschieden. Eine Bewurzelungsrate von 100% wurde für SW bereits nach 9 Tagen erreicht, während dies für TP erst nach 27 Tagen der Fall war und für KK nicht erreicht wurde.



Tab. 1: Bewurzelungsrate (Anteil der Stecklinge mit sichtbarer Wurzelentwicklung) der einzelnen Schnitttermine in Abhängigkeit der Substrate Steinwolle (SW), Torf-Perlit (TP) und Kokosmark (KK) sowie der untersuchten Genotypen

Tage nach Pflanzung	SW [%]	TP [%]	KK [%]	KANADA [%]	Terra Italia [%]	Gesamt [%]
7	50	0	0	8	25	16
9	100	0	12	41	33	37
13	100	50	25	66	50	58
16	100	62	50	91	50	70
20	100	62	50	83	58	70
23	100	75	62	100	58	79
27	100	100	75	91	91	91

Durch die höhere Bewurzelungsgeschwindigkeit und zuverlässigere Bewurzelungsrate in SW kann in Produktionsbedingungen ein höherer Durchsatz mit homogenerem Pflanzenmaterial generiert werden und eine Bewurzelungsdauer von 14 Tagen kann hier als völlig ausreichend gelten. SW hat generell eine hohe Belüftung bei gleichzeitiger hoher Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit (Nemati et al., 2021). Diese Bedingungen scheinen das Wurzelwachstum zu fördern. Bei den organischen Substraten hängen diese Eigenschaften vom Grad der Verdichtung und Partikelgröße ab, weshalb diese Faktoren besser an die Substratzusammensetzung angepasst und in weiteren Versuchen näher beleuchtet werden müssen.

Literatur

Nemati, R., Fortin, J.-P., Craig, J., Donald, S., 2021. Growing Mediums for Medical Cannabis Production in North America. *Agronomy* 11, 1366. <https://doi.org/10.3390/agronomy110713>

Einfluss von erhöhten CO₂-Konzentrationen auf das Wurzelsystem von Winterweizen

Sigrun Wagner¹, Laura Reinelt², Axel Don² und Lorenz Kottmann¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig;

²Thünen Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig.

E-Mail: sigrun.wagner@julius-kuehn.de

Einleitung

Um die Ziele des Klimaschutzgesetzes zu erreichen müssen nicht nur die Treibhausgasemissionen stark reduziert werden, sondern es müssen auch neue Wege der Kohlenstoffspeicherung gefunden werden. Wurzelbiomasse trägt im Vergleich zu oberirdischer Biomasse besonders effektiv zum Humusaufbau und somit zur Kohlenstoffspeicherung in Böden bei (Kätterer et al., 2011). Daher könnte die Wahl von Ackerkulturarten und -sorten mit hoher Wurzelbiomasse eine effektive Klimaschutzoption darstellen. Bislang liegen jedoch wenige Daten dazu vor, wie viel Wurzelbiomasse die heutzutage angebauten Ackerkulturen ausbilden und wie sich aktuelle Sorten dabei unterscheiden.

Eines der Ziele des Projekts WurCel⁴ ist es die Wurzelbiomasse verschiedener Weizensorten zu quantifizieren um das Potenzial von intensiv wurzelnder Sorten zur Steigerung des Humusaufbaus in Ackerböden zu bewerten. Des Weiteren soll der Einfluss von zukünftigen erhöhten atmosphärischen CO₂-Konzentrationen auf Wurzelbildung untersucht werden. Da Wurzeluntersuchungen im Feld sehr aufwändig sind, soll eine Schnellmethode getestet werden, mit der eine große Anzahl Sorten gleichzeitig mit geringem Arbeitsaufwand untersucht werden kann.

Material und Methoden

Wurzeluntersuchungen werden sowohl im Feld, als auch mithilfe eines Germination Paper Pouch System stattfinden. Im Feld werden erhöhte atmosphärische CO₂-Konzentrationen mittels einer „Free Air Carbon Dioxide Enrichment“ (FACE) Anlage erreicht. Die Weizenpflanzen wachsen dort unter Feldbedingungen unter erhöhten CO₂-Konzentrationen (600 ppm) sowie unter aktuell vorherrschenden CO₂-Konzentrationen (etwa 420 ppm). Nach der Ernte werden Rammkernsondierungen bis zu einem Meter Tiefe durchgeführt. Die Wurzelverteilung wird mithilfe der Bruchkernmethode und mit einer „BlueBox“ mit Fluoreszenzlicht untersucht (Wasson et al. 2016). Zusätzliche Waschung und Wurzelscans werden durchgeführt um Unterschiede in Wurzellänge und Biomasse zu bestimmen.

Als Schnellmethode wird das „Germination Paper Pouch“ System getestet, bei dem sehr platzsparend eine große Anzahl Keimlinge gleichzeitig senkrecht auf Keimpapier wachsen können und bei dem man bereits nach zwei Wochen Wurzelparameter direkt untersuchen kann (Kucherova, 2021). Wir untersuchten mit diesem System 12 Weizensorten im Gewächshaus unter erhöhtem CO₂ (800 ppm) sowie unter Kontrollbedingungen (etwa 420 ppm). Um zu prüfen, inwiefern Ergebnisse, die mit dem „Germination Paper Pouch“ System beobachtet werden auf das Feld übertragbar sind, sollen weitere Weizensorten untersucht werden, zu denen bereit umfassende Feld-daten vorliegen.

⁴ Das Projekt WurCel wird durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aus Mitteln des Klimaschutzsofortprogrammes 2022 gefördert und untersucht die Klimaschutzoption Humusaufbau mit mehr Wurzeln.

Ergebnisse und Diskussion

Erste Untersuchungen im Gewächshaus lassen vermuten, dass Weizen unter erhöhtem CO₂ mehr in Verzweigungen und Feinwurzeln investiert als in Wurzeltiefe (Abb. 1). Die genauen Ursachen werden in folgenden Untersuchungen näher beleuchtet.

Sortenunterschiede waren ebenfalls signifikant (Abb. 2). Eine Studie in Australien zeigte auch große Unterschiede in der Wurzelbiomasse von 24 Weizensorten (Corneo et al., 2016). Weitere Untersuchungen sind bereits geplant.

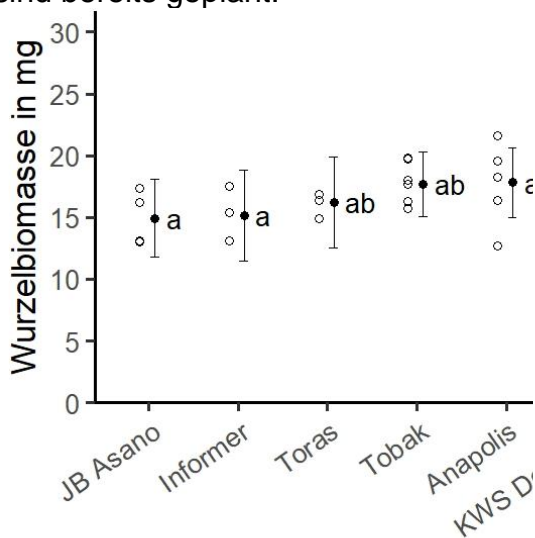


Abb. 2: Nach zwei Wochen auf Keimpapier gab es signifikante Unterschiede in der Wurzelbiomasse der 12 Weizensorten. Kreise zeigen die Rohdaten, Punkte und Fehlerbalken stellen angepasste Mittelwerte mit 95% Konfidenzintervallen pro Sorte dar. Mittelwerte, die durch einen gemeinsamen Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nach dem Tukey-Test nicht signifikant verschieden.

Literatur

- Corneo, P.E., Suenaga, H., Kertesz, M.A., Dijkstra, F.A. (2016) Effect of twenty four wheat genotypes on soil biochemical and microbial properties. *Plant and Soil* 404, 141-155. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2833-1>.
- Kätterer, T., Bolinder, M.A., Andren, O., Kirchmann, H., Menichetti, L. (2011) Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture Ecosystems & Environment* 141, 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.029>.
- Kucherova, V. (2021) Exploring the effect of the Ddw1 gene on RSA using high-throughput screening system at early stages of rye development. Master thesis.
- Wasson, A., Bischof, L., Zwart, A., Watt, M. (2016) A portable fluorescence spectroscopy imaging system for automated root phenotyping in soil cores in the field. *Journal of Experimental Botany*, 67 (4), 1033–1043. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv570>.

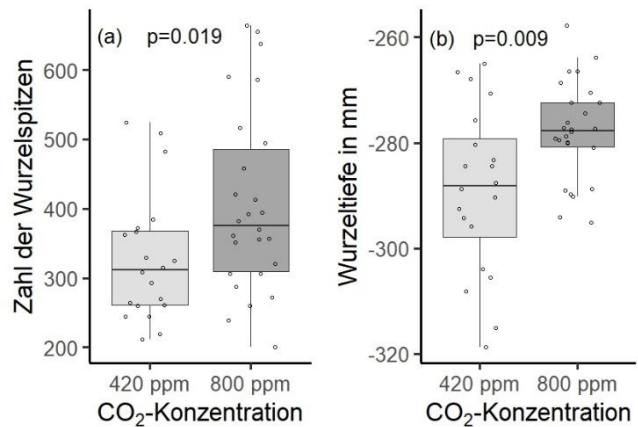


Abb. 1: Weizen unter erhöhtem CO₂ hatte mehr Verzweigungen und Feinwurzeln (a) und hatte eine geringere Wurzeltiefe (b).

Quantifizierung der Mykorrhizierung von *Miscanthus* unter verschiedenen Temperaturszenarien

Marcel Dieter Moll¹, Jasper Hackling¹ und Ralf Pude^{1,2}

¹INRES – Nachwachsende Rohstoffe / Universität Bonn; ²Campus Klein-Altendorf / Universität Bonn.
E-Mail: m.moll@uni-bonn.de

Einleitung

Miscanthus als mehrjährige C₄-Pflanze gewinnt in den letzten Jahren immer weiter an Bedeutung. Dabei stehen neben der energetischen Verwertung auch die stoffliche Nutzung sowie ökosystemare Dienstleistungen im Fokus (Pude et al., 2022). Grundsätzlich zeichnet sich *Miscanthus* durch geringe Standort- und Managementansprüche sowie ein breites Anwendungsspektrum aus. Dennoch ist insbesondere bei der stofflichen Nutzung auch die Biomasse-Qualität von zentraler Bedeutung (Meineken & Tyhoda, 2013). Qualität pflanzlicher Produkte wird maßgeblich über die Stressreaktion der Pflanze beeinflusst. Neben Einflüssen wie Nährstoffmanagement oder Sortenwahl ist auch die Interaktion der Pflanze mit Mykorrhiza-Pilzen (AMF) eine mögliche Stellschraube in der Optimierung der Biomassen-Qualität (Tubehle et al., 2016). Es ist jedoch auch die Quantifizierung der Mykorrhizierung relevant, um den Erfolg der Treatments zu bemessen. Hier ist sowohl das Anfärben als auch die Bemessung des Befalls über verschiedene Techniken möglich (Vierheilig et al., 2005).

Material und Methoden

Daher wurde in diesem Versuch die Möglichkeit der Mykorrhizierung von *Miscanthus* untersucht, um so gezielt die Pflanze-Boden-Interaktion zu verbessern. Dazu wurde zunächst untersucht, ob sich ein Inokulum nachträglich in einen Bestand einwaschen lässt. Hierfür wurden nach ausreichendem Kältereiz über den Winter Rhizome von *Miscanthus × giganteus* (MG) und *Miscanthus sacchariflorus* 'Robustus' (MSR) im Gewächshaus in Töpfen angetrieben. Nachdem erste Triebe zu erkennen waren, wurden die Hälfte der Pflanzen mit INOQ Sprint (INOQ GmbH, Schnega) mit 145 iE/ml inokuliert (0 = nicht inokuliert, 1 = inokuliert). Darauffolgend wurde ein Drittel der Pflanzen beheizt (mindestens 10 °C; T3), ein Drittel frostfrei (T2) und ein Drittel unter Glas, aber ohne Temperatursteuerung (T1) kultiviert. Zur Quantifizierung wurde eine neu entwickelte Abwandlung der Grid-Intersection Methode genutzt. Diese erlaubt eine vereinfachte Abschätzung des prozentualen Befalls der Wurzel. Hierzu wurde zunächst das Wurzelstück vermessen und ein Grid mit 10x10 Kästchen darübergelegt. Innerhalb des Grids konnten nachfolgend pilzliche Strukturen gezählt werden. Das Schema der Quantifizierung ist in Abbildung 1 dargestellt. Zur Quantifizierung der Effekte der Faktoren Genotyp (MG, MSR), Temperaturstufe (T1, T2, T3) und Inokulation (0, 1) auf die Kolonisierung der *Miscanthus*wurzeln mit AMF wurde eine multifaktorielle ANOVA durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Alle Varianten zeigten nach Anfärbung mittels Toluidinblau eine erfolgreiche Symbiose zwischen Wurzel und Pilz. Hinsichtlich des Grades der Mykorrhizierung zeigten sich signifikante Unterschiede sowohl zwischen den Genotypen als auch den Temperaturstufen. Weiterhin wurde der Einfluss des Grades der Mykorrhizierung, des Genotyps und der Temperatur auf den Wiederaustrieb analysiert. Einflüsse von

Genotyp und Temperatur waren signifikant. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass eine Mykorrhizierung von *Miscanthus* möglich ist. Darüber hinaus konnte das abgewandelte Protokoll zur Quantifizierung schnelle und einfach zu interpretierende Ergebnisse liefern und zeigte sich vielversprechend für nachfolgende Versuche.

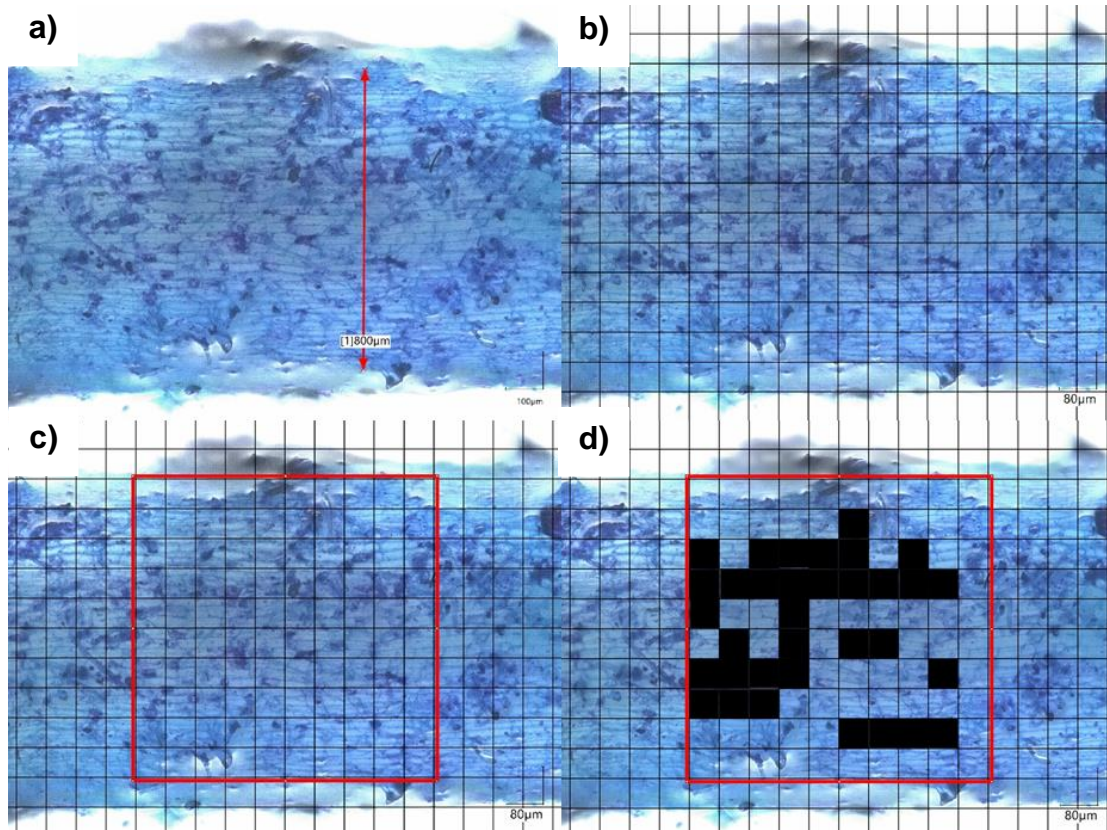


Abb. 1: Exemplarischer Ablauf der Quantifizierung der Kolonisierung in VHXAnalyzer. **a)** Messen des Durchmessers (d) des **b)** Hinzufügen des Gitternetzes mit Rastergröße $R = d * 0,1$; **c)** Hinzufügen des Auszählrahmens (10x10 Pixel); **d)** Auszählen der Pixel, in denen pilzliche Strukturen klar erkennbar sind (hier: 34).

Literatur

- Meincken, M., & Tyhoda, L. (2013). Biomass quality. In *Bioenergy from wood: sustainable production in the tropics* (pp. 169-187). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Pude, R., Wever, C., & Kraska, T. (2022). Sustainable Resources: From Plants to Products. In *Bioeconomy and Sustainability: Perspectives from Natural and Social Sciences, Economics and Ethics* (pp. 23-30). Cham: Springer International Publishing.
- Tubeileh, A., Rennie, T. J., & Goss, M. J. (2016). A review on biomass production from C_4 grasses: yield and quality for end-use. *Current Opinion in Plant Biology*, 31, 172-180.
- Vierheilig, H., Schweiger, P., & Brundrett, M. (2005). An overview of methods for the detection and observation of arbuscular mycorrhizal fungi in roots. *Physiologia Plantarum*, 125(4), 393-404.

Trade-offs between yield, soil organic matter and greenhouse gases in a paired reduced-tillage and reduced-rain field trial

Apostolakis Antonios, Englert Paulina, Stefan Siebert and Meijide Ana

Department of Crop Science, Division Agronomy, University of Göttingen, Göttingen.
E-Mail: antonios.apostolakis@uni-goettingen.de

Introduction

Reduced tillage, as compared to conventional tillage, minimizes soil disturbance and has been shown to increase organic matter content and enhance water storage in the topsoil. However, this practice may come at the expense of reduced crop yield. Despite extensive research conducted on tillage practices, the impact of reduced tillage on greenhouse gas (GHG) emissions remains uncertain, particularly in relation to changes in soil organic matter, soil water, and crop yield. Understanding these complex interactions is crucial for the development of sustainable agricultural practices, especially in anticipation of a drier future, to safeguard both human well-being and the environment.

Materials and methods

To address this knowledge gap on conventional and reduced tillage effects on GHG emissions under dry conditions, we used the long-term field trial Garte-Süd, situated in Göttingen in central Germany, where the mean annual precipitation is 618 mm and the mean annual temperature is 9.5°C. The trial was conducted in a field with Luvisol soils, characterized by 73% silt, 15% clay, and a pH of 6.6. The trial compares conventional tillage with reduced tillage and has been ongoing since 1970. In 2023, we combined the tillage treatments with a drought simulation.

The field trial consists of 16 plots: eight under conventional tillage, where tillage is performed until a depth of 30 cm, and eight under reduced tillage with soil harrowing until a depth of 10 cm. In February 2023, rain-out shelters (area = 2 m × 2 m) designed to intercept 50% of the precipitation were installed in half of the plots, while the other half remained under ambient precipitation. Soil CO₂ efflux (i.e., soil respiration) and N₂O fluxes were measured using static chambers and portable gas analyzers (EGM-5, PP Systems, Amesbury, Massachusetts, and LI-7820, LI-COR, Lincoln, Nebraska) at least once per week. The measurement frequency was increased to at least three times per week after fertilization and soil management events. Volumetric soil water content and soil temperature were recorded using a time-domain reflectometer sensor (FieldScout TDR350, Spectrum Technologies, Aurora, Illinois) along with the GHG measurements. Cumulative soil water content and CO₂ and N₂O fluxes were calculated using the trapezoid method.

Soil sampling was performed in the upper 30 cm to analyze nitrate and ammonium (AA3, Seal Analytical, Norderstedt). Soil sampling closely followed the GHG measurement scheme in the plots subjected to ambient precipitation. However, in the reduced precipitation plots, soil sampling was less frequent due to space constraints under the rain-out shelters.

Before the installation of the rain-out shelters, soil samples were collected at 30 cm depth intervals down to a depth of 90 cm. These samples were analyzed for the operational organic carbon (OC) pools of particulate OC and mineral-associated OC using dispersion and wet sieving methods. OC and total nitrogen content were measured as well (multi N/C 2100S, Analytik Jena, Jena).

Data on crop biomass and yield from 1970 to the present were collected, and monitoring of these parameters will continue in the coming years, with the next harvest scheduled for late July 2023.

Results and Discussion

Crop yield was on average 7% lower under reduced tillage than under conventional tillage, but the difference was not significant. The relative yield under reduced tillage exhibited a positive but not significant trend from 1970 to present. Type of crop did not seem to influence yield loss due to reduced tillage either.

Soil OC content was higher in the upper soil under reduced tillage but did not differ from conventional tillage in deeper soils. Similarly, particulate OC content was higher under reduced than conventional tillage in the uppermost soil.

Cumulative soil water content was higher under reduced tillage irrespective of the precipitation treatment (Fig. 1a). Under ambient precipitation, cumulative soil CO₂ efflux was significantly lower under reduced than conventional tillage by 23% (Fig. 1b) despite the higher OC content under reduced tillage, which indicates some level of protection for the accrued particulate OC. In contrast, cumulative soil N₂O flux was 31% and 111% higher under reduced than conventional tillage for the ambient and reduced precipitation respectively (Fig. 1c). This might be explained by development of more anaerobic microsites under reduced than conventional tillage as indicated by soil water content differences. Similarly, the lower cumulative soil N₂O flux under reduced compared to ambient precipitation could be explained by soil water content. Despite the large differences in average cumulative soil N₂O fluxes between treatments, there were no statistical differences, presumably due to the large spatial variability of N₂O fluxes and the small sample size (i.e., n =4).

The long-term implementation of reduced tillage led to increases in soil organic matter content in stable forms, and to enhanced water storage even under reduced precipitation, benefiting climate change mitigation and adaptation. However, it was accompanied by increased soil N₂O emissions and reduced crop yield, posing challenges to food security and climate change. Therefore, the evaluation of agroecological practices should consider ecosystem multifunctionality rather than individual ecosystem services.

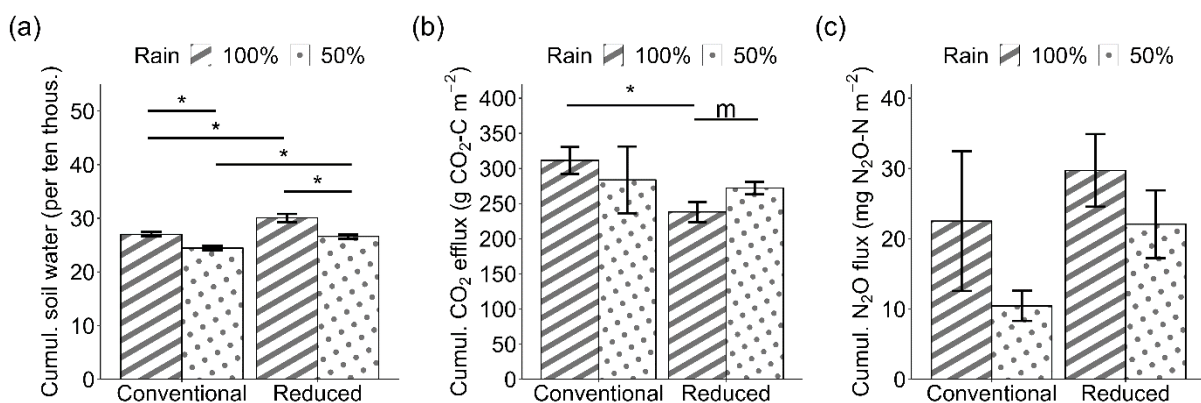


Figure 1. Soil water intensity (a), cumulative soil CO₂ efflux (b) and cumulative soil N₂O flux (c) from 2023-02-22 until 2023-06-26 under conventional and reduced tillage and under ambient and reduced precipitation. Bars indicate average values and error bars indicate standard errors. Symbols * and m indicate significant and marginal differences respectively, according to analysis of variance models.

Root-system architecture and P-acquisition efficiency of two contrasting potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes in various P-environments

Julian Kirchgesser¹, Mareike Kavka², Mousumi Hazarika², Konstantin Stetter¹,
Silvia Bachmann-Pfabe³, Klaus J. Dehmer² and Ralf Uptmoor¹

¹Agronomy, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, University of Rostock; ²Gross Luesewitz Potato Collections (GLKS), Satellite Collection North, Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), Gross Luesewitz; ³Neubrandenburg University of Applied Science, Brodaer Str. 2, D-17033 Neubrandenburg, Germany. E-Mail: julian.kirchgesser@uni-rostock.de

Introduction

The potato (*Solanum tuberosum*, L) is the world's most important non-cereal crop and plays a major role in global food supply. Crucial for crop growth and high yields is a sufficient phosphorus (P) fertilization since it is a component of many important biomolecules and therefore an essential macronutrient required for plant metabolism. It is taken up from the soil in the form of inorganic phosphate as favored type. Phosphorus acquisition depends on the availability of dissolved phosphate in the rhizosphere and the characteristics of P uptake mechanisms and thus on root-system architecture and phosphatase activity (Richardson et al., 2009; Lynch, 2011).

In comparison with other crops, the potato has a relatively poor P acquisition efficiency. This is mainly due to its rather shallow and sparsely branched root system, resulting in a more limited soil volume exploitable by the plant (Dechassa et al., 2003).

We hypothesize that various cultivars might react differently to contrasting P environments, thus revealing adaptation processes to P-deficiency in potato.

Material and Methods

To show the variability in root system architecture, root development and P uptake in potato, we highlight the characteristics of the two genotypes cv. Cardoso and cv. Kristall. Both cultivars were included in three experiments, each having a different perspective on plant-P interaction.

Our first experiment analyzed root-system architecture. 200 different *in-vitro* pre-grown potato genotypes, comprising clones from the Gross Luesewitz Potato Collections (IPK-GLKS), were cultivated in sand-filled mini-rhizotrons under greenhouse conditions (Kirchgesser et al. 2022). A 0.5 mM P (high phosphorus, HP) and 0.1 mM P (low phosphorus, LP) Hoagland solution was applied as fertilizer. After 10 days, plants were harvested, roots scanned, and root dry weights determined. Root scans were evaluated using the root analysis software GiA Roots (Galkovskiy et al., 2012).

The second experiment had its focus on root development over a longer period of time. It was very similar to the first one but included larger rhizotrons, only three genotypes and a growth period of 30 days. Root development progress was captured daily, and dry mass acquired after harvesting. Root analysis was conducted using the software WinRHIZO™.

In the third experiment, eight potato genotypes planted as tubers in three P fertilizer levels (no P fertilizer, TSP, organic compost) were cultivated for a period of eight months. Fresh plant material for analyzing dry weight and nutrient concentration was detached at full bloom (BBCH 635). Tubers were collected after maturity.

Results and Discussion

From the results of our mini-rhizotron experiment, we are able to show significant genotypic differences between cv. Cardoso and cv. Kristall for 16 out of 23 traits, where the latter had a much smaller but denser root system. Except for the total dry mass, fertilizer-specific differences only appeared in cv. Cardoso. P deficiency resulted in a significantly higher network width and convex area, thus supporting topsoil foraging for better P uptake (Lynch & Brown, 2001).

The long-term rhizotron experiment revealed different growth rates for the two genotypes, showing the much more dynamic root-network increase of cv. Cardoso in comparison to cv. Kristall (Fig. 1). However, differences between HP and LP were not significant.

The results of our pot experiment show significant differences in plant-P concentrations between TSP-fertilization and control for both genotypes. Across all fertilizer treatments, shoot-P concentration was higher in cv. Kristall than in cv. Cardoso, despite having a much smaller root system. Interestingly, shoot dry weight was not significantly different between the genotypes, indicating an efficient P uptake of cv. Kristall.

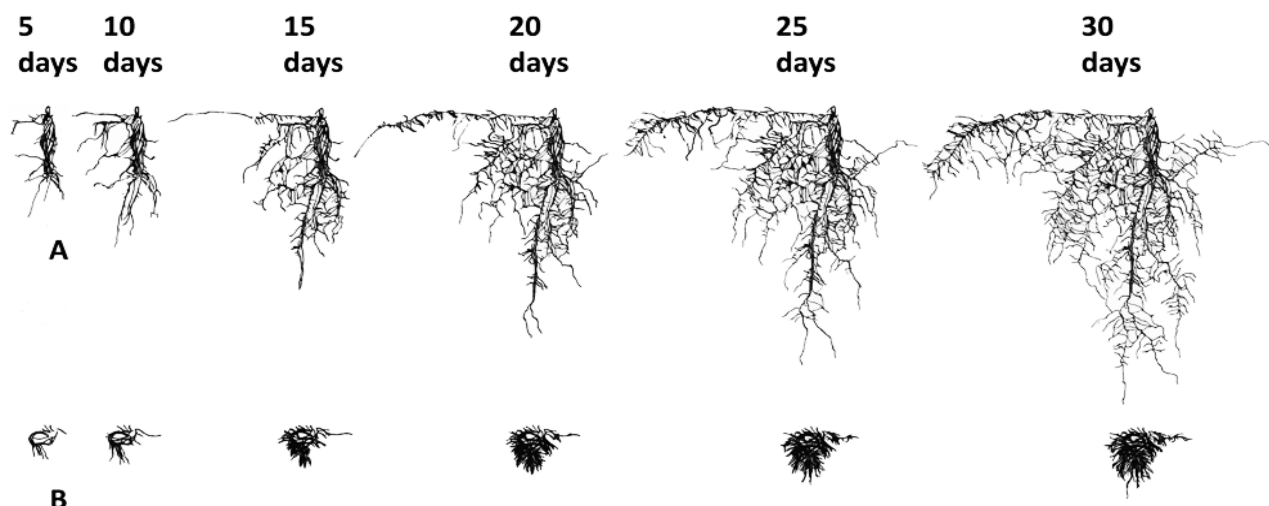


Fig. 1: Root systems of cv. Cardoso (A) and cv. Kristall (B) at HP conditions over 30 days of growth in rhizotrons.

Literature

- Dechassa, N., Schenk, M. K., Claassen, N., and Steingrobe, B. (2003). Phosphorus Efficiency of Cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. *capitata*), Carrot (*Daucus carota* L.), and Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant and Soil* 250, 215–224.
- Galkovskyi, T., Mileyko, Y., Bucksch, A., Moore, B., Symonova, O., Price, C. A., et al. (2012). GiA Roots: software for the high throughput analysis of plant root system architecture. *BMC Plant Biol* 12, 116.
- Kirchgesser, J., Hazarika, M., Bachmann-Pfabe, S., Dehmer, K.J., Kavka, M., Uptmoor, R. (2023): Phenotypic variation of root-system architecture under high P and low P conditions in potato (*Solanum tuberosum* L.). *BMC Plant Biol.* 23, 68.
- Lynch J., Brown K. (2001). Topsoil foraging – an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant and Soil* 237, 225–237
- Lynch, J. P. (2011). Root Phenotypes for Enhanced Soil Exploration and Phosphorus Acquisition: Tools for Future Crops. *Plant Physiology* 156, 1041–1049.
- Richardson, A. E., Barea, J.-M., McNeill, A. M., and Prigent-Combaret, C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil* 321, 305–339.

Bodenlockern mit Pflanzen - Theorie und Praxis in der Landwirtschaft und beim Bau

Andreas Lehmann und Simone Graeff-Hönninger

Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Stuttgart-Hohenheim.
E-Mail: as@uni-hohenheim.de

Einleitung

Bodenlockerung wird in der Regel mit mechanischer Bodenlockerung in Verbindung gebracht. Die Rolle, die der Bodenbiologie in der Bodenlockerung im Allgemeinen zugeschrieben wird, kommt im klassischen Leitgedanken „mechanisch Lockern und biologisch Stabilisieren“ zum Ausdruck. Dennoch ist eine erfolgreiche Unterbodenlockerung bei hohem Ton- oder Steingehalt häufig nur rein biologisch durchführbar. Beim Lockern entstehen die für das Speichern von pflanzenverfügbarem Wasser relevanten Mittelporen (0,2 – 10 µm) jedoch nur auf biologischem Weg. Aktuell beruht das Wissen zur biologischen Unterbodenlockerung durch Pflanzen wie beispielsweise Luzerne und Steinklee im Wesentlichen auf Traditionswissen.

Ungeachtet dessen nimmt heute die Bedeutung der Unterbodenlockerung bei zunehmend auftretenden Klimaextremen mit Starkniederschlägen und anhaltenden Trockenperioden zu. Auch die Tendenz zu einem verringerten Betriebsmitteleinsatz in der Landwirtschaft macht einen gut strukturierten Unterboden mit hohem Porenvolumen zur Speicherung von Wasser, Nährstoffen und Sauerstoff wichtiger. Ziel der Studie ist es die Potenziale der biologischen Bodenlockerung bei Eingriffen in Böden durch Landwirtschaft und Bau zu skizzieren.

Material und Methoden

Die Thematik der biologischen Unterbodenlockerung steht noch nicht im Fokus aktueller Forschungen. Dementsprechend wird auf Arbeiten aus dem 19. und 20. Jahrhundert zurückgegriffen. Eigene Untersuchungen im Zuge der Nachsorge bei Unterbodenverdichtungen bei Baumaßnahmen greifen die Ergebnisse der frühen Untersuchungen auf.

Ergebnisse und Diskussion

Schultz-Lupitsch (1893) verglich die Wurzelentwicklung bei Kartoffeln mit und ohne vorausgegangenem Anbau von Lupinen. Er konnte nachweisen, dass die Durchwurzelung von 25 cm - ohne den Lupinenanbau - auf eine Tiefe von 120 cm - mit Lupinenanbau - zunahm. Diese Beobachtungen machte er auf Sandboden auf dem Gut Lupitz.

in einem Großgefäßversuch mit „nährkräftigem Boden“ Wuchs von Hafer mit und ohne Lupinenvorfrucht und stellte die ober- und unterirdische Biomasse dar. Dabei führt eine Lupinenvorfrucht nahezu zur Verdoppelung des Spross-Wurzel-Verhältnisses. Beide historischen Publikationen beschreiben Effekte, die sowohl der verbesserten Struktur durch intensive und tiefe Durchwurzelung, aber auch der Stickstofffixierung zuzuschreiben sind.

Vetter & Lichtenstein (1968) ermittelten in einem zeitlich wiederholten Sickerungsversuch die Zeit bis zur Versickerung von 80 mm Niederschlag bei einer sandig-lehmigen Parabraunerde im Ostholsteinischen Hügel- und Seenland, die eine Pflugsohle aufwies. Der Ausgangswert von 800 min (im August 1964) verkürzte sich nach zweimonatigem Kleeerasanbau auf 300 min. Nach weiteren 7 Monaten Kleeeras

ging der Wert auf 250 min zurück und erreichte nach weiteren 5 Monaten (also insgesamt nach 14 Monaten) einen Wert von etwa 10 min. Dabei war die durch das Klee gras geförderte Zunahme der Regenwurmgänge entscheidend für diese Dynamik.

Eigene Versickerungsversuche belegen eine beachtliche Verbesserung der Bodenstruktur durch Steinklee anbau. Nach Baumaßnahmen zur Renaturierung von tonigem Boden bei Nässe an einem Gewässer im Naturraum Obere Gäue war der Boden im August 2013 sehr stark verdichtet. In einem Versickerungsversuch mit Doppelringen (vgl. DIN 19682-7) war im Januar 2014 keine Sickerung messbar. Danach wurde Steinklee gesät, nach 8 Wochen erfolgte ein Schröpfschnitt. Bereits im November 2014 wurde eine hohe Sicker geschwindigkeit von $5 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ (ca. 50 cm d^{-1}) ermittelt.

Beim Auftrag von Oberboden zur Bodenverbesserung auf einem lehmig-tonigen Acker mit weniger als 60 Bodenpunkten im Naturraum Glemswald kam es im März 2018 durch das Befahren zu stärkeren Verdichtungen. Die Bodenfeuchte war dabei in dem nach der DIN 19639 noch zulässigen Bereich. Nachteilig war jedoch, dass der Boden nicht ausreichend gesetzt war, da vor Bodenauftrag noch gepflügt wurde. In Rahmen eines von der Landesforschungsanstalt Mecklenburg-Vorpommern geförderten Streifenversuchs mit Luzerne, Weißem und Gelbem Steinklee wurde am 24.7.2019 die Lagerungsdichte im Oberboden (0-20 cm) sowie im Unterboden (20-40 cm und 40-60 cm) erfasst. Die höchste gemessene Bodendichte lag bei fünffach wiederholter Beprobung bei $1,58 \text{ g cm}^3$ (20-40 cm Tiefe) und wurde unter Luzerne ermittelt. Die entsprechende Dichte betrug bei Steinklee (N=8) $1,47 \text{ g cm}^3$. Im Vergleich zur Luzerne stellte sich damit die Bodenlockerungsleistung des Steinklees als überlegen gegenüber Luzerne dar. Allerdings war bei einer gezielt betrachteten hoch verdichteten Fahrspur zu erkennen, dass die Wurzeln des überjährig angebauten Steinklees zwar in den Verdichtungshorizont eingedrungen waren, aber es noch zu keiner merklichen Strukturverbesserung und Lockerung gekommen war. Dies deutet darauf hin, dass bei extremen Verdichtungen mechanisches und biologisches Lockern kombiniert werden soll, wenn Steinlagen und Bodenkonsistenz dies nicht verhindern.

Zur Einordnung der Bedeutung der Lockerung von Unterbodenverdichtungen sei auf den Anteil der landwirtschaftlichen Flächen von noch ca. 50% hingewiesen. Damit sei die Bedeutung dieser Flächen zum Schutz vor Überschwemmungen hervor gehoben. Der Zustand der Unterböden von nach Baumaßnahmen hinterlassenen Freiflächen ist jedoch auch beim Hochwasserschutz zu berücksichtigen, auch da sich diese meist in unmittelbarer räumlicher Nähe zu vulnerabler Infrastruktur befinden. Vielfach fokussiert die Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen auf Rückhaltebecken und Deichbau, die teils weitere Flächenbeanspruchung nach sich ziehen. Ein Kosten-Nutzen-Vergleich zwischen technischem und Hochwasserschutz, der auf ein erhöhtes Porenvolumen der Unterböden abzielt, steht aus.

Literatur

- DIN (2015): Bodenbeschaffenheit - Felduntersuchungen - Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelringinfiltrimeter, DIN 19682-7.
- DIN (2019): Bodenschutz bei Planung und Durchführung von Bauvorhaben, DIN 19639.
- begleitung, S. 30. In: Nutzung und Schutz der Böden im "Anthropozän". Eigenverlag, 82 S. Online: https://t1p.de/tagungsband_abstracts_bgs_2015 (mit Linkverkürzer generiert), abgerufen am 13.7.2023
- Schultz-Lupitz, Albert (1893): Zwischenfruchtanbau auf leichtem Boden. Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft. Unger, 95 S.
- Schulze, Bernhard (1911): Darstellung natürlicher Wurzelbilder der Halmfrüchte in verschiedenen Stadien der Entwicklung. Parey, 36 S.
- Vetter, H. und H. Lichtenstein (1968): Die biologische Auflösung von Unterbodenverdichtungen. Landwirtschaftliche Forschung. 85-Sonderheft, 85-88.

Auswirkungen verschiedener Zwischenfrüchte auf Feinwurzeln und Wachstum nachfolgender Zuckerrübe

Dennis Grunwald und Heinz-Josef Koch

Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-Mail: grunwald@ifz-goettingen.de

Einleitung

Zwischenfrüchte können durch den Eintrag organischer Substanz und insbesondere ihr Wurzelwachstum die Bodenstruktur verbessern und so für eine bessere Durchwurzelung und damit ein insgesamt erhöhtes Wachstum der nachfolgenden Kultur sorgen. Dieser Effekt hängt allerdings vermutlich von der gewählten Zwischenfrucht und deren ober- sowie unterirdischer Biomasse ab. Insbesondere eine hohe Wurzelbiomasse könnte sich hier positiv auswirken, auch durch Zwischenfrüchte geschaffene Wurzelkanäle können von der nachfolgenden Kultur direkt genutzt werden.

Zuckerrübenwurzeln könnten von vorherigen Zwischenfrüchten durch eine schnelleres Wurzelwachstum profitieren, das im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode Trockenstress vermeiden oder abmildern könnte. Allerdings wurde in den wenigen bisher veröffentlichten Untersuchungen zum Wurzelsystem der Zuckerrübe kein Zusammenhang zwischen Wurzellängendichte und Pflanzenwachstum gefunden.

Material und Methoden

Für diese Studie wurden zwei Feldversuche in aufeinanderfolgenden Jahren nahe Göttingen mit vier verschiedenen Zwischenfruchtvarianten (Brache, Ölrettich, Rauhafer, Sommerwicke) und nachfolgendem Anbau von Zuckerrübe angelegt. Die ober- und unterirdische Biomasse der Zwischenfrüchte wurde zu Vegetationsende erfasst, während die oberirdische Biomasse der Zuckerrübe monatlich und die Durchwurzelung der Zuckerrübe im Juli, etwa 100 Tage nach Aussaat, bis 60 cm Tiefe bestimmt wurde. Weiterhin wurde im Frühjahr unter der Zuckerrübe die Bodenstruktur mittels verschiedener Parameter untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die Biomasse (ober- sowie unterirdisch) von Ölrettich war tendenziell höher als bei Rauhafer, wobei die Differenzierung in den beiden Versuchsjahren schwankte. Sommerwicke hatte in beiden Jahren eine deutlich geringere Wurzelbiomasse als Ölrettich und Rauhafer. Insbesondere nach Ölrettich, schwächer ausgeprägt auch nach den anderen beiden Zwischenfrüchten, wurden im Vergleich zur Brache Verbesserungen der Bodenstruktur im Frühjahr gefunden, vor allem hinsichtlich einer erhöhten Aggregatstabilität und eines verringerten Eindringwiderstands.

Die Wurzellängendichte der Zuckerrübe in 0-20 cm Bodentiefe wurde im Vergleich zur Brache durch den vorherigen Anbau von Ölrettich und Rauhafer erhöht, wobei dies für Ölrettich in beiden Jahren und für Rauhafer in einem Jahr signifikant war (Abb. 1). Sommerwicke als Vorfrucht hatte hingegen kaum einen Effekt auf die Durchwurzelung der Zuckerrübe. In 20-40 cm gab es keine signifikanten Unterschiede mehr, allerdings waren auch hier numerisch höhere Werte nach Ölrettich und Rauhafer zu sehen.

Gründe für das verbesserte Wurzelwachstum könnten zum einen eine vorteilhafte Bodenstruktur infolge des Zwischenfruchtwachstums, zum anderen aber auch ein

gewisser Stickstoffmangel sein, wie in einer anderen Studie zu den Versuchen gefunden wurde (Koch et al. 2022).

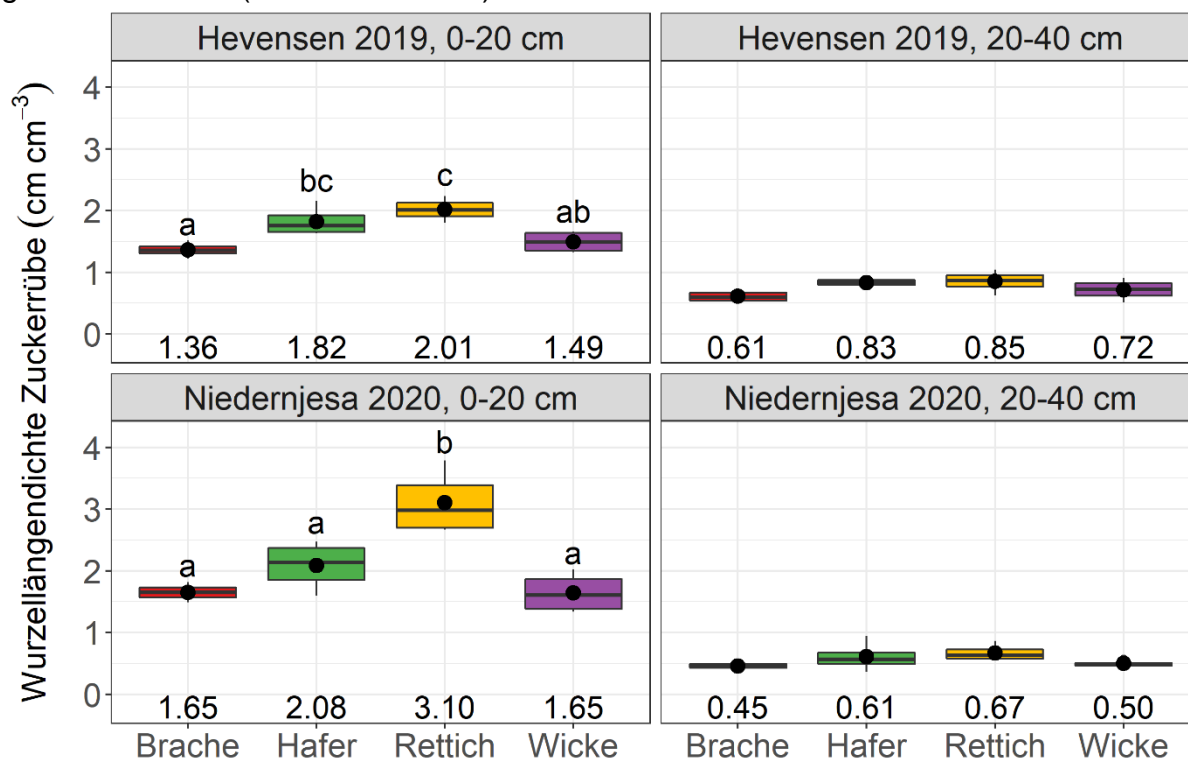


Abb. 1: Wurzellängendichte von Zuckerrübenwurzeln im Juli nach verschiedenen Zwischenfruchtvarianten in zwei Versuchsjahren und zwei Bodentiefen. Die Punkte und Zahlen zeigen Mittelwerte ($n = 4$), unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Zwischenfruchtvarianten an einem Standort und in einer Bodentiefe.

Die oberirdische Zuckerrübenbiomasse reagierte an den beiden Standorten unterschiedlich auf die Zwischenfrüchte (Daten nicht gezeigt). An einem Standort wies Zuckerrübe nach allen drei Zwischenfrüchten zu Beginn der Wachstumsperiode eine höhere Blattbiomasse auf, bei weiteren Terminen allerdings nicht mehr, bzw. wurde teilweise sogar eine geringere Biomasse gefunden. Am zweiten Standort waren die Werte zu Beginn der Vegetationsperiode zunächst ausgeglichen zwischen den Varianten, über den Verlauf des Pflanzenwachstums zeigte sich dann aber eine höhere Biomasse nach allen drei Zwischenfrüchten im Vergleich zur Brache.

Zur Einordnung dieser Ergebnisse ist zum zweiten Standort zu sagen, dass die Stickstoffnachlieferung hier sehr hoch war und somit in keiner Variante ein Stickstoffmangel, bzw. verringerte Stickstoffaufnahmen der Zuckerrübe zu beobachten waren. Somit könnten die positiven Effekte hinsichtlich des Pflanzenwachstums hier möglicherweise der verbesserten Bodenstruktur infolge des Zwischenfruchtanbaus angerechnet werden. Die erhöhte Durchwurzelung wiederum war vermutlich nicht kausal für die höhere Zuckerrübenbiomasse, da ähnliche Effekte auch im ersten Jahr ohne ein gleichzeitig erhöhtes Pflanzenwachstum gefunden wurden.

Literatur

Koch H-J, Grunwald D, Essich L, Ruser R (2022) Temporal dynamics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) N supply from cover crops differing in biomass quantity and composition. *Front Plant Sci* 13: 920531.

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft unter dem Förderkennzeichen 28-1-B2.012-16 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

Root Behaviour of Red Cabbage (*Brassica oleracea*) under Subsurface Drip Fertigation under Field Conditions

Martin Mungai Mburu, Caspar-Friedrich Weßler, Zahir Shah Safari, Ana Callau-Beyer and Hartmut Stützel

Institute of Horticultural Production Systems, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Germany
E-Mail: mburu@gem.uni-hannover.de

Introduction

Subsurface Drip Fertigation (SDF) is a technology with the potential to provide nutrients and water to the plant root zone at the rates required by the plant. Under SDF, roots are exposed to spatially and temporally variable water and nutrient profiles, which affects their uptake dynamics and growth. The functioning of the aboveground parts of plants is highly dependent on the distribution and activities of the root system (Malamy, 2005). The knowledge about the dynamic behaviour of root systems in response to a heterogenous supply of nutrients and water is limited (Hodge, 2006). Modeling of root growth arose in the 1970s and continues to play a key role in explaining root growth processes.

Materials and Methods

Field experiments were conducted from 2021 to 2022 at the Herrenhausen experimental field of the Leibniz University Hannover, Germany, to evaluate the root behaviour of red cabbage (*Brassica oleracea*), in SDF under field conditions. The experiment consisted of two treatments (300 and 150 kg N/ha) with three replications (plots) in a completely randomized block design. Weekly applications of fertilizer were distributed according to Feller et al. (2011). The subsurface drip irrigation tubes were installed and buried at a depth of 0.40 m. The seedlings were transplanted into the field after emergence of the fourth leaf. Root morphological parameters were quantified using the soil core technique with a soil core cylinder of 8.4 cm diameter (Eijkelkamp Agriresearch Equipment, Giesbeek, NL) for different depths and distances to plant axis during and at the end of the growing season (Kage et al., 2000). Furthermore, in 2021 and 2022, root growth was also assessed using the minirhizotron method. In our case, root distribution is a function of soil water content, nutrient availability and soil characteristics.

Results and Discussion

The study revealed that a greater percentage of roots, in terms of root length density (RLD), occupied the top soil layers and the layers near the emitters in all treatments compared to the other soil layers. Parameterization for my root growth model was achieved using the 2021 and 2022 growing season data while for evaluation of the model, years 2020 and 2022 were used. For the 2021 growth period, the study experimental results revealed that for the high N treatment more root length was concentrated around the dripper as compared to the low N treatment. Furthermore, the percentage of total root length located underneath the plant was similar for both treatments. Similarly, in 2022, more root length was concentrated around the dripper in the high N treatment as compared to the low N treatment. Additionally, the lower nitrogen treatment plots had more total root length compared to the higher N treatments, irrespective of the year under study. Our findings agree with Rabbi et al. (2017) who studied the effect of localised high nitrogen concentration on plasticity of

wheat and barley roots in the soil. RLD is one of the most important variable for quantifying the response of plant roots to the environment (Vetterlein et al., 2022). Therefore, RLD is a determinant for root water and nutrient uptake in a plant. According to Phene et al. (1991) information on root distribution is useful to understand crop responses to different irrigation/fertigation systems, especially for subsurface drip systems which are characterized by a limited wetted soil volume. The understanding of root dynamics to spatial and temporal water and nutrient availability will facilitate the adoption of the system by growers and contribute to increased water and fertilizer use efficiency in horticultural plant production.

References

- Feller, C., Fink, M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P., Scharpf, H. C., Schlaghecken, J., Strohmeyer, K., Weier, U., & Ziegler, J. (2011). Düngung im Freilandgemüsebau. Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3(4), 1–265.
https://www.igzev.de/publikationen/IGZ_Duengung_im_Freilandgemuesebau.pdf
- Hodge, A. (2006). Plastic plants and patchy soils. *Journal of Experimental Botany*, 57(2 Spec. Iss.), 401–411. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri280>
- Kage, H., Kochler, M., & Stützel, H. (2000). Root growth of cauliflower (*Brassica oleracea* L. *botrytis*) under unstressed conditions: measurement and modelling. *Plant and Soil*, 223(1–2), 131–145. <https://doi.org/10.1023/A:1004866823128>
- Malamy, J. E. (2005). Intrinsic and environmental response pathways that regulate root system architecture. *Plant, Cell and Environment*, 28(1), 67–77. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01306.x>
- Phene, C. J., Davis, K. R., Hutmacher, R. B., Bar-Yosef, B., Meek, D. W., & Misaki, J. (1991). Effect of high frequency surface and subsurface drip irrigation on root distribution of sweet corn. *Irrigation Science*, 12(3), 135–140. <https://doi.org/10.1007/BF00192284>
- Rabbi, S. M. F., Guppy, C. N., Tighe, M. K., Flavel, R. J., & Young, I. M. (2017). Root architectural responses of wheat cultivars to localised phosphorus application are phenotypically similar. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180(2), 169–177. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600503>
- Vetterlein, D., Phalempin, M., Lippold, E., Schlüter, S., Schreiter, S., Ahmed, M. A., Carminati, A., Duddek, P., Jorda, H., Bienert, G. P., Bienert, M. D., Tarkka, M., Ganther, M., Oburger, E., Santangeli, M., Javaux, M., & Vanderborght, J. (2022). Root hairs matter at field scale for maize shoot growth and nutrient uptake, but root trait plasticity is primarily triggered by texture and drought. *Plant and Soil*, 478(1–2), 119–141. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05434-0>

Einfluss des pH-Werts auf die Ammoniakemissionen oberflächlich ausgebrachter Gülle in Inkubationsbehältern

Nils Ellersiek und Hans-Werner Olfs

Hochschule Osnabrück, Fakultät für Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Fachgebiet Pflanzenernährung und Pflanzenbau; E-Mail: n.ellersiek@hs-osnabrueck.de

Einleitung

Deutschland ist gemäß der NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 verpflichtet bis zum Jahr 2030 die NH_3 -Emissionen um 29 % gegenüber dem Jahr 2005 zu reduzieren. Darüber hinaus muss die N-Düngewirkung und Nutzungseffizienz der eingesetzten Wirtschaftsdünger verbessert werden. Säuren senken den pH-Wert von Gülle, was zu einer Verschiebung des $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Gleichgewichts hin zu einer höheren NH_4^+ -Konzentration führt, sodass weniger NH_3 emittiert. Um den Bezug zwischen Gülleansäuerung und NH_3 -Emissionsreduktion bei der Gülleausbringung näher zu untersuchen, wurde eine spezielle Messmethodik entwickelt.

Material und Methoden

Bei der Messmethode werden luftdicht verschließbare Behälter mit einer Fläche von 600 cm² eingesetzt. Die Behälter haben einen Lufteinlass und werden über einen Luftauslass an eine Vakuumpumpe angeschlossen. Zwischen Behälter und Vakuumpumpe werden jeweils Waschflaschen installiert. Das im Behälter emittierte NH_3 wird in der Waschflasche gesammelt und kann quantitativ bestimmt werden. Im ersten Versuch wurde Mastschweinegülle bzw. Rindergülle mit Zitronensäure auf unterschiedliche pH-Werte (Ausgangs-pH; pH 7,0; pH 6,5; pH 6,0; pH 5,5) angesäuert. Im zweiten Versuch wurde die gleiche Mastschweinegülle mit Zitronensäure (50 %) bzw. Schwefelsäure (96 %) auf unterschiedliche pH-Werte (Ausgangs-pH; pH 7,5; pH 7,0; pH 6,5; pH 6,0; pH 5,5) angesäuert. Anschließend wurde die Gülle jeweils oberflächlich auf Boden in Schalen ausgebracht und die NH_3 -Emissionen mithilfe der Inkubationsbehälter gemessen. Außerdem wurde die Effizienz der NH_3 -Reduktion durch die Säurezugabe in verschiedenen pH-Bereichen berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Versuch zeigte sich, dass die NH_3 -Emissionen aus der aufgebrachten Gülle umso niedriger sind, desto niedriger der pH-Wert der Gülle ist (Table 1). Je nach Gülle variieren die NH_3 -Emissionen zwar, ab einem pH-Wert von 6,0 treten jedoch bei beiden Güllen nahezu keine Emissionen mehr auf.

Die im zweiten Versuch ermittelten NH_3 -Flüsse zeigen bei gleichem pH-Wert nur sehr geringe Unterschiede zwischen den mit Zitronen- bzw. Schwefelsäure angesäuerten Varianten (Table 2). Die Unterschiede sind auf die Heterogenität der Gülle und Ungenauigkeiten bei der Ansäuerung zurückzuführen. Von der Zitronensäure benötigt man (gewichtsbezogen) mehr als doppelt so viel als von der Schwefelsäure, um den gleichen pH-Wert zu erreichen. Weiterhin ist zu sehen, dass die Reduktionseffizienz bis pH 6,5 vergleichsweise hoch ist. Eine Ansäuerung unter einen pH-Wert von 6,5 lohnt sich deutlich weniger. Beim Vergleich der Reduktionseffizienz von Zitronen- und Schwefelsäure fällt auf, dass die Zitronensäure durchweg eine höhere Effizienz hat. Dies ist auf die höhere Protonenanzahl pro Mol Säure und das hohe Molgewicht der Zitronensäure im Vergleich zur Schwefelsäure zurückzuführen.

Table 1 – NH₃-Fluss und Emissionsreduktion aus Schweine- und Rindergülle mit unterschiedlichen pH-Werten.

	pH-Wert	Fluss [µg NH ₄ - N/min]	"±"	Signifikanz (ANOVA, p < 0,05)	% (w/w) appl. NH ₄ -N	Emissions- reduktion [%]
Schweinegülle	8,0	63,79	2,01	a	9,88	
	7,0	19,22	0,60	b	2,98	69,9
	6,5	4,88	0,08	c	0,75	92,4
	6,0	0,19	0,02	d	0,03	99,7
	5,5	0,08	0,01	d	0,01	99,9
Rindergülle	7,3	19,16	0,56	A	6,19	
	7,0	12,48	0,18	B	4,03	34,9
	6,5	2,53	0,15	C	0,82	86,8
	6,0	0,36	0,01	D	0,12	98,1
	5,5	0,07	0,00	D	0,02	99,6
Kontrolle		0,04	0,00			

Table 2 – NH₃-Fluss, Emissionsreduktion und Reduktionseffizienz aus mit Zitronen- bzw. Schwefelsäure angesäuerter Schweinegülle mit unterschiedlichen pH-Werten.

pH-Wert	Säure	Fluss [µg NH ₄ - N/min]	"±"	Emissions- reduktion [%]	Zugabe- menge Säure [mg]	Reduktions- effizienz [µg NH ₄ - N/h*mmol]
8,1	/	56,69	2,75			
7,5	Zitr.	46,07	0,79	18,7	9,3	26
	Schwef.	46,26	3,11	18,4	4,2	15
7,0	Zitr.	17,55	0,81	69,0	27	37
	Schwef.	18,92	2,12	66,6	10	27
6,5	Zitr.	3,89	0,16	93,1	38	29
	Schwef.	2,50	0,37	95,6	15	21
6,0	Zitr.	0,28	0,01	99,5	46	10
	Schwef.	0,51	0,01	99,1	21	2,3
5,5	Zitr.	0,07	0,00	99,9	48	2,3
	Schwef.	0,13	0,02	99,8	22	1,6

Es hat sich gezeigt, dass die NH₃-Emissionen aus der aufgebrachten Gülle umso niedriger sind, desto niedriger der pH-Wert der Gülle ist. Je nach Gülle variieren die NH₃-Emissionen zwar, ab einem pH-Wert von 6,0 treten jedoch bei allen Güllen nahezu keine Emissionen mehr auf. Die verwendete Säureart hat dabei keinen Einfluss auf das Ergebnis. Die Effizienz der Gülleansäuerung sinkt mit abnehmenden pH-Wert und strebt ab pH-Wert 6,0 gegen Null.

Remote sensing data assimilation for in-season wheat yield predictions

Maria Quade¹, Peter Borrmann², Sebastian Preidl^{1,2}, Ahmed Attia¹ and Til Feike¹

¹Julius Kühn-Institut, Kleinmachnow; ²Helmholtz Zentrum für Umweltforschung, Leipzig.
E-Mail: maria.quade@julius-kuehn.de

Introduction

In-season information on expected crop yields is important for farmers' crop management and business planning, as well as for the entire agricultural and food sector. Furthermore, timely information on possible extreme yield losses in specific production regions allows early decisions in European agricultural policy, e.g., regarding possible aid payments to producers. Yield losses are mainly caused by adverse and extreme weather conditions such as heat, drought, late frost, heavy rainfall and flooding as well as by pests and diseases. Such events are difficult to predict and their actual yield effects depend on a multitude of factors. With ongoing climate change, such adverse conditions and risk for yield losses are likely to increase (Lüttger & Feike 2018).

Process-based crop simulation models (CSM) simulate crop growth, development and yield formation under consideration of local soil and weather conditions, taking possible abiotic stress into account. For local applications, where actual growth conditions and crop management (e.g., sowing date, cultivar, fertilization) are well-known, CSM can be applied during the season to obtain insights on expected crop yields. However, for large-scale applications those data are mostly unknown, which hampers site-specific yield predictions on regional or even national scale. Furthermore, the accuracy of site-specific weather and soil data is limited and actual growth conditions may deviate from those assumed in a CSM-based assessment building on such data from national databases.

Point-specific current data on actual crop status derived from remote-sensing can be utilized to fill those data-gaps and inaccuracies (Guo et al., 2018). Such data, like current leaf area index (LAI), can be assimilated in the CSM to increase the spatiotemporal accuracy of model simulations and to derive more accurate in-season yield predictions.

Accordingly, the research project Hy-PiPE aims to compile and integrate spatially high-resolution data including crop classification maps for the crop- and pixel-specific parameterisation of a radiation-transfer-model. Utilizing the newly available high-resolution hyperspectral data of the EnMAP (Environmental Mapping and Analysis Program) mission the radiation-transfer-model is then used to derive pixel-specific state variables of LAI as well as leaf chlorophyll, nitrogen and water content. These actual crop status data are then integrated into a CSM for in-season crop yield predictions on pixel-level.

Materials and Methods

We use the CERES-CSM within the DSSAT platform (Jones et al., 2003) via the R Studio interface (Alderman, 2023) to develop a data assimilation routine. CERES simulates growth, development and yield parameters for a number of crops (e.g. maize, winter wheat, sorghum) assuming a homogeneous plot. Crop development and growth are defined by crop specific parameters, driven by daily weather data

(esp. rainfall, minimum and maximum temperature and solar radiation) and influenced by local soil conditions as well as management practices.

As remote sensing derived crop status data is only available within the second half of the project phase, we first use existing observation data from field experiments to mimic the remote sensing data and establish the data assimilation routines and respective processing pipelines in an ex-post modeling study. Accordingly, we establish an ensemble data set for winter wheat yield predictions for two of our experimental sites, i.e., Dahnsdorf in Southwest Brandenburg and Dahlem in Berlin. The experiments cover 18 site × year combinations, testing different genotypes, seeding treatments, pesticide intensities and cropping sequences. For both sites detailed LAI time series data obtained on the ground on a weekly basis with the SunScan Canopy Analysis System (Delta-T) is used to mimic the remote sensing derived products.

To establish the in-season yield prediction routine, we assume missing data regarding local soils and crop management as well as biomass development and grain yield. We derive possible soil profiles stamping out prevailing soils under cropland from the BÜK200 in a defined radius around the assessed points. We further define possible ranges of crop management, i.e., sowing windows, sowing densities, wheat cultivars and fertilization intensities for the two sites. Weather data available from the on-site weather stations are not manipulated at this stage. Later we intend to use seasonal climate forecasts (6 months) provided by the German weather service (DWD) for our yield forecasts.

We re-assess each site and season in the model regarding in-season yield predictions starting from the first LAI measurements in spring until the last before harvest. We assume not knowing exact soil and management and explore the possible data space using plausible ranges for soil and management and define those by minimizing the deviation of simulated vs. observed LAI using the ensemble Kalman filter (Amor et al. 2013). The developed approach will later be applied on-large scale using the LAI time series from the EnMAP mission available on national level to provide in-season yield predictions on a large scale (e.g., Germany).

Outlook

The data assimilation routine developed in this project will enable the assimilation of remote sensing derived German-wide LAI values into the DSSAT model to implement spatially explicit crop simulations. Together with the climate forecast data from the DWD, this will allow an improved yield forecast for the current season. The approach can later be expanded to other crops and crop state variables. The agri-food-sector and respective decision-makers may then benefit from these forecasts.

Literatur

- Alderman, P.D. (2023): DSSAT: A Comprehensive R Interface for the DSSAT Cropping Systems Model. R package version 0.0.7. DOI: 10.5281/zenodo.4091381. <https://CRAN.R-project.org/package=DSSAT>.
- Amor V.M. Ines, Narendra N. Das, James W. Hansen, Eni G. Njoku (2013): Assimilation of remotely sensed soil moisture and vegetation with a crop simulation model for maize yield prediction, *Remote Sensing of Environment*, Volume 138, Pages 149-164, ISSN 0034-4257, DOI: 10.1016/j.rse.2013.07.018.
- Berger, K.; Atzberger, C.; Danner, M.; D'Urso, G.; Mauser, W.; Vuolo, F.; Hank, T. Evaluation of the PROSAIL Model Capabilities for Future Hyperspectral Model Environments: A Review Study. *Remote Sens.*2018, 10, 85. DOI: 10.3390/rs10010085
- Guo, C., Zhang, L., Zhou, X. et al. Integrating remote sensing information with crop model to monitor wheat growth and yield based on simulation zone partitioning. *Precision Agric* 19, 55–78 (2018). DOI: 10.1007/s11119-017-9498-5.
- Jones, JW, Hoogenboom G, Porter CH, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA, Wilkens PW, Sing U, Gijsman AJ, Ritchie JT (2003) The DSSAT Cropping System Model. *Eur J Agron* 18: 235-265. DOI: 10.1016/S1161-0301(02)00107-7
- Lüttger AB & Feike T (2018) Development of heat and drought related extreme weather events and their effect on winter wheat yields in Germany. *Theor Appl Climatol* 132: 15-29.

Drohnenbasierte Bonituren in Sortenversuchen mit Zuckerrüben

Philipp Lottes¹, Daniel Laufer² und Christine Kenter²

¹Pheno-Inspect GmbH, Oberhausen; ²Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen.
E-Mail: kenter@ifz-goettingen.de

Einleitung

Die in Sortenversuchen mit Zuckerrüben vorgeschriebenen Feldaufgangszählungen und Bonituren sind personal- und zeitaufwendig. Seit 2019 prüfen Pheno-Inspect und das Institut für Zuckerrübenforschung mit den regionalen Arbeitsgemeinschaften des Versuchswesens sowie dem Bundessortenamt die Möglichkeit, visuelle Zählungen und Bonituren durch drohnenbasierte Verfahren zu ersetzen (Barreto et al. 2021).

Material und Methoden

2020-2021 wurden jeweils zehn Sortenversuche mit Zuckerrüben mit je drei Befliegungen mit günstigen Drohnen vermessen. Für die Auswertung der RGB-Daten entwickelte Pheno-Inspect die Bildverarbeitung auf Basis künstlicher Intelligenz, welche zunächst die Bilddaten mit dem Versuchsplan verschmilzt, die Rüben und Unkräuter erkennt und daraus Anzahl und Größe der Pflanzen pro Parzelle ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der visuellen und drohnenbasierten Feldaufgangszählungen waren eng korreliert (Abb. 1). Bei Zählungen im BBCH-Stadium 14-16 stimmten die Werte sehr gut überein (Beispiel Wüsten). Bei früherer Zählung (BBCH 10-12) wurden durch die günstige Kamera nicht alle Pflanzen erfasst (Beispiel Herrnberchthaim), da die notwendige Bildauflösung für Pflanzen im BBCH 10-11 nicht erreicht wird und dadurch systematisch weniger Pflanzen erkannt oder mit Unkräutern verwechselt werden.

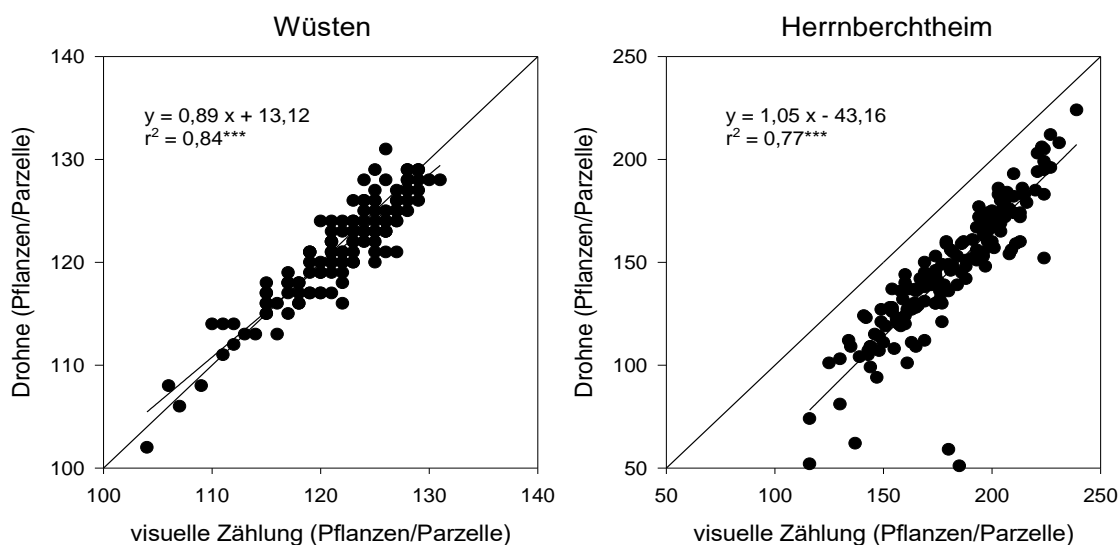


Abb. 1: Anzahl Zuckerrübenpflanzen pro Parzelle in zwei Sortenversuchen 2020 bei visueller und drohnenbasierter Zählung; *** signifikant bei $p \leq 0,001$

Literatur

Barreto, A., P. Lottes, F.R. Ispizua Yamati, S. Baumgarten, N.A. Wolf, C. Stachniss, A.-K. Mahlein, S. Paulus (2021) Automatic UAV-based counting of seedlings in sugar-beet field and extension to maize and strawberry. *Comp. Electron. Agr.* 191, 106493, DOI: 10.1016/j.compag.2021.106493.

Anwendung von künstlichen neuronalen Netzen zur Rebzeilenerkennung für eine Positionsoptimierung von Sprühdrohnen

Iven Schlich¹, Thomas Severin² und Kai Velten³

¹Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Julius Kühn-Institut (JKI), Kleinmachnow; ²Institut für Technik, Hochschule Geisenheim University, Geisenheim; ³Institut für Modellierung und Systemanalyse, Hochschule Geisenheim University, Geisenheim.
E-Mail: iven.schlich@julius-kuehn.de

Einleitung

Zur Sicherstellung der Qualität der Ernte müssen im Weinbau über die Vegetationsperiode zahlreiche pythosanitäre Maßnahmen durchgeführt werden. Bei der Applikation von pythosanitären Mitteln gewinnen Sprühdrohnen im Weinbau immer mehr an Bedeutung (Severin und Söffker, 2022). Ein zentraler Parameter für die Verteilung von Pflanzenschutzmitteln auf der Laubwand ist hierbei der relative Abstand zwischen Sprühdrohne und Laubwand (Biglia et al., 2022). Daher besteht die Notwendigkeit, dass Drohnen eine genaue Höhensteuerung während der Pflanzenschutzmaßnahme aufweisen, um die Effektivität zu steigern und die Ausbringungsmenge zu reduzieren (Severin und Söffker, 2022).

Bei der Flughöhenkontrolle verlassen sich Drohnen auf Sensordaten (Severin und Söffker, 2022). Diese Sensordaten werden jedoch u. a. von den darunterliegenden Rebzeilen beeinflusst, was bei der Höhenbestimmung zu Ungenauigkeiten führen kann. Daher befasst sich diese Arbeit mit der Forschungsfrage, mit welcher Genauigkeit die Positionen von Rebzeilen in Spalierziehung - in vertikaler und horizontaler Ausrichtung - in Aufnahmen einer Drohne aus der Vogelperspektive mittels eines neuronalen Netzes erkannt werden können, um eine bessere Höhenerkennung in Kombination mit den Abstandssensoren der Drohne zu ermöglichen.

Material und Methoden

Für diese Arbeit wurden Videoaufnahmen von 13 Drohnenflügen über einer Versuchsreblfläche der Hochschule Geisenheim verwendet. Aus diesen Aufnahmen wurden einzelne Frames extrahiert und die enthaltenen Rebzeilen durch umschließende Rechtecke (Bounding Boxen) annotiert. Basierend auf den annotierten Frames von 12 Flügen wurde ein Trainingsdatensatz (770 Einzelaufnahmen) sowie ein Validationsdatensatz (198 Einzelaufnahmen) erstellt. Für den Testdatensatz (78 Einzelaufnahmen) wurde ein separater Flug verwendet, um möglichst realitätsnahe Bedingungen zu erzielen. Ein Convolutional neuronales Netz (CNN) der YOLOv3-Architektur (Redmond und Farhadi, 2018), das auf dem COCO-Datensatz (Lin et al., 2014) vortrainiert wurde, wurde mit einer mini batch size von sechs über 50 Epochen hinweg mit dem Trainingsdatensatz trainiert.

Ergebnisse und Diskussion

Zur Evaluierung wurde die Average Precision (AP) Metrik verwendet. Das CNN zur Rebzeilenerkennung erzielte eine AP von ungefähr 0,973 auf dem Validationsdatensatz ohne Rebzeilen in vertikaler Ausrichtung (166 Einzelaufnahmen) und eine AP von etwa 0,927 auf dem Testdatensatz. Bei dem Validationsdatensatz mit Rebzeilen in vertikaler Ausrichtung konnte nur eine AP von

circa 0,665 erreicht werden. Bei genauerer Betrachtung der Modellausgaben für den Validationsdatensatz wurde ersichtlich, dass das Modell nicht in der Lage war, Rebzeilen in vertikaler Ausrichtung zu erkennen. Vermutlich liegt dies daran, dass der Trainingsdatensatz einen zu geringen Anteil an Rebzeilen mit vertikaler Ausrichtung aufwies, wodurch sich das CNN wahrscheinlich zu sehr auf horizontale Rebzeilen angepasst hat (Overfitting). Die Aufnahme des Flugs für den Testdatensatz bestand größtenteils aus horizontal ausgerichteten Rebzeilen, weshalb die AP hier hoch ausfiel. Die Performance des Modells war auf Einzelaufnahmen des Validationsdatensatzes mit einer geschätzten relativ niedrigen Flughöhe von 2,5 bis 4 Metern (AP = 0,982) etwas besser im Vergleich zu jenen mit einer geschätzten relativ hohen Flughöhe von 5,5 bis 8 Metern (AP \approx 0,963). Insgesamt sind die AP-Werte des Modells bei Rebzeilen in horizontaler Ausrichtung durchaus zufriedenstellend und vergleichbar mit anderen Objekterkennungen im Agrarsektor (siehe Pang et al., 2020 und Pei et al., 2022).

Um die Nutzung der Rebzeilenerkennung des CNN zu verdeutlichen, wurde ein Klassifikator entwickelt, der einzelne Frames einer Aufnahme in Frames mit Rebzeilen in der Bildmitte, unterhalb der Abstandssensoren der Drohne, und Frames ohne Rebzeilen in der Bildmitte unterteilt. Diese Information kann an die Abstandssensoren der Drohne übermittelt werden, um gegebenenfalls eine verbesserte Höhererkennung durch die Abstandssensoren zu ermöglichen. Weitere Forschungen sind notwendig, um zu untersuchen, wie sich diese Information auf die Höhererkennung der Abstandssensoren auswirkt.

Literatur

- Biglia, A.; Grella, M.; Bloise, N.; Comba, L.; Mozzanini, E.; Sopegno, A.; Pittarello, M.; Dicembrini, E.; Alcatrão, L. E.; Guglieri, G. and others (2022). UAV-spray application in vineyards: Flight modes and spray system adjustment effects on canopy deposit, coverage, and off-target losses, *Science of the Total Environment*, Elsevier, Volume 845, S. 157292.
- Lin, T.-Y.; Maire, M.; Belongie, S.; Hays, J.; Perona, P.; Ramanan, D.; Dollár, P. and Zitnick, C. L. (2014). Microsoft coco: Common objects in context, *European conference on computer vision*, Springer, S. 740-755.
- Pang, Y.; Shi, Y.; Gao, S.; Jiang, F.; Veeranampalayam-Sivakumar, A.-N.; Thompson, L.; Luck, J. and Liu, C. (2020). Improved crop row detection with deep neural network for early-season maize stand count in UAV imagery, *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, Volume 178, S. 105766.
- Pei, H.; Sun, Y.; Huang, H.; Zhang, W.; Sheng, J. and Zhang, Z. (2022). Weed Detection in Maize Fields by UAV Images Based on Crop Row Preprocessing and Improved YOLOv4, *Agriculture*, MDPI, Volume 12, Nr. 7, S. 975.
- Redmon, J. and Farhadi, A. (2018). Yolov3: An incremental improvement, *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.
- Severin, T. and Söffker, D. (2022). Sensor optimization for altitude estimation of spraying drones in vineyards, *7th IFAC Conference on Sensing, Control and Automation Technologies for Agriculture*, München.

Assessing Spatial Variability in Silvoarable Agroforestry Systems Using UAV-Borne Remote Sensing

Matthias Wengert¹, Hans-Peter Piepho², Thomas Astor¹, Rüdiger Graß¹,
Jayan Wijesingha¹ and Michael Wachendorf¹

¹Grassland Science and Renewable Plant Resources, Universität Kassel, Steinstraße 19, D-37213 Witzenhausen, Germany;

²Institute of Crop Science, Biostatistics Unit, University of Hohenheim, Fruwirthstraße 23, D-70599 Stuttgart, Germany;

Correspondence: m.wengert@uni-kassel.de

Introduction

Agroforestry systems (AFS) can provide a wide range of beneficial ecosystems services as well as stabilize crop yields. Current studies on the effect of trees on crop-yield-related parameters mostly rely on point measurements in transects. Unoccupied aerial vehicles (UAVs) can be used to model plant traits with high spatial coverage and resolution, thus, offering a novel way to analyze their spatial variability in AFS.

Material and Methods

This study surveyed barley stands at three short rotation coppice (SRC) AFS located in central Germany (Forst, Dornburg, Wendhausen) during milk ripeness in June 2019. UAV flights with visible light (RGB) and multispectral sensors were conducted over a 50 x 96 m wide plot which covered the entire crop alley (96 m) between two lines of trees for a length of 50 m. Within the plot, at every site 60 randomly distributed subplots sized 1 m² were sampled for their whole crop dry matter yield (DM) and leaf area index (LAI). Random forest regression (RFR) was utilized to model DM and LAI from UAV-borne multispectral normalized reflectance, vegetation indices (VIs) and texture features (Grüner et al. 2020), as well as plant height (PH) derived from RGB imagery. The models were subsequently used to produce maps of the plant traits with 1 m spatial resolution. Based on the maps, point data was created for spatial analysis using linear mixed models (LMMs). Details on the study sites and methods can be found in Wengert et al. (2021).

Results and Discussion

DM and LAI could be modeled with good accuracies (R^2 0.62, $nRMSE_p$ 14.9% and R^2 0.92, $nRMSE_p$ 7.1%, respectively; see Table 1) using RFR. Analysis of the importance of variables for prediction revealed that normalized multispectral reflectance, VIs and texture features were more important than PH for DM modelling, but PH played an important role for LAI estimation.

Table 1: Model performance for DM and LAI prediction. Minimum, maximum and median values of 100 model runs with different randomly selected calibration (80%) and validation (20%) samples.

Parameter	R^2_p			$nRMSE_p$ (%)		
	Min	Max	Median	Min	Max	Median
DM	0.39	0.78	0.62	10.2	21.8	14.9
LAI	0.86	0.96	0.92	5.5	9.5	7.1

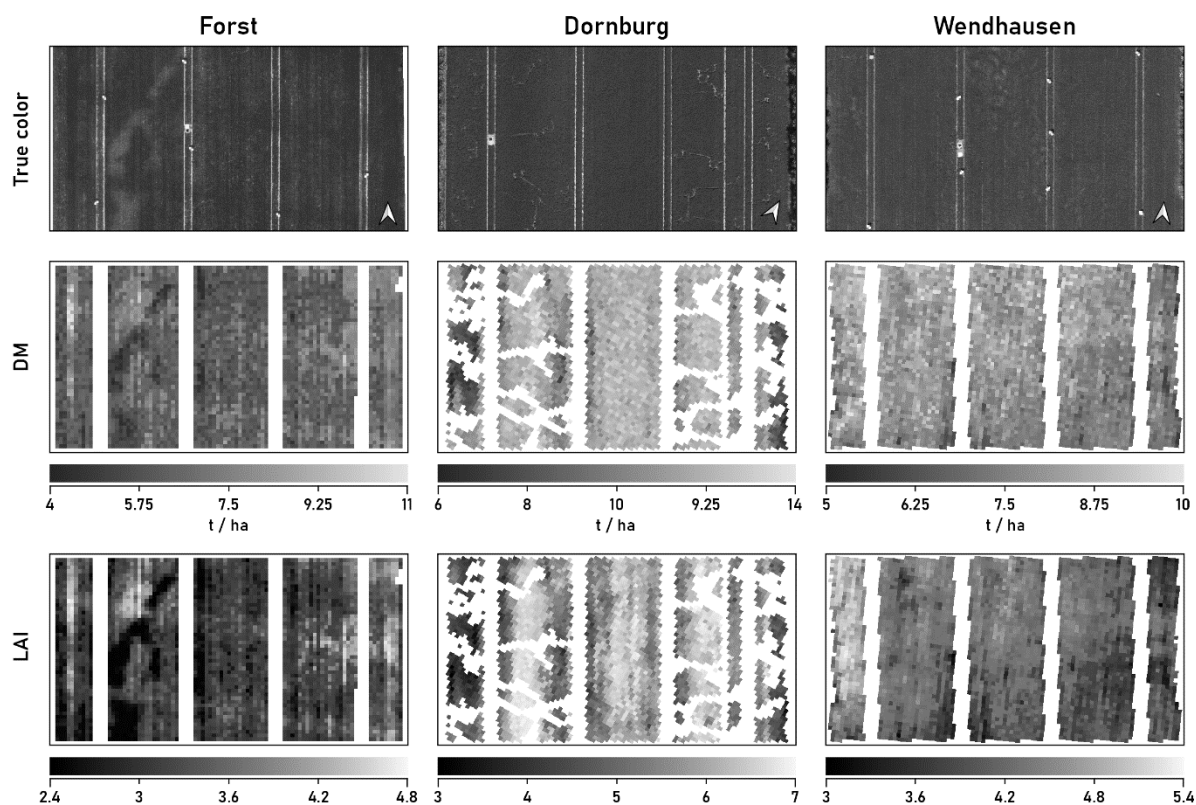


Figure 1: Predicted maps for barley DM and LAI at milk ripeness (BBCH 75) at three study sites. Greyscales differ between sites for improved visibility of spatial variability.

Spatial analysis of the maps and high-resolution point data produced from the models confirmed the significant effect of distance to trees on DM and LAI. However, no common spatial pattern could be found among the three AFS examined. The patterns found indicated that management practices and soil conditions overrode the effect of trees on DM and LAI across wide portions of the 96 m wide crop alleys, thus, questioning the expected high effect of SRC trees on spatial variability of yield-related plant parameters in intensively managed barley stands. The study could show that UAV-borne imagery is well suited tool to predict DM and LAI at good accuracies, enabling the analysis of spatial patterns in AFS at high resolution and coverage. As the method can cover entire fields, it may offer an interesting method to gain further insight into tree-crop-interactions and spatial variability of crop yield in AFS.

References

- Grüner, E., Wachendorf, M., & Astor, T. (2020). The potential of UAV-borne spectral and textural information for predicting aboveground biomass and N fixation in legume-grass mixtures. *PLOS ONE*, 15(6), e0234703. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234703>
- Wengert, M., Piepho, H.-P., Astor, T., Graß, R., Wijesingha, J., & Wachendorf, M. (2021). Assessing Spatial Variability of Barley Whole Crop Biomass Yield and Leaf Area Index in Silvoarable Agroforestry Systems Using UAV-Borne Remote Sensing. *Remote Sensing*, 13. <https://doi.org/10.3390/rs13142751>

UAV-basierte Phänotypisierung von Rapshybriden unter Einsatz von multivariater Statistik und Verfahren des maschinellen Lernens

Dennis Löwe¹, Sebastian Warnemünde², Jonathan Brassac², Andreas Stahl²
und Heike Gerighausen¹

¹Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig;

²Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, Quedlinburg;

E-Mail: dennis.loewe@julius-kuehn.de

Einleitung

Globale Veränderungen in Bezug auf Klima, Wirtschaft und eine stetig wachsende Weltbevölkerung setzen die moderne Landwirtschaft zunehmend unter Druck. Der Einsatz synthetischer Düngemittel und optimierter Ackerkulturen haben substantiell positiv dazu beigetragen diesen Herausforderungen zu begegnen. Besonders der Einsatz von Stickstoffdüngemitteln ist hervorzuheben, da Stickstoff (N) eine Schlüsselrolle in der Entwicklung von Pflanzen spielt (Tilman et al. 2002) und zu den am stärksten eingesetzten Düngekomponenten zählt (FAO, 2020). Neben der energieintensiven Herstellung und möglichen Nitrateinträgen in das Grundwasser (Di und Cameron 2002; Sebilo et al. 2013) ist besonders die Entgasung von bis zu 1% der N-Düngemenge als Lachgas (N₂O, ~300-faches CO₂-Äquivalent) aus Klimaschutzsicht besorgniserregend. In diesem Kontext ist es umso wichtiger stickstoffeffiziente Pflanzensorten zu züchten. Ziel dieses Vorhabens ist es daher mittels digitaler Phänotypisierungstechnologien die Selektion von ressourceneffizienten und klimaschonenden Rapshybridsorten zu erleichtern, um schneller und effektiver N-effiziente Sorten züchten zu können.

Material und Methoden

Als Teil des Projektes NORA wird vom Julius-Kühn-Institut (JKI) Braunschweig (BS-PB), ein N-Steigerungsversuch (fünf N-Düngestufen, 80 – 210 kg N/ha) mit vier verschiedenen Sommerraps-Genotypen durchgeführt. Ein Parallelversuch wird am JKI in Quedlinburg (QLB-RS) mit fünf Winterraps-Genotypen (fünf N-Düngestufen, 120 – 240 kg N/ha) umgesetzt. Mittels drohnenbasierter (DJI Matrice 300 bzw. 600), multispektraler Reflexionsmessung (MicaSense Dual Camera Kit, 10 Spektralkanäle, RGB - NIR) werden an den Standorten Braunschweig und Quedlinburg dichte UAV-Bilddatenzeitreihen generiert, welche von umfangreichen *in-situ* Beprobungen begleitet werden. Die Feldversuche sind vollständig dupliziert, um auf einer Teilfläche Proben während der Vegetationsperiode zu nehmen und auf der anderen Ertragsschätzung zu erhalten. Parallel dazu wird eine Kollektion von 200 Winterraps-Testhybriden an sechs verschiedenen Standorten (Hessen (1), Nordrhein-Westfalen (1),

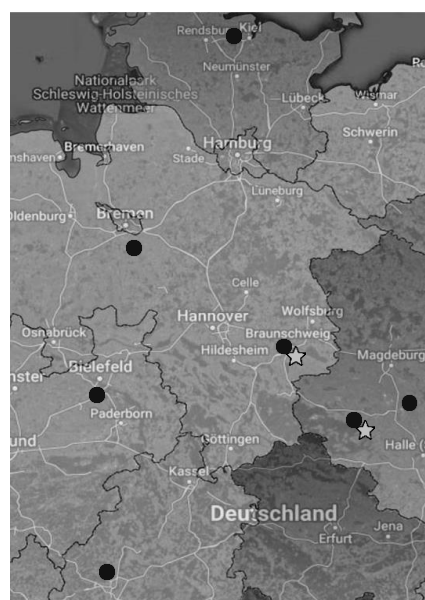


Abb. 1: Raps-Anbaustandorte des Projekts NORA im Versuchsjahr 2023. Die Feldversuche der Projektpartner sind mit Punkten, die N-Steigerungsversuche (QLB-RS und BS-PB) mit Sternen dargestellt.

Niedersachsen (1), Sachsen-Anhalt (2), Schleswig-Holstein (1)) mit zwei unterschiedlichen Düngungsstufen (Differenz der Düngestufen ~ 100 kg N/ha) angebaut. Auf Basis der Drohnenaufnahmen und *in-situ*-Referenzen sollen daraufhin mit Hilfe multivariater Statistik und Verfahren des maschinellen Lernens Modelle zur digitalen Phänotypisierung der Biomasse, N-Aufnahme und des Chlorophyllgehaltes etabliert und validiert werden. Hierbei sollen sowohl parametrische als auch nicht-parametrische Methoden angewandt und auf ihre Eignung getestet werden. Als Eingangsdaten sollen zunächst die aufgenommenen spektralen Einzelbänder, sowie ausgewählte Vegetationsindices (z.B. NDVI, NDRE, MCARI, RVI (Liu et al., 2019)) verwendet werden. Weitere Anpassungen erfolgen auf Basis der ersten Ergebnisse.

Ergebnisse und Diskussion

Erste Ergebnisse (Abb. 2) der Multispektraldatenauswertung auf Basis des NDRE (Normalized Difference Red-Edge Index) zeigen bereits eine Differenzierbarkeit der Versuchspartizellen im zeitlichen Verlauf der Vegetationsperiode und insbesondere bzgl. ihrer Düngestufen. Die Indexdaten geben erste Hinweise auf Veränderungen der Chlorophyllgehalte und stehen in Korrelation mit der Stickstoffaufnahme der Rapspflanzen. Basierend auf den ersten Erkenntnissen wird erwartet, dass die N-Steigerungsversuche eine robuste Basis für die Modellentwicklung bilden.

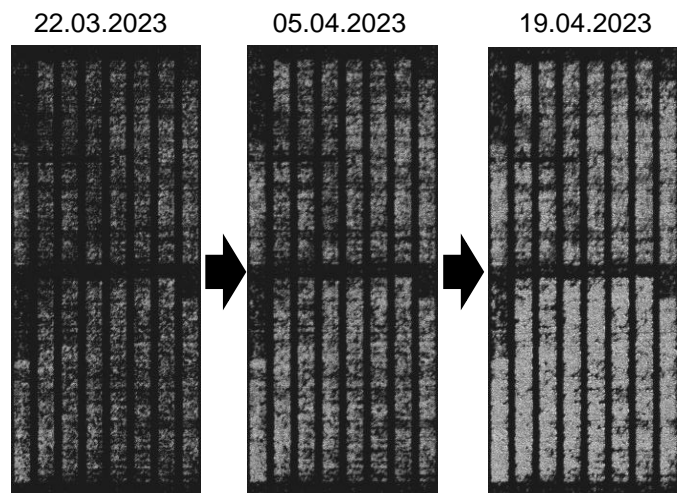


Abb. 2: NDRE Entwicklung zu drei Zeitpunkten am Standort QLB im Versuchsjahr 2023. Zwischen den oberen und unteren Partizellen besteht eine Düngedifferenz von 100 kg N/ha.

Literaturverzeichnis

- Di, H. J.; Cameron, K. C. (2002): Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 64 (3), S. 237–256. DOI: 10.1023/A:1021471531188.
- Sebilo, Mathieu; Mayer, Bernhard; Nicolardot, Bernard; Pinay, Gilles; Mariotti, André (2013): Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110 (45), S. 18185–18189. DOI: 10.1073/pnas.1305372110.
- Tilman, David; Cassman, Kenneth G.; Matson, Pamela A.; Naylor, Rosamond; Polasky, Stephen (2002): Agricultural sustainability and intensive production practices. In: *Nature* 418 (6898), S. 671–677. DOI: 10.1038/nature01014.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2020).
- Yinuo Liu, Shishi Liu, Jing Li, Xinyi Guo, Shanqin Wang, Jianwei Lu (2019), Estimating biomass of winter oilseed rape using vegetation indices and texture metrics derived from UAV multispectral images. In: *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 166, 105026, ISSN 0168-1699, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105026>.

Potential of Sentinel-1 time series for the assessment of maize and wheat phenology

Laura Flores^{1,2}, Bodo Bookhagen², Jorge Adrián Oviedo-Reyes³, Taylor Smith², Claas Nendel¹ and Gohar Ghazaryan^{1,4}

¹Leibniz Center for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg, Germany; ²Institute of Earth and Environmental Science, University Potsdam, Potsdam, Germany; Earth Science Department, University of Concepción, Concepción, Chile; Earth Observation Lab, Geography Department, Humboldt-University Berlin, Berlin, Germany. E-Mail: LauraAlejandra.Flores@zalf.de

Introduction

Monitoring crops and their phenological stages are fundamental for understanding the temporal dynamics and the crop condition during the growing season. Dense time series are necessary to derive detailed and accurate information. Remote sensing (RS) has been one of the reliable data sources for this as spatially explicit RS datasets provide information related to agricultural land cover and their dynamics over large areas (Blickensdörfer et al., 2022). However, commonly used optical data are often hindered by cloud cover, resulting in missing information. Data derived from Synthetic Aperture Radar (SAR) sensors can fill this gap by providing dense time series independent of daylight, cloud coverage, and weather conditions, an advantage compared with optical data (Moreira et al., 2013).

The objectives of this research are to establish patterns that indicate a phenological stage within the time series of backscatter data, to validate phenometric using other sources of phenological information, and to obtain regional spatially explicit information of maize and wheat phenology.

Material and Method

We analyzed the Sentinel 1 VH and VV and cross-ratio (CR, VH/VV); for the two widely grown crops, winter wheat and maize, between 2017 to 2020 in Germany. The data was accessed and preprocessed using Google Earth Engine. To derive phenometrics, Savitsky-Golay filter was applied to smooth the time series, which was followed by the extraction of local parameters (e.g. short-term maximum, slope within 2 month) as well as extremes during the overall growing season (Figure 1).

The methodology was conducted in two steps. Firstly, field level analysis and validation with in-situ data was conducted. The second step was the derivation of spatially explicit maps showing the Start, Shooting/Tassel, Maximum, and End of the Season (SOS/Shooting/Tassel/MAX/EOS) for the two crops in Brandenburg.

The Sentinel-1 based output was compared with Copernicus High-Resolution Vegetation Phenology and Productivity (HR-VPP) data which is a product based on Sentinel-2 time series, and phenological data from the German Weather Service (DWD).

Results and Discussion

The analysis showed that VH, VV backscatter and VH/VV ratio have a high potential to detect main crop growth stages. Accurate results were obtained by alternating between the VH band and the VH/VV ratio, with differences between the calculated and the observed values in the seasons going from 0 to 30 days.

The phenological development of the crops was accurately identified using temporal profile. The temporal pattern observed in VV and VH time series for SOS and EOS is clearly identified, but not for intermediate phenological stages. The results based on

VH/VV ratio were more accurate for the intermediate stages (beginning of shooting and heading) that agree with other authors (e.g., Schlund and Erasmi, 2020).

For maize the emergence stage is shows as a local minimum, especially when using VH backscatter. During the following vegetative stages especially with the beginning of growth in height, the backscatter values start to reach the maximum value, matching with the beginning of tassel visible. For the harvest stage is best represented by the maximum of the VH/VV ratio.

For the regional assessment made over Brandenburg we determined different phenological stages with high accuracy, showing reliable results within the expected range compared to other sources, compared with S2 compared with VPP.

The phenometrics obtaining in Brandenburg demonstrates the high advantages of using radar imagery such as Sentinel 1: without atmospheric disturbing and with high temporal/spatial resolution.

Our findings present an improved phenometrics based on Sentinel-1 data, exhibiting considerable potential for further advancements in crop classification and present opportunities for informing crop models. Moreover, the established phenometrics can facilitate a deeper understanding of crop development patterns reveal the potential impacts of climate change on crop phenology.

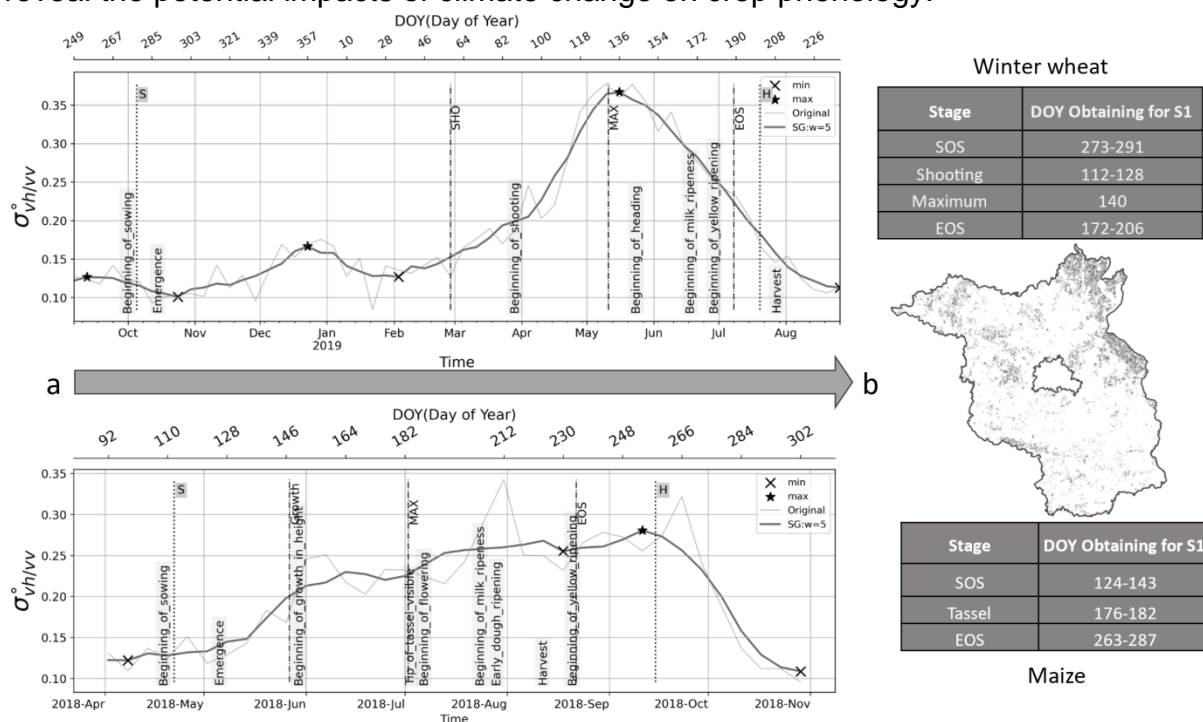


Figure 1: a) Cross-ratio (CR, VH/VV) of Sentinel 1 for one validation field for winter wheat and maize, with the information of phenological of DWD and HR-VPP used to extract local parameters (e.g. short-term maximum) and b) obtaining spatially explicit maps with the Day of the Year (DOY) for the main phenometric stages for Brandenburg between 2017-2020.

Reference

- Blickensdörfer, L., Schwieder, M., Pflugmacher, D., Nendel, C., Erasmi, S., & Hostert, P. (2022). Mapping of crop types and crop sequences with combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data for Germany. *Remote sensing of environment*, 269, 112831.
- Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I., & Papathanassiou, K. P. (2013). A tutorial on synthetic aperture radar. *IEEE Geoscience and remote sensing magazine*, 1(1), 6-43.
- Schlund, M., & Erasmi, S. (2020). Sentinel-1 time series data for monitoring the phenology of winter wheat. *Remote Sensing of Environment*, 246, 111814.

Utilizing multispectral data to help explain yield effects in pesticide-free vs. conventional and organic wheat and rye

Robin Lieb, Maya Hachicha and Til Feike

Julius Kühn Institute (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Strategies and Technology Assessment, Kleinmachnow, E-Mail: til.feike@julius-kuehn.de

Introduction

Crop phenotyping, which is the process of evaluating important plant traits over the course of the growing season, is a major bottleneck in agronomic field research today due to its high labor intensity and limited resources. Cameras mounted on unmanned aerial vehicles (UAVs) provide novel opportunities to collect data that helps describe the status of crops in an efficient way at high spatial and temporal resolution. The basic idea behind remote sensing is that sensors capture and record solar energy reflected from vegetation. The analysis of the reflection spectrum of plant tissues is relevant for classifying healthy and stressed plants. It can help to assess different diseases even when the symptoms are not yet visible to the human eye. In this study, we utilize data collected with the Micasense Altum multi-spectral camera mounted on a DJI M300 copter in the NOcsPS field experiment in Dahnsdorf, Brandenburg. The NOcsPS-project (Agriculture without chemical-synthetic plant protection products) aims to develop and test an innovative agricultural production system without chemical-synthetic plant protection but with optimized mineral fertilizer application (Zimmermann et al., 2021). This cropping system constitutes a new direction that could overcome the limitations of existing cropping systems regarding the environmental and health concerns towards conventional agriculture and low productivity of organic farming, largely due to the limitations in plant available nitrogen.

The specific objectives of this study were to utilize UAV-derived spectral data to (i) describe crop vitality in different systems over the growing season using spectral vegetation indices (VI), (ii) relate VI-data to in-situ assessments, and (iii) determine the contribution of VI-data on explaining differences in crop yields.

Materials and Methods

The experiment comprises four treatments: two NOcsPS-systems with different sowing patterns, as well as the two reference systems conventional (CONV) and ecological (ECO). CONV means chemical-synthetic plant protection (csPP) and demand-driven mineral fertilization, whereas csPP was omitted in the other three systems. Further, both NOcsPS-systems received 70% of the amount of mineral fertilizers compared to CONV due to lower yield expectations. The UAV flew at a height of 20 meters with a speed of 2.1 m/s. The side overlap ratio of the images was 70%, whereas the front overlap ratio was set at 80%. We focused in our assessments on the two winter wheats, i.e., Achim (higher resistance) and RGT Reform (higher yield), and one winter rye, Binntto, within the six-component crop rotation. The VIs we assessed are NDVI, NDRE, SAVI, OSAVI, and ExGI. VI help to describe crop vitality and respective differences between treatments over the growing season, with specific differences between different VI, e.g., NDRE, providing useful insights in crops' N-supply status, crop growth and senescence. We use mixed linear

models and the single VI at specific growth stages as covariates to assess their contribution to yield explanation, assessed via the AIC criterion.

Results and Discussion

The VI-time series help to describe the development of the three crops over the growing season very well. The NDVI time-series shows no strong differences between the CONV and the NOcsPS systems, but the ECO system shows much lower values already from early in the season. Looking at NDRE we see also substantial differences between CONV and NOcsPS towards the end of the season that depicts the lower N-availability (received only 70%) during that growth phase. The ECO system shows much lower values again, compared to the other three.

Regarding the yield explanation of different VI, we considered data obtained at three phenological stages, namely stem elongation, anthesis, and grain development. The results show that in rye, NDVI was the best index to explain grain yield at all growth stages. Whereas, in wheat, the results were heterogeneous. At an early stage, NDVI and NDRE showed better results to explain yield in both wheats, while at anthesis, OSAVI and SAVI were the best to explain yield. At grain filling, for Achim, NDVI was the best VI, whereas for RGT Reform, SAVI was the most suited to explain the respective yields. Moreover, the nitrogen effects among the different cropping systems were explained with the NDRE; the lowest NDRE was observed in ECO, followed by the NOcsPS-systems (70% N), and finally reached the maximum in CONV, where the crops received 100% of nitrogen. In the next step, we plan to apply multivariate and multiple-year approaches considering the sequence of various VI to explain seasonal crop yields.

Literatur

Zimmermann, B., I., Claß-Mahler, M., von Cossel, et al., 2021: Mineral-Ecological Cropping Systems—A New Approach to Improve Ecosystem Services by Farming without Chemical Synthetic Plant Protection. *Agronomy*. 11 (9), 171

Actual Evapotranspiration Estimation in Croplands Using Remote Sensing

Neda Abbasi¹, Hamideh Nouri², Christian Opp³ and Stefan Siebert¹

¹Department of Crop Sciences, University of Göttingen, Germany.

E-Mail: neda.abbasi@agr.uni-goettingen.de

²Department for Environment and Water, SA Government, Adelaide, Australia

³Department of Geography, Philipps-Universität Marburg, Germany

Introduction

In a changing world, arid and semi-arid countries face increasing water shortages, impacting the agricultural sector often the most (Abbasi et al., 2023). Therefore, accurate crop water consumption estimation, known as actual EvapoTranspiration (ETa), is crucial for sustainable water management, particularly in water-scarce regions. Remote Sensing (RS) methods have proven their importance in delivering reliable ETa estimates across various spatial scales (Nouri et al. 2020), especially in areas with limited or no in situ ETa data. One of the RS-based approaches to estimate ETa is the calculation of Vegetation Indices (VIs) as a substitute for crop coefficients using optical RS. Despite the development of several VI-based algorithms tailored to specific irrigation districts, there remains a dearth of comprehensive testing and evaluation of a single ET-VI method across diverse croplands. To develop and evaluate a large-scale ETa product, in this research, cloud computing (Google Earth Engine (GEE)) and Landsat imagery were employed to develop a straightforward and adaptable ET-VI-based model for different croplands.

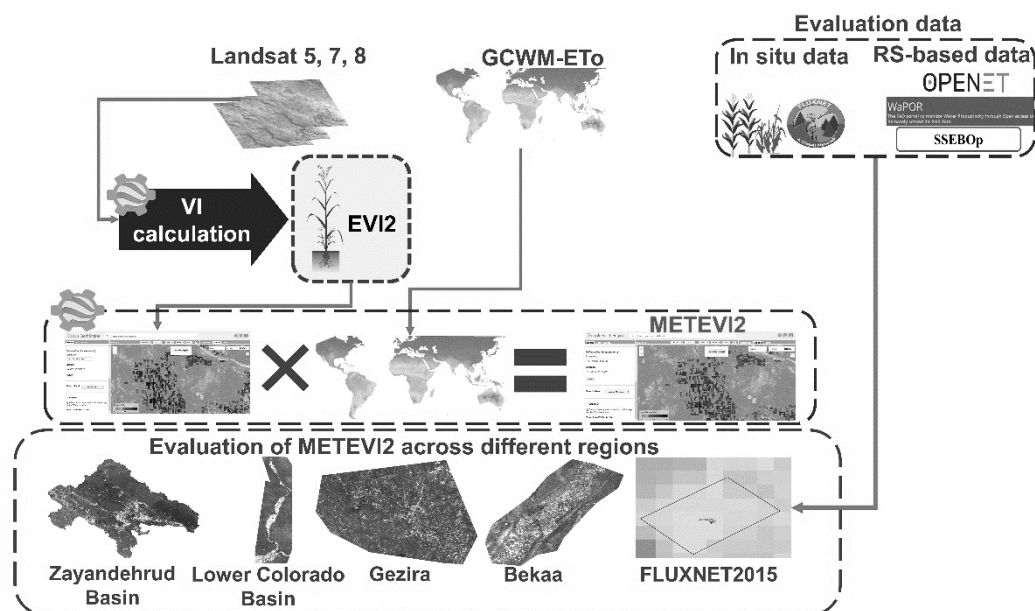


Figure 1- Workflow of this study.

Material und Methods

In this study, the ET-EVI2 model, based on a two-band Enhanced Vegetation Index (EVI2), originally developed for riparian regions (Nagler et al. 2013), was modified and adjusted (METEVI2) to create a 30-year (1990–2021) monthly ETa product with

30 m spatial resolution (Figure 1). Landsat 5, 7, and 8 and reference ET estimated by Global Crop Water Model (GCWM) were used as inputs to calculate METEVI2. The performance of METEVI2 across various croplands was evaluated by comparing it with some RS-based ETa models (OpenET: <https://openetdata.org/>, WaPOR: (FAO 2020), SSEBop (Senay et al. 2013), and in situ data (Fluxnet2015: <https://eeflux-level1.appspot.com/>).

Results and discussion

The results indicated that METEVI2 performed effectively, providing ETa estimates that aligned with other established methods and ground data. When compared to flux towers, METEVI2 estimations demonstrated moderate to high accuracy ($0.52 < R^2 < 0.92$). Senay et al. (2022) developed a CONUS-wide Landsat-based SSEBop model and assessed over croplands using 6 flux towers' observations. They reported an average monthly RMSE value of 29 mm. The performance of METEVI2 was evaluated across the same six sites and compared to the results of SSEBop. METEVI2 exhibited an average monthly RMSE value of 27.6 mm. With a field spatial resolution, METEVI2 proves to be a valuable tool for applications in agricultural water management and can be effectively used alongside ground measurements and other RS-based products. In future research, it is imperative to give priority to incorporating soil evaporation when employing ET-VIs. The main limitation of these methods lies in their insufficient ability to effectively account for soil evaporation.

Literature

Abbasi, Neda; Nouri, Hamideh; Didan, Kamel; Barreto-Muñoz, Armando; Chavoshi Borujeni, Sattar; Opp, Christian (2023): Mapping Vegetation Index-Derived Actual Evapotranspiration across Croplands Using the Google Earth Engine Platform. In *Remote Sensing* 15 (4), p. 1017. DOI: 10.3390/rs15041017.

FAO (2020): WaPOR database methodology: FAO.

Nagler, Pamela; Glenn, Edward; Nguyen, Uyen; Scott, Russell; Doody, Tanya (2013): Estimating Riparian and Agricultural Actual Evapotranspiration by Reference Evapotranspiration and MODIS Enhanced Vegetation Index. In *Remote Sensing* 5 (8), pp. 3849–3871. DOI: 10.3390/rs5083849.

Nouri, Hamideh; Nagler, Pamela; Chavoshi Borujeni, Sattar; Barreto Munez, Armando; Alaghmand, Sina; Noori, Behnaz et al. (2020): Effect of spatial resolution of satellite images on estimating the greenness and evapotranspiration of urban green spaces. In *Hydrological Processes* 34 (15), pp. 3183–3199. DOI: 10.1002/hyp.13790.

Senay, Gabriel B.; Bohms, Stefanie; Singh, Ramesh K.; Gowda, Prasanna H.; Velpuri, Naga M.; Alemu, Henok; Verdin, James P. (2013): Operational Evapotranspiration Mapping Using Remote Sensing and Weather Datasets: A New Parameterization for the SSEB Approach. In *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 49 (3), pp. 577–591. DOI: 10.1111/jawr.12057.

Senay, Gabriel B.; Friedrichs, MacKenzie; Morton, Charles; Parrish, Gabriel E.L.; Schauer, Matthew; Khand, Kul et al. (2022): Mapping actual evapotranspiration using Landsat for the conterminous United States: Google Earth Engine implementation and assessment of the SSEBop model. In *Remote Sensing of Environment* 275, p. 113011. DOI: 10.1016/j.rse.2022.113011.

Global Crop-Specific Drought Hazard Monitoring over Rainfed Areas

Neda Abbasi¹, Stefan Siebert¹, Malte Weller¹ and Ehsan Eyshi Rezaei²

¹Department of Crop Sciences, University of Göttingen, Germany,
E-Mail: neda.abbasi@agr.uni-goettingen.de

²Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Germany

Introduction

Drought events have globally impacted many sectors by reducing water availability (Herbert and Döll 2023), especially in the agricultural sector. Rainfed croplands, where crop growth depends on rainfall (Hayashi et al. 2018), are particularly vulnerable to the threats posed by droughts. Therefore, it is imperative to prioritize the development of efficient and timely drought management strategies, to mitigate its negative impacts on food security. The objective of this research is to create and test a comprehensive Crop Drought Index (CDI) that integrates drought hazard and exposure and can be applied globally to assess the impact of drought on rainfed areas with various crops. We developed and evaluated CDI for historical periods (1981-2021) to establish an operational and multisectoral global drought hazard forecasting system.

Material and Methods

The CDI was computed at a global scale with a resolution of 5 arc-minutes using the Global Crop Water Model (GCWM), ERA5-reanalysis data (Copernicus Climate Change Service 2021), and global rainfed crops areas (Portmann et al. 2010). The CDI was calculated for 26 different crops, using the relative deviation of actual evapotranspiration (ET_a) and potential evapotranspiration (ET_p) ratios for each year from the long-term average of ET_a/ET_p ratio (with a reference period from 1986 to 2015). To assess the skill of the CDI in detecting drought events, we analyzed yield anomalies for wheat and maize across multiple countries. Crops' yield data were obtained from the FAO Statistical database.

Results and discussion

The preliminary results confirmed the reliability of the CDI as a robust indicator for identifying negative yield anomalies, especially in regions susceptible to recurrent droughts. Due to a multi-year drought from 2018 to 2020 in Europe, yields of crops were considerably reduced in some countries. Wheat yield dropped by up to 17.5% in Germany, while maize had a decline of 20-40% in Germany and France (Rakovec et al. 2022). This is also evident from our CDI results in Figures 1a and 1b. CDI values equal to or higher than 0.1 show drought events. Our findings suggest that the implementation of a crop-specific drought monitoring system is necessary to enhance global drought observatory systems, as most of the currently available drought monitoring systems are not crop-specific and cannot distinguish therefore drought hazards' impacts on different crops. Moreover, the lack of sufficient data on the extent of rainfed cropland cultivation can introduce significant uncertainties in global-scale modeling experiments. Therefore, the inclusion of an updated cropland map can greatly improve the accuracy of the obtained results.

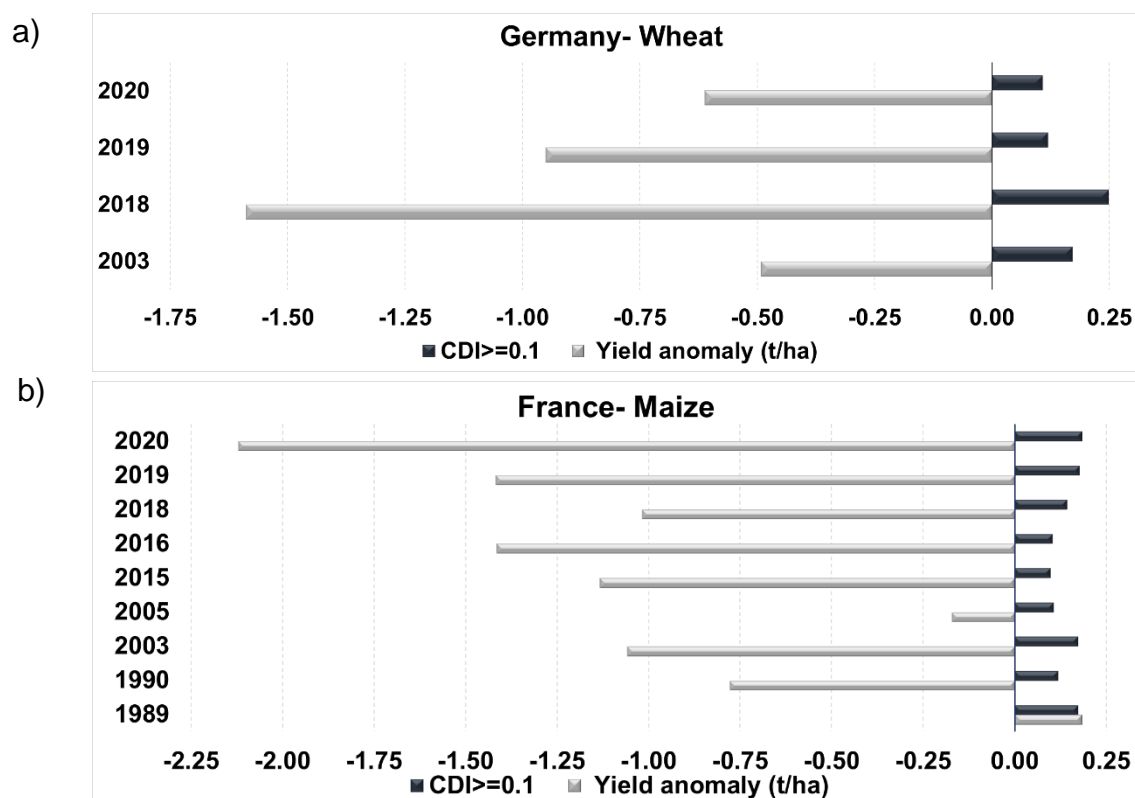


Figure 1- CDI vs. yield anomaly (t/ha) values for a) wheat in Germany and b) Maize in France. CDI values equal to or higher than 0.1 show drought events.

Literature

- Copernicus Climate Change Service (2021): (2017): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). Available online at <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>.
- Hayashi, Keiichi; Llorca, Lizzida; Rustini, Sri; Setyanto, Prihasto; Zaini, Zulkifli (2018): Reducing vulnerability of rainfed agriculture through seasonal climate predictions: A case study on the rainfed rice production in Southeast Asia. In *Agricultural Systems* 162, pp. 66–76. DOI: 10.1016/j.agry.2018.01.007.
- Herbert, Claudia; Döll, Petra (2023): Analyzing the informative value of alternative hazard indicators for monitoring drought hazard for human water supply and river ecosystems at the global scale. In *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 23 (6), pp. 2111–2131. DOI: 10.5194/nhess-23-2111-2023.
- Portmann, Felix T.; Siebert, Stefan; Döll, Petra (2010): MIRCA2000-Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. In *Global Biogeochem. Cycles* 24 (1), n/a-n/a. DOI: 10.1029/2008GB003435.
- Rakovec, Oldrich; Samaniego, Luis; Hari, Vittal; Markonis, Yannis; Moravec, Vojtěch; Thober, Stephan et al. (2022): The 2018–2020 Multi-Year Drought Sets a New Benchmark in Europe. In *Earth's Future* 10 (3). DOI: 10.1029/2021EF002394.
- World Meteorological Organization (2019): WMO Statement on the state of the global climate in 2018.

Anwendung von Deep Learning zur Detektion von Pflanzenaustrittspunkten in Saatbettbildern

Niclas Arnhold¹, Stefan Posch¹, Marissa Lorenzen², Robin Lieb², Iven Schlich² und Til Feike²

¹Institut für Informatik, Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg, Halle; ²Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Julius Kühn-Institut (JKI), Kleinmachnow. E-Mail: iven.schlich@julius-kuehn.de

Motivation

Im Rahmen der Arbeit wurden Methoden des Deep Learnings angewendet, mit welchen Pflanzenaustrittspunkte in Saatbettbildern automatisch detektiert werden können. Eine manuelle Detektion der Austrittspunkte ist zeitaufwendig, wenn eine signifikante Menge von Pflanzen annotiert werden muss. Mithilfe von Ansätzen der Bildverarbeitung und des maschinellen Lernens könnten hunderte Austrittspunkte in verschiedenen Bildern innerhalb von Sekunden detektiert werden. Somit könnten agrarwissenschaftliche Analysen durch geeignete Methoden zur automatischen Detektion der Austrittspunkte deutlich effizienter realisiert werden.

Material und Methoden

Für das Training der maschinellen Lernmethoden wurden Bilder von Weizenbeständen im BBCH Stadium 10 mit annotierten Pflanzenaustrittspunkten als Pixel-Koordinaten im Bild genutzt. Die Daten wurden in einem zwei-faktoriellen Feldversuch (Faktor 1: Sorte; Faktor 2: Aussaatvariante) am JKI-Standort Berlin-Dahlem erhoben. In verschiedenen Jahren wurden Saatbettaufnahmen mit verschiedenen Saatmustern senkrecht von oben mittels einer auf einen Fotorahmen montierten RGB-Kamera aufgenommen. Die Pflanzen wurden in Gleichstands- und Drillsaat ausgesät. Für die Gleichstands- und Drillsaat standen 135 Bilder mit insgesamt 3459 annotierten Austrittspunkten und für die Drillsaat 24 Bilder mit 1413 annotierten Austrittspunkten zur Verfügung.

Für die automatische Detektion mittels Deep Learning wurden zwei verschiedene Ansätze zur Repräsentation der Austrittspunkte angewendet, evaluiert und miteinander verglichen. Im ersten Ansatz wurden die Austrittspunkte mit Pixel-Koordinaten im Bild assoziiert. Zur Detektion der Austrittspunkte wurde eine U-Net-Architektur [RFB15] zusammen mit einer speziellen Kostenfunktion für das Training, der Kombination aus Weighted Hausdorff Distance [RGCD19] und Geometrically Weighted Cross-Entropy Loss [XPT19] verwendet. Im zweiten Ansatz werden Austrittspunkte durch umschließende Rechtecke ("Bounding Boxes") um einen annotierten Austrittspunkt repräsentiert. Dies ermöglicht es, übliche Ansätze des Deep Learnings zur Objektdetektion zu verwenden. Für diesen Repräsentationsansatz wurde YOLOv5 [Utl] angewendet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Evaluierung erfolgte auf Basis eines Toleranzradius um einen Austrittspunkt herum. Sobald ein vorhergesagter Austrittspunkt eine Distanz von maximal 30 Pixeln zu einem annotierten Austrittspunkt hat, galt der annotierte Austrittspunkt als korrekt detektiert. Für die Evaluierung der Ergebnisse wurden zufällig ausgewählte Testdatensätze verwendet. Der Testdatensatz für die Gleichstands- und Drillsaat bestand aus 13 Bildern mit insgesamt 363 annotierten Austrittspunkten. Zur Evaluierung der Experimente zur Drillsaat wurden 6 Bilder mit insgesamt 421 annotierten

Austrittspunkten verwendet. In den Experimenten zur Gleichstandsart konnten beide Ansätze vergleichbare Ergebnisse erzielen. Dabei wurden circa 89% der annotierten Austrittspunkte korrekt detektiert und circa 90% aller Vorhersagen lagen innerhalb eines Toleranzradius um einen annotierten Austrittspunkt. Mehrfache Detektionen eines annotierten Austrittspunktes traten nicht auf. Experimente zur Drillsaat wurden zum aktuellen Zeitpunkt nur mit dem ersten Ansatz durchgeführt. Hierbei wurden circa 77% der annotierten Austrittspunkte korrekt detektiert und circa 77% aller Vorhersagen waren korrekt. Mehrfache Detektionen eines annotierten Austrittspunktes traten hier vereinzelt auf. Zudem haben einige Austrittspunkte bei der Drillsaat eine Distanz von unter 30 Pixeln zueinander, sodass in einigen Fällen nur eine Detektion für mehrere annotierte Austrittspunkte vorhergesagt wurde. Häufige Fehler bei der Detektion waren die Vorhersage von Blattspitzen der Pflanzen als Austrittspunkte, nicht detektierte Austrittspunkte für sehr kleine Pflanzen und Vorhersagen in der Nähe von Austrittspunkten, welche jedoch außerhalb des Toleranzradius lagen.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Bezogen auf die Evaluierung unter Verwendung eines Toleranzradius konnten die Modelle einen Großteil der annotierten Austrittspunkte korrekt detektieren. Eine korrekte Detektion von Austrittspunkten scheint jedoch vor allem für Bilder zur Drillsaat schwierig zu sein, da einige Pflanzen nur sehr geringe Distanzen zueinander haben. Zusätzlich dazu lagen zum Zeitpunkt der Arbeit nur verhältnismäßig wenige Bilder zur Drillsaat vor. In zukünftigen Experimenten soll die Eignung der Ansätze für die Bilder zur Drillsaat weiter untersucht werden. Dafür soll ein größerer Datensatz verwendet werden. Zusammenhängend damit werden die Ergebnisse der Experimente zur Drillsaat mit den Ergebnissen der Experimente zur Gleichstandsart verglichen. Durch die Verwendung des Toleranzradius für die Evaluierung kann die Performanz der Ansätze für praktische Anwendungsfälle nur bedingt eingeschätzt werden. Beispielsweise wird der Einfluss einer mehrfachen Vorhersage eines annotierten Austrittspunktes ignoriert. Zudem ist unklar, welchen Einfluss die Distanz zwischen Vorhersage und tatsächlichem Austrittspunkt in der Praxis hat. Eine reale Eignung der Ansätze kann nur durch deren Anwendung für pflanzenbauliche Einsatzzwecke bestimmt werden. Dafür werden zukünftig Analysen mit den Vorhersagen der trainierten Modelle durchgeführt und die Ergebnisse mit den Ergebnissen der Analysen mithilfe von manuell annotierten Austrittspunkten verglichen.

Literatur

- [RFB15] Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, and Thomas Brox. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation, 2015.
- [RGCD19] Javier Ribera, David Guera, Yuhao Chen, and Edward J Delp. Locating objects without bounding boxes. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 6479–6489, 2019.
- [Ult] Ultralytics. Webseite: <https://github.com/ultralytics/yolov5>. zuletzt eingesehen: 12. Mai 2023.
- [XPT19] Weijian Xu, Gaurav Parmar, and Zhuowen Tu. Geometry-aware end-to-end skeleton detection. In *BMVC*, volume 2, page 7, 2019.

Detektion von Mehltau (*Erysiphe beate*) bei Runkelrüben (*Beta vulgaris* spp. *Vulgaris* var. *crassa*) mittels multispektraler Drohnendaten

Janis Bald¹, Robert Rettig², David Richard¹, Christabel Anshah², Thomas Jarmer²
und Dieter Trautz¹

¹Hochschule Osnabrück University of Applied Sciences Faculty of Agricultural Sciences and Landscape Architecture, 49090 Osnabrück; ²Universität Osnabrück, Institute of Computer Science, Remote Sensing Group, 49090 Osnabrück. E-Mail: janis.bald@hs-osnabrueck.de

Einleitung

Echter Mehltau ist eine weit verbreitete Pflanzenkrankheit, welche an diversen Kulturpflanzen auftritt. Die Art *Erysiphe beate* befällt Zucker- und Runkelrüben. Durch das Myzel, welches auf der Blattoberfläche wächst, entsteht der für Mehltau charakteristische weiße Belag auf den Blättern. Dieses Myzelwachstum beeinflusst die spektrale Signatur der Blätter. Bei befallenen Blättern ist die Reflektion in allen Wellenlängen höher als bei gesunden Blättern (Mahlein et al. 2012). Drohnen bieten den Vorteil, dass sie kostengünstig und mit einer hohen Auflösung große Flächen abbilden können. Aus den räumlich hochaufgelösten Bilddaten können beispielsweise mit Ansätzen der KI oder des Maschinellen Lernens Pflanzenkrankheiten im Bestand detektiert und räumlich ausgewiesen werden. Beispielsweise entwickelten Abdulridha et al. (2020) einen KI Ansatz zur Erkennung von Mehltau in Kürbis aus Drohnendaten mit einer Genauigkeit von 96 %. Das Ziel dieser Arbeit war, Runkelrüben im Feld zu detektieren und auszuweisen, die von echtem Mehltau befallen waren.

Material und Methoden

Auf einem Kooperationsbetrieb in Belm wurden ab Mitte April 2022 Runkelrüben (Sorte Feldherr) angebaut. Anfang August trat der Mehltau dort auf natürliche Weise bei den Runkelrüben auf. Daraufhin erfolgte an mehreren Terminen die Datenaufnahme mittels Drohne, welche mit einem multispektralen Kamerasystem (Blau, Grün, Rot, Red Edge, Nahes Infrarot, Thermal) ausgestattet war. Zeitgleich zu diesen Befliegungen wurden im Feld gesunde und befallene Pflanzen per RTK-GPS markiert. So konnten die Pflanzen in den erstellten georeferenzierten Orthophotos genau verortet werden. Die generierten Orthophotos hatten eine Bodenauflösung von etwa 4,3 mm pro Pixel. In QGIS wurden dann Shapes um die Blätter der Rüben gezogen und gelabelt. So wurde sichergestellt, dass nur Pixel genutzt wurden, die für die Mehлтаudetektion von Relevanz waren. Die einzelnen Pixel innerhalb dieser Shapes wurden, mitsamt ihren sechs spektralen Informationen, extrahiert und klassifiziert. Zusätzlich zu den sechs Farbkanälen wurden noch die Vegetationsindizes NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) und ExG (Excess Green Index) berechnet und in den Datensatz integriert. Der resultierende Datensatz wurde dann im Verhältnis 70:30 in einen Trainings- und Testdatensatz geteilt, mit denen ein Random Forest Model trainiert und getestet wurde. Bei der Vorhersage des Modells auf neuen unabhängigen Drohnendaten ist ein NDVI Grenzwert von 0,5 zum Eliminieren der Bodenpixel (NDVI-Werte kleiner 0,5 entspricht Boden) sowie ein Focal Modal Filter angewandt worden.

Ergebnisse und Diskussion

Bei dem Vergleich zwischen befallenen und gesunden Pflanzen zeigen die befallenen Pflanzen eine signifikant geringere Blatttemperatur. Gesunde Pflanzen hatten eine signifikant höhere Reflektion im Red Edge und Nahen Infrarot. Die Random Forest Klassifikation lieferte validiert eine Gesamtgenauigkeit von 78 %. In Tabelle 1 sind Vorhersage und Referenz gegenübergestellt. Eine Analyse der Variablen ergab, dass der Thermalkanal die größte Auswirkung für die Klassifizierung hat.

Tab. 1: Konfusionsmatrix der Ergebnisse des Random Forest-Modells

Vorhersage	Referenz	
	gesund	befallen
gesund	38,5 % (1386)	10,1 % (364)
befallen	11,9 % (430)	39,4 % (1420)

In Abb. 1 ist die Vorhersage von Mehltau auf einen neuen unabhängigen Drohnendatensatz dargestellt. Bei der Modellübertragung zeigt sich der Modal Filter als hilfreich, um die Streuung durch isolierte falsch klassifizierte Pixel zu verringern. Außerdem war erkennbar, dass der Blattansatz oft als befallen detektiert wurde. Dies ist auf die Beschattung und die damit einhergehende geringere Temperatur zurückzuführen.

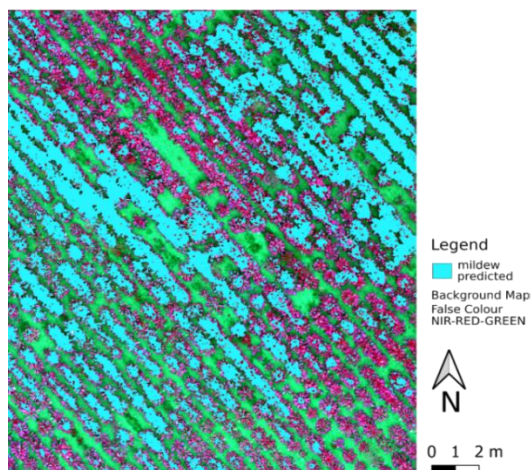


Abb. 1: Vorhersage von Mehltau aus UAV Daten (blau markierten Bereiche sind die mit Mehltaubefallene Pflanze, gesunde Pflanzen sind in rot dargestellt)

Die Klassifikation von multispektralen Drohnendaten mit einem Random Forest ermöglichte eine erfolgreiche Detektion von Mehltau (*Erysiphe beate*) in Runkelrüben. Die erreichten Genauigkeiten konnten durch die Integration von Thermalinformationen und VIs erheblich verbessert werden.

Diese Arbeit ist ein Teil des „Agri Gaia“ Projektes gefördert vom BMWK unter dem Förderkennzeichen: 01MK21004G.

Literatur

- ABDULRIDHA, J., AMPATZIDIS, Y., ROBERTS, P., KAKARLA, C. (2020): Detecting powdery mildew disease in squash at different stages using UAV-based hyperspectral imaging and artificial intelligence 2 3. o. O.:
- MAHLEIN, A. K., RUMPF, T., WELKE, P., DEHNE, H. W., PLÜMER, L., STEINER, U., OERKE, E. C. (2012): Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. Remote Sens. Environ. 12821–30.

Das neue Bild vom Schlag – Einsatz von unbemannten Flugsystemen (Drohnen) im Feldversuchswesen

Christian Bauer, Markus Strathmann, Martin Weis und Kurt Möller

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe;
E-Mail: *christian.bauer@ltz.bwl.de*

Einleitung

Die Verbreitung unbemannter Flugsysteme (engl. UAS), umgangssprachlich als Drohnen bezeichnet, nimmt in der Landwirtschaft stetig zu. Die hochintegrierten Systeme ermöglichen es Landwirten, mithilfe moderner Kameras, die das Licht in verschiedenen Wellenlängen aufzeichnen können, innerhalb weniger Minuten große Flächen zu überfliegen und umfangreiche Datenmengen zu erfassen. Allerdings stellen die Verarbeitung und Interpretation dieser UAS-Daten eine Herausforderung dar, da sie spezifisches Fachwissen aus den Bereichen Fernerkundung, Geodatenmanagement und Informatik erfordern. Darüber hinaus werden die Regularien für Befliegungen zunehmend komplexer.

Das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) hat es sich zum Ziel gesetzt, den Einsatz von UAS im Feldversuchswesen zu erforschen und tiefgreifendes Knowhow für diese Technologie zu generieren. Dazu gehörten die Planung zur Durchführung von Befliegungen, das Testen unterschiedlicher UAS und Kamerasysteme sowie die Entwicklung und Evaluierung von Datenprodukten und Anwendungen für den landwirtschaftlichen Einsatz.

Material und Methoden

Im Fokus stehen zum einen die Entwicklung verschiedener Datenprodukte für die praktische Anwendung, z. B. Applikationskarten zur Düngung, Messungen des Grünwertes, des Bodendeckungsgrades und der Bestandeshöhe sowie die Ausdehnung von Lagern. Die Berechnung dieser Datenprodukte erfolgte mithilfe unterschiedlicher Softwaresysteme, die sowohl simple als auch komplexe Parametrisierungen ermöglichen und deren Qualität und Eignung für die Praxis getestet wurden. Die am Markt verfügbaren Softwarelösungen zur Bild- und Geodatenverarbeitung, sind nicht direkt auf den landwirtschaftlichen Bedarf abgestimmt, weshalb spezifische Workflows erarbeitet werden müssen, um die gewünschten Informationen abzuleiten.

Je nach Verarbeitungstiefe wurden Softwaresysteme getestet, die Berechnungen entweder in der Cloud oder auf eigener Hardware ermöglichen, welche dafür über leistungsfähige Mehrkernprozessoren und CUDA-Grafikkarten verfügen sollte, um parallelisierte Berechnungen durchzuführen. Eine detaillierte Parametrisierung bei der Verarbeitung wurde entwickelt, um spektral und geometrisch korrigierte Produkte für den jeweiligen Anwendungsfall zu erstellen. Zusätzlich zu den bereits entwickelten Datenprodukten wurden ein Vergleich der Messung von Pflanzenhöhe aus LiDAR und bildbasierten Oberflächenmodellen durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Am LTZ wurde für die Verarbeitung eine Prozesskette entwickelt, die alle Schritte von der Flugvorbereitung bis zur Erstellung der Ergebnisse abbildet und zum Teil automatisiert Berechnungen durchführt. Diese beinhaltet auch die Zwischenschritte

für die Ableitung von Datenprodukten, wie beispielsweise Vegetationsindizes oder Analysen in Geographischen Informationssystemen und Überführung der Ergebnisse in die PIAF-Datenbank, in der die Daten der Feldversuche gespeichert werden. Die Verarbeitungskette von den UAS-Daten bis zu den einzelnen Produkten kann mit frei verfügbarer Software in verschiedenen Automatisierungsgraden umgesetzt werden; mit graphischer Oberfläche für einzelne Analysen und Entwicklungen oder per Kommandozeile und Skripten für eine Stapelverarbeitung. Einmal definierte und implementierte Algorithmen können dann auf weitere Bilddaten angewendet werden. Der Bedeckungsgrad wird klassischer Weise durch zeitintensive Zählung oder prozentuale Abschätzung ermittelt. Die Ableitung aus UAS-Orthomosaiken wurde aus Vegetationsindizes berechnet, um anhand der spezifischen Reflexion des Chlorophyllgehalts in den Blättern den Boden von Vegetation zu trennen. Aus diesen Zwischenprodukten sind Klassifizierungen und Masken zum Ausschneiden der Pflanzenanteile erstellt worden, die über die Berechnung von zonalen Statistiken mit den Geometrien von Versuchspartzen die anteilig bewachsene Fläche in jeder Parzelle bestimmbar machen. Der damit ermittelte Bedeckungsgrad bietet neben dem zeitlichen Vorteil auch eine Unabhängigkeit vom Einfluss des subjektiven Beobachters, was die Vergleichbarkeit von Flächen oder Boniturzeitpunkten erhöht. Die Bestandeshöhe wird anhand der Höhenmodelle aus den Befliegungen berechnet. Diese sind sowohl für bildbasierte digitale Oberflächenmodelle und LiDAR Punktwolken durchgeführt worden. Dabei wurde offenkundig, dass die LiDAR Punktwolken zu einer höheren räumlichen Genauigkeit führen und die Fehler der Mosaikierung minimieren. Der Aufwand ist dabei allerdings höher und hochgenaues GPS wie auch proprietäre Software und LiDAR Sensorsystem sind unabdingbar. Bei beiden Verfahren kam es zu Abweichungen der Flughöhe, die besonders bei wiederkehrenden Befliegungen problematisch werden kann, weil die Höhenreferenzierung barometrisch stattfindet. Zudem sind hügelige Lagen eine Herausforderung, da die Drohne dem Gelände folgen muss und Höhenberechnungen von dieser immer ellipsoidisch geschehen. Aus den Orthomosaiken werden Vegetationsindizes abgeleitet, die für jeden Pixel ein Verhältnis von einzelnen Wellenlängenkanälen zueinander abbilden und können so z. B. Aufschluss über die Photosyntheseaktivität anhand der unterschiedlichen Reflexion von rotem und nahinfrarotem Licht geben. In der Verarbeitungskette werden alle benötigten Vegetationsindizes nach der Orthomosaikerstellung automatisch mit der Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) berechnet. Eine Automatisierung der Arbeitsschritte zur Auswertung bietet das Potenzial einer höheren Berechnungsleistung und Auslastung von Systemen bei aufwändigen Berechnungen. Repetitive, manuelle Arbeitsschritte werden von Routineaufgaben abgelöst, was zu Vereinheitlichungen in der Produktkette führt. Ein wesentlicher Punkt ist die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen und der schnelle Zugriff auf alle Produkte in einer Produktionskette. Diese Datenprodukte können mittelfristig das landwirtschaftliche Feldversuchswesen mit präziseren Informationen unterstützen und einen Beitrag leisten, dass Ressourcen effizienter eingesetzt werden können. Insbesondere die Automatisierung der Auswertungsprozesse ermöglicht eine effiziente Nutzung der UAS-Technologie, minimiert menschliche Fehler, beschleunigt die Datenverfügbarkeit und die Daten können in unterschiedlichen Informationstools weiterverwendet werden.

Stomatal conductance and transpiration prediction through remote measurements

Simon Schmitz, Andreas Fricke und Hartmut Stützel

Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover, Hannover;
E-Mail: schmitz@gem.uni-hannover.de

Introduction

In our research of short-term stress on eggplant we encountered a problem with measuring stomatal conductance. This measurement is commonly done using porometers, which have to be applied directly to the leaf. This stresses the plant, changes the environmental conditions around the leaf and prevents tracking of morphological stress responses. We therefore required a remote approach to track and measure stomatal conductance.

Stomatal conductance is one of the most important parameters in plant growth. This is due to the stomates' dual role in transpiration and gas exchange. The accurate modelling of stomatal conductance has been of high interest for a long time with many approaches to create a leaf level model (Damour et al., 2010). To maintain high assimilation rates, the stomata need to be kept open, allowing high uptake of CO₂ from the atmosphere. At the same time open stomata also allow the evaporation of internal water into the atmosphere. This leads to water loss, reducing the water use efficiency (WUE). Plants are therefore in a dilemma of opposing priorities, needing to either focus on maintaining high assimilation or high WUE (Raschke, 1976). Under constant environmental conditions, transpiration and CO₂ uptake reach an equilibrium, resulting in stable light interception, stomatal conductance, leaf temperatures, and assimilation rates. Under higher temperatures, stomatal conductance rises to maintain leaf cooling, accepting a lower WUE (Urban et al., 2017).

So far, however, the accurate measurement of stomatal conductance relies on systems that stress the plant. Ventilated porometers introduce not only pressure on to the leaf but also dry air, while also changing the microclimate and light interception, thus changing the equilibrium. Steady state porometers are affected as well, as these changes the boundary layer resistance. This can make porometer measurements unreliable when considering the real stomatal conductance, as has been shown by comparing different porometers and infrared gas analyzers with each other (Idso et al., 1988; Toro et al., 2019)

To prevent such stresses and influences on the plant we present a new approach of real time stomatal conductance and transpiration estimation by using energy balance models in combination with 3D plant models to calculate the energy balance of each individual leaf (Campbell, 2020; Leinonen et al., 2006).

This approach is entirely remote and as such prevents any stress and influence on the plant.

Material and Methods

We used a 3D model generation program (Agisoft Metashape, Agisoft LLC, St. Petersburg, Russia) in order to generate 3D models of our experimental plants. The pictures required for this were taken both by hand and by an automated stereo camera system (Sony Alpha 6000, Sony, Tokyo, Japan) depending on the expected leaf movement. By using these generated 3D models, we calculated the leaf area,

leaf orientation and therefore the intercepted radiation intensity and their relative position to the airflow.

In combination with leaf temperature measurements by a thermal camera, light intensity measurements at varying angles in the climate chamber, air temperature and wind speed, relative humidity and air pressure we calculated the individual leaf energy balance.

For this we used two already established models (Campbell, 2020; Leinonen et al., 2006), one describing the relationship between leaf energy balance and stomatal conductance, the other calculating the effect of stomatal conductance on transpiration. We used these two models in combination to create a new approach.

Since real stomatal conductance cannot be measured directly due to the already described problems, we choose a different evaluation approach. Our experimental plants were grown in a hydroponic system, which we could place on a fine scale to detect the water loss per minute. By preventing evaporation from the system, we could measure total transpiration for the individual plant. This gave us the total transpiration for the plant. From our 3D model we also got the estimated transpiration for each individual leaf. The sum of these individual leaf estimations is the total plant transpiration estimation. By comparing the estimated total transpiration of our model with the real measured transpiration from the weighted hydroponic pots we can stipulate that the values are accurate if the measured and modelled transpiration match.

We used eggplant plants (*Solanum melongena* L.) grown under climate chamber conditions of 27°C air temperature and 60% relative humidity. We tracked water loss, leaf temperature, leaf orientation and stomatal conductance of the plants during the equilibrium stage and after the application of a short term salt stress.

Results and Discussion

We can track the leaf angle by measuring them in the generated 3D models, leaf temperature and stomatal conductance changes in response to a short term salt stress and the following adaptation of the plant. Estimated transpiration closely matches the measured transpiration.

The poster shows first results.

Literature

- Campbell, C. (2020). How to measure leaf transpiration, *Environmental Biophysics*, Metergroup <https://publications.metergroup.com/Sales%20and%20Support/METER%20Environment/Website%20Articles/how-to-measure-leaf-transpiration.pdf>
- Damour, G., Simonneau, T., Cochard, H., Urban, L. (2010). An overview of models of stomatal conductance at the leaf level. *Plant, Cell & Environment*, 33(9), 1419-1438. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02181.x>
- Idso, S. B., Allen, S. G., Choudhury, B. J. (1988). Problems with porometry: measuring stomatal conductances of potentially transpiring plants. *Agricultural and Forest Meteorology*, 43(1), 49-58. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(88\)90005-6](https://doi.org/10.1016/0168-1923(88)90005-6)
- Leinonen, I., Grant, O. M., Tagliavia, C. P. P., Chaves, M. M., Jones, H. G. (2006). Estimating stomatal conductance with thermal imagery. *Plant, Cell & Environment*, 29(8), 1508-1518. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01528.x>
- Raschke, K. (1976). How stomata resolve the dilemma of opposing priorities. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences*, 273(927), 551-560. <https://doi.org/10.1098/rstb.1976.0031>
- Toro, G., Flexas, J., Escalona, J. M. (2019). Contrasting leaf porometer and infra-red gas analyser methodologies: an old paradigm about the stomatal conductance measurement. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 31, 483-492. <https://doi.org/10.1007/s40626-019-00161-x>

Advancements in Crop Phenology Assessment with Multiscale Remote Sensing Data

Magdalena Main-Knorn¹, Claas Nendel^{1,2,3}, and Gohar Ghazaryan^{1,4}

¹Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg;

E-Mail: magdalena.main-knorn@zalf.de

²Institute of Biochemistry and Biology, University of Potsdam, Potsdam

³Integrative Research Institute on Transformations of Human-Environment Systems (IRI THESys), Humboldt-University Berlin, Berlin

⁴Earth Observation Lab, Geography Department, Humboldt-University Berlin, Berlin

Introduction

Crop phenology is of utmost importance in agricultural management, resource allocation, and climate change adaptation. Land Surface Phenology (LSP), defined as the seasonal variation of vegetated land surfaces observed via remote sensing (RS), provides insights into crop management practices, and is related to development stages of crops from sowing to harvest. Rapid advancements in remote sensing and the availability of different satellite data with improved temporal and spatial resolution have revolutionized assessment of LSP metrics, and in turn enhanced monitoring of crop development, management practices, and crop yield estimation (Meroni et al., 2021). Phenological development, timing and magnitude are frequently derived from vegetation indices (VIs), representing the seasonal dynamics of vegetation at the pixel level (Jonsson & Eklundh, 2002). However, the quality of LSP metrics derived from optical data depends on the number of snow- and cloud-free images during growing season and temporal consistency. With high temporal and spatial resolution of Sentinel-2 (S2) and PlanetScope (PS) imagery, dense time-series of VIs are available and can provide accurate retrieval of LSP metrics (Gao & Zhang, 2021).

Materials und Methods

This study focuses on the use of optical data from different sensors for the assessment of start, end and peak of the growing season based on PS (3m) and S2 (10m) data. The assessment was carried out for maize, winter wheat, barley, sugar beet, sunflower across Germany. Several VIs (e.g., Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Phenology Index (NDPI), Normalized Difference Red Edge (NDRE), Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (MSAVI), and Plant Phenology Index (PPI)) and methods, such as threshold- and derivative-based estimation were tested to derive the LSP. Ground phenological observations from German Weather Service (DWD) and reference information collected from several fields for the years 2020-2022 were used for the assessment of the results.

Results and Discussion

Generally, the findings indicate a strong temporal correlation between vegetation index time series obtained from both sources and significant level of agreement between the LSP metrics at a field level for the majority of crops. The exemplified figures for maize (Fig. 1a) and winter wheat (Fig. 1b) temporal profiles of VIs in 2020 revealed good agreement between such phenological stages as e.g. beginning of stem elongation, heading and ripening for maize and emergence, ripening for winter wheat, as well as harvest for both. While all four VI time-series indicate similar

temporal patterns over growing season, NDPI is less sensitive to background noise like snow cover in the winter months, and MSAVI is more stable to the soil background effects. Nevertheless, both examples visualize two critical points in accurate LSP retrieval, on the one hand reduced number of available cloud-free imagery within phenological stage of growing, heading and ripening causes uncertainty in the retrieval. On the other hand low number temporally and spatially representative reference data for 2020 hampers interpretation of remote sensing phenology.

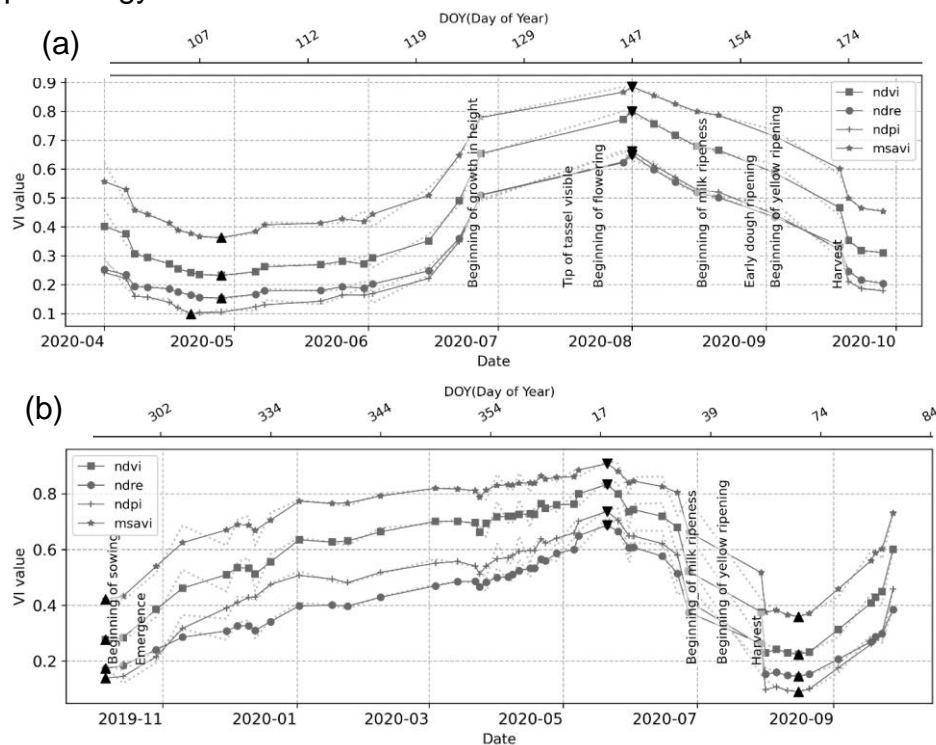


Fig 1. VIs time series from 2020 for maize (a) and winter wheat (b) in Brandenburg, Germany, with related dates of phenological crop phases based of DWD reference.

Furthermore, utilizing fine-scale land surface phenology derived from PS data allows for the characterization of crop phenology variations at a sub-field level across multiple sites and years, minimizing uncertainties related to mixed pixels. The sub-field variation in LSP metrics is suitable to indicate differences within-field conditions (e.g. soil properties, water stress) and can be an important tool in precision agriculture for an effective use of resources such as water and nutrients. Summarizing, the utilization of RS time series enables comprehensive analysis, significantly broadening the scope of crop phenological monitoring beyond conventional field observations.

References

- Gao, F., & Zhang, X. (2021). Mapping Crop Phenology in Near Real-Time Using Satellite Remote Sensing: Challenges and Opportunities. *Journal of Remote Sensing*, 2021. <https://doi.org/doi:10.34133/2021/8379391>
- Jonsson, P., & Eklundh, L. (2002). Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(8), 1824-1832. <https://doi.org/10.1109/Tgrs.2002.802519>
- Meroni, M., d'Andrimont, R., Vrieling, A., Fasbender, D., Lemoine, G., Rembold, F., Seguíni, L., & Verhegghen, A. (2021). Comparing land surface phenology of major European crops as derived from SAR and multispectral data of Sentinel-1 and-2. *Remote Sensing of Environment*, 253. <https://doi.org/ARTN 11223210.1016/j.rse.2020.112232>

Sorghum phenotyping for carbon sequestration under optimum irrigation and drought stress conditions

Amna Eltigani¹, Amir Hajjarpoor², Til Feike² and Lorenz Kottmann¹

¹Julius Kuehn-Institute, Institute for Crop and Soil Science, Braunschweig; ²Julius Kuehn-Institute, Institute for Strategies and Impact Assessment, Kleinmachnow.
E-Mail: amna.eltigani@julius-kuehn.de

Introduction

Sorghum is, like maize, a C4 plant. It is particularly drought tolerant due to its photosynthetic capacity and large root system (Amelework et al. 2015). Moreover, the large and deep root system of sorghum allows it to add a significant amount of carbon to the soil. Hence, the increased cultivation of sorghum could contribute to increasing soil organic carbon stocks and therefore climate change mitigation (Gautam et al. 2020; Chadalavada et al. 2021; Kätterer et al. 2011).

In Germany, sorghum is only cultivated on a very limited share of cropland. However, its suitability and respective competitiveness with other C4 crops like maize is expected to increase under future warmer and drier climatic conditions. Also, little is known about sorghum genotypes that are suitable for German growth conditions.

To exploit the advantages of sorghum in terms of increased productivity and soil carbon input under drought, we aim at studying the potential of 10 sorghum hybrids for their biomass production and potential for carbon sequestration under drought stress in Braunschweig, Lower Saxony.

Materials and methods

Within the SORGHUM* project, in a complementary experimental set-up comprising laboratory, greenhouse, and field experiments, we screen 10 sorghum test hybrids in addition to commercial sorghum and maize cultivars used as references. Under optimum irrigation and drought stress conditions implemented in the field using a drip irrigation system, we determine the biomass production and potential for carbon sequestration. We determine the potential for carbon sequestration by surveying the aboveground (grain yield, straw yield, harvest index) and underground biomass development (root biomass, length and length density) down to a depth of 150 cm (using percussion core probing). In addition to the phenological, morphological and agronomic parameters, we carry out chemical analyses of plant tissues (C and N content).

Expected outcome

We expect that the different sorghum test hybrids will vary in terms of their potential for biomass production and soil carbon input under both optimum irrigation and drought stress. We expect to identify sorghum hybrids that are suitable for cultivation in German light soils susceptible to drought such as present in Braunschweig.

* The SORGHUM project is funded by the Federal Ministry of Food and Agriculture with funds from the 2022 immediate climate protection program

Literature

- Amelework, Beyene; Shimelis, Hussien; Tongoona, Pangirayi; Laing, Mark (2015): Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: a review. In: *African Journal of Agricultural Research* 10 (31), S. 3029–3040.
- Chadalavada, Keerthi; Kumari, B. RanjithaD; Kumar, T. Senthil (2021): Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality. In: *Planta* 253 (5), S. 113.
- Gautam, Sagar; Mishra, Umakant; Scown, Corinne D.; Zhang, Yao (2020): Sorghum biomass production in the continental United States and its potential impacts on soil organic carbon and nitrous oxide emissions. In: *GCB Bioenergy* 12 (10), S. 878–890.
- Kätterer, Thomas; Bolinder, Martin Anders; Andrén, Olof; Kirchmann, Holger; Menichetti, Lorenzo (2011): Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141 (1-2), S. 184–192.

Detecting the inter-annual variability in irrigation extent across Europe

Wanxue Zhu and Stefan Siebert

Department of Crop Sciences, University of Göttingen, Göttingen, Germany.
E-Mail: wanxue.zhu@agr.uni-goettingen.de

Introduction

Irrigation is vital for global food security and agriculture. In Europe, the prevalence of irrigation varies across regions due to environmental conditions, cropping patterns, social economy, population, and water availability¹. However, climate change poses challenges such as rising temperatures, shifting rainfall patterns, and increased frequency of extreme events, which impact water availability and agriculture². Consequently, there has been a reduction in freshwater availability, increased vulnerability in agriculture, and widened yield gaps between irrigated and rainfed agriculture, making irrigation a major concern in Europe.

The irrigated area serves as a key driver of water withdrawals³. Accurate mapping of irrigated areas is crucial for effective water management, understanding water budgets, and improving model simulations. Existing global and European datasets that document the irrigated extent have limitations in capturing dynamic trends due to limited observations and specific time periods. To address this gap, we are going to develop a database that provides annual information on the extent of irrigated cropland (AAI) for Europe/Eurasia from 1990 to 2020, at a subnational resolution (NUTS2 regions). The findings of this study will be fundamental in understanding and qualifying human impacts on the natural environment and society under climate change. It will also support future scenario forecasts and decision-making systems, particularly in improving irrigation management.

Material and Methods

The dynamic irrigation datasets were generated by developing the relationships between reported irrigated area and crop drought index (CDI) from the simulation of global water model (GCWM). Most irrigation data at NUTS levels were collected from the statistical office of the European Union (<https://ec.europa.eu/eurostat>) via every two or three-year agricultural census and farm structure surveys. The GCWM was employed to calculate the crop water use based on soil water balance considering runoff, precipitation, evapotranspiration, and irrigation⁴. The crop drought index (CDI) was used to represent the interannual variability in wet and dry conditions that crops suffered and was calculated as:

$$CDI = 1 - (AET_Y/PET_Y)/(AET_{LT}/PET_{LT}) \quad (1)$$

where AET_Y and PET_Y are actual and potential evapotranspiration of crops in a specific year, respectively; AET_{LT} and PET_{LT} are the average actual and potential evapotranspiration of crops for the time period of 1990–2020. Positive values of CDI refer to years dryer than usual.

Results and Discussion

In Figure 1, a comparative analysis was performed to assess the annual dynamic irrigated areas for five countries at the NUTS0 level, specifically Austria, Bulgaria, Denmark, Portugal, and the Netherlands, which can serve as representative examples of different European regions. The obtained MAPE values of these five

countries were 18.2%, 18.2%, 20.9%, 26.0%, and 12.5%, respectively, indicating the estimated AAI obtained through the application of the GCWM simulation is accurate. The coefficient of variations of dynamic AAI for Austria, Bulgaria, Denmark, Portugal, and the Netherlands at NUTS0 level from 1990 to 2020 were 15.0%, 94.0%, 17.0%, 15.7%, and 39.7%, respectively. The high variation of AAI in Bulgaria can be attributed to its historical irrigation background (Figure 1b). Prior to 1990, a large centrally-managed irrigation infrastructure was established. However, after the late 1980s, the economy experienced a collapse, resulting in discontinued production. Nowadays, the irrigation infrastructure is more flexible and the irrigation practice is implemented based on water demand.

Regarding a typical Mediterranean region, the irrigation practices in Portugal shows a long-term, stable decrease with small interannual variability (Figure 1d), which can be attributed to the strong influence of climate conditions on water availability. In contrast, the irrigated areas in the Netherlands, Austria, and Denmark exhibit a relatively stable long-term trend with noticeable interannual variations (Figure 1 a, c, e). In these three central and north European regions, water resources for agricultural production are generally more abundant compared to the southern Europe. As a result, their irrigation practices are more flexible and highly depending on climate variability. Besides, when analyzing AAI at the NUTS2 level, three NL units displayed similar variations in AAI. The MAPE values for NL13, NL23, and NL42 were 15.7%, 14.1%, and 12.0%, respectively, indicating that the estimated AAI is accurate and reliable.

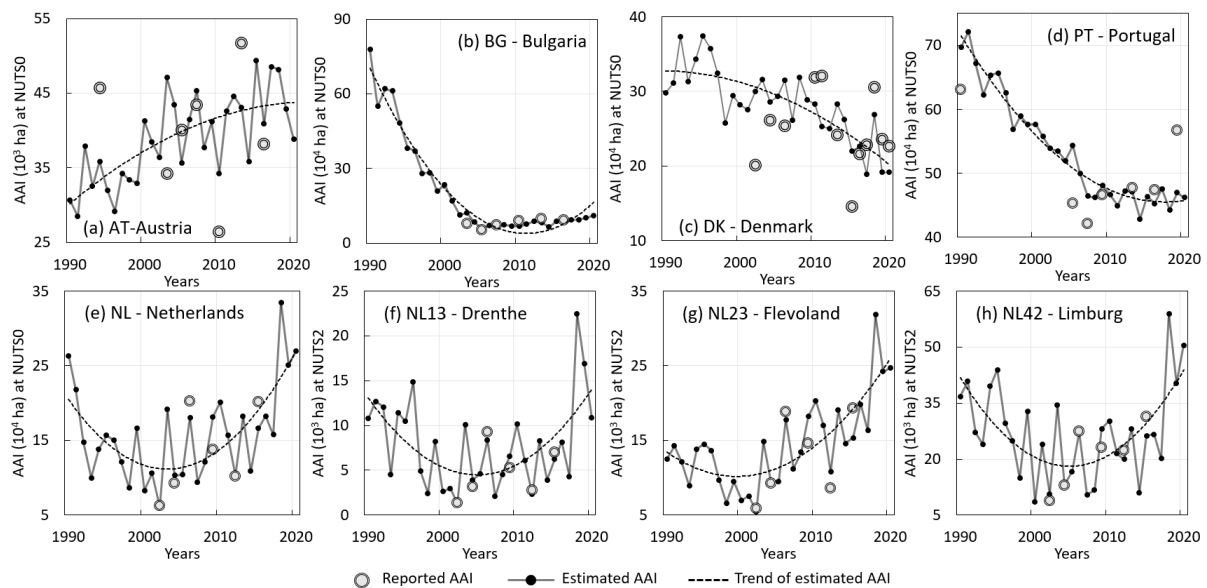


Figure 1. Comparison of reported and estimated irrigated area (AAI) for NUTS units from year 1990 to 2020.

References

1. Zhao, G. et al. The implication of irrigation in climate change impact assessment: a European-wide study. *Global Change Biology* 21, 4031–4048 (2015).
2. Tramblay, Y. et al. Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios. *Earth-Sci. Rev.* 210, 103348 (2020).
3. Puy, A., Borgonovo, E., Lo Piano, S., Levin, S. A. & Saltelli, A. Irrigated areas drive irrigation water withdrawals. *Nat Commun* 12, 4525 (2021).
4. Siebert, S. & Döll, P. The Global Crop Water Model (GCWM): Documentation and first results for irrigated crops. (2008).

Optimale Bewässerungsintensität – Schritte zu einer modellgestützten Ableitung

Dorothee Neukam und Henning Kage

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
E-Mail: neukam@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Infolge des Klimawandels (steigender Verdunstungsanspruch bei gleichzeitig stagnierenden Niederschlagsmengen) steigen die Ansprüche der Landwirtschaft an Wasserressourcen für die Feldberegnung. Diese stoßen aber regional auf Restriktionen, die sich durch das nachhaltig nutzbare Angebot an Bewässerungswasser und konkurrierende Nutzungen ergeben, so dass für das Pflanzenwachstum optimale Wassergehalte im Boden nicht durchgehend sichergestellt werden können. Daher sollte sich die mengenmäßige und zeitliche Verteilung der Bewässerungsgaben an dem zu erwartenden Ertragseffekt der Beregnung anpassen und somit ineffiziente Wassergaben hinsichtlich des erwartbaren Mehrertrags und der Produktqualität vermieden werden. Eine weitere Voraussetzung für eine optimale Beregnungsintensität stellt die Ableitung geeigneter Schwellenwerte für die Beregnung und eine hinreichend genaue Abschätzung der Bodenfeuchtedynamik während der Vegetationszeit dar.

Für die Entscheidungsunterstützung in der Beregnungssteuerung stellt die Nutzung gekoppelter Pflanzenwachstums-/ Bodenwasserhaushaltsmodelle einen vielversprechenden Ansatz dar. Voraussetzungen hierfür sind jedoch ausreichend genaue Wasseraufnahme- und Ertragsbildungsmodelle, die sowohl das Auftreten als auch die Auswirkung von Trockenstress kulturart-, standort- und witterungsspezifisch abschätzen. Ein zentraler Punkt ist hierbei die Abschätzung der aktuellen Transpiration, die die aktuelle Limitierung der potenziellen Transpiration in Abhängigkeit von Bodenfeuchte und Wurzelverteilung beschreibt.

Material und Methoden

Im vorliegenden Beitrag werden 2 Modellansätze zur Berechnung der aktuellen Transpiration verglichen, die sich darin unterscheiden, wie sie den limitierenden Einfluss der Wasserverfügbarkeit auf die Wasseraufnahme aus den einzelnen Bodenschichten beschreiben.

Ansatz 1: Die Beschreibung der Limitierung der Wasseraufnahme erfolgt durch Berechnung eines Reduktionskoeffizienten nach Feddes et al. (1978). Der Reduktionskoeffizient kann in Abhängigkeit vom Bodenwasserpotenzial Werte zwischen 0 (keine Wasseraufnahme) und 1 (konstante potenzielle Wasseraufnahme) annehmen. Unterschreitet das Bodenwasserpotenzial in einer Bodenschicht einen kulturartspezifischen Schwellenwert, dann nimmt die Wasseraufnahme in Abhängigkeit vom Bodenwasserpotential bis zum Erreichen des Permanenten Welkepunktes linear ab. Der Schwellenwert kann entweder als konstant oder mit steigendem Verdunstungsanspruch ebenfalls ansteigend angenommen werden. Die potenzielle Wasseraufnahme aus einer Bodenschicht ergibt sich aus der potentiellen Transpiration und der relativen Verteilung der Wurzellängendichten.

Ansatz 2: Die Limitierung der Wasseraufnahme innerhalb einer Bodenschicht ist nicht direkt vom Bodenwasserpotential sondern vom Wassertransport innerhalb der Rhizosphäre zur Wurzeloberfläche abhängig. Der Ansatz nach De Jong van Lier et

al. (2008) basiert auf der Differenz des Matrixfluxpotentials (MFP) an der Wurzeloberfläche und des MFP, das dem mittleren Bodenwassergehalt in der Rhizosphäre entspricht. Das MFP ergibt sich texturspezifisch aus dem Bodenwasserpotential und der ungesättigten Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Bodenwasserpotential. Aus Abb.1 ergibt sich, dass z.B. in Lössböden bei abnehmenden Wassergehalten länger hohe Matrixfluxpotentiale und damit ein besserer Wassertransport zu den Wurzeln aufrecht erhalten bleiben kann als in sandigeren Böden.

Während bei Ansatz 1 die relative Verteilung der Wurzellängendichten die Verteilung der Wasseraufnahme beeinflusst, ist die Verteilung der Wasseraufnahme bei Ansatz 2 direkt von den absoluten Werten der Wurzellängendichten abhängig.

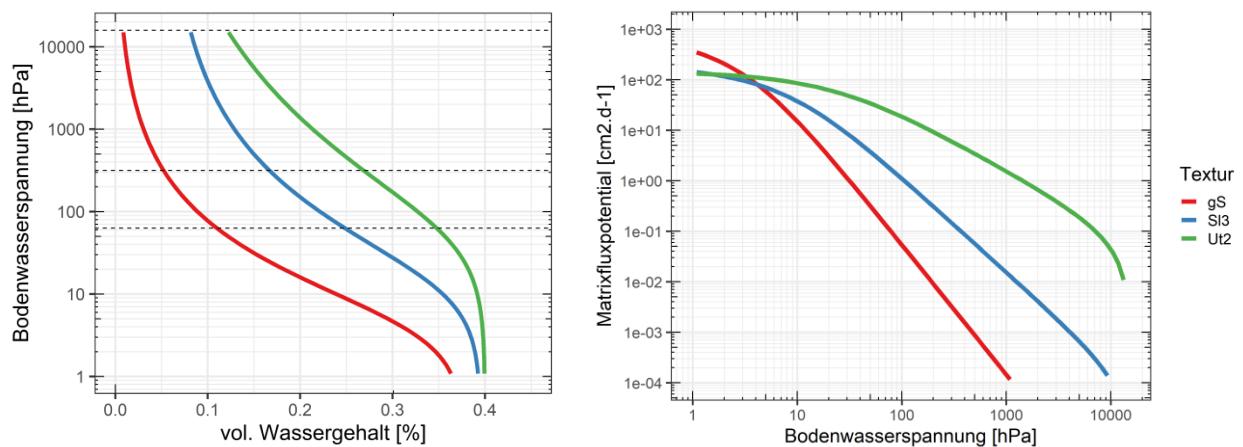


Abb.1: Wasserspannungskurven (links, in Abhängigkeit vom volumetrischen Wassergehalt) und Matrixfluxpotentialkurven (rechts, in Abhängigkeit von der Bodenwasserspannung) für die 3 Bodenarten gS, SI3 und Ut2. Gestrichelte Linien (links) zeigen von oben nach unten die Wasserspannung bei Permanentem Welkepunkt und bei Feldkapazität ($pF=2.5$ und $pF=1.8$) an.

Werte der Wasserspannung sind als absoluten Beträge der negativen Bodenwasserpotentiale angegeben.

Ergebnisse und Diskussion

Ansatz 2 wurde zusätzlich zum bereits genutzten Ansatz 1 in die Modellierungsumgebung HUME implementiert und Wassergehaltsverläufe für verschiedene Standorte und Jahre berechnet und verglichen.

Inwieweit der neue Ansatz 2 besser geeignet ist sowohl Auftreten als auch Ertragswirksamkeit von Trockenstress bei Weizen abzubilden, wird anhand von Messdaten (Bodenwassergehalte und/ oder Ertrag) aus Beregnungsversuchen evaluiert.

Literatur

De Jong van Lier, Q., J.C. van Dam, K.Metselaar, R. de Jong & W.H.M. Duijnsveld. 2008. Macroscopic Root Water Uptake Distribution Using a Matric Flux potential Approach. *Vadose Zone Journal* 7:1065–1078.

Feddes R.A., P.J. Kowalik & H. Zaradny. 1978. Simulation of field water use and crop yield. *Simulation Monograph Series*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands

Einfluss der Wassertemperatur in Deep Water Culture auf Vitalität und Ertrag von *Lactus sativa* var. *crispa*

Marcel Dieter Moll¹, Nick Paul¹, Julian Elfers¹ und Ralf Pude^{1,2}

¹INRES – Nachwachsende Rohstoffe / Universität Bonn; ²Campus Klein-Altendorf / Universität Bonn.
E-Mail: m.moll@uni-bonn.de

Einleitung

Die Wahl von geeigneten Substraten für gartenbaulich genutzte Kulturen setzt auf torffreie Alternativen zur Steinwolle, wie beispielsweise Kokosfaser oder Miscanthus (Nguyen et al., 2019). Eine weitere Möglichkeit der erdelosen Kulturführung stellt jedoch die substratfreie Deep Water Culture dar. So können anspruchsvolle Kulturen kontrolliert unter Glas angebaut werden, ohne dass die Substratwahl die Nutzung begrenzt oder negative Begleiterscheinungen, wie Pilzwachstum oder Schädlingsbefall, auftreten (Hamza et al., 2022). Da die Pflanzen frei in der Nährlösung wurzeln, muss diese ideal auf die Kultur abgestimmt sein. Neben der Nährstoffkomposition ist auch die Wassertemperatur von zentraler Bedeutung für ein gesundes Wurzelwachstum (Hooks et al., 2022).

Material und Methoden

Daher wurden in diesem Versuch an der Modellkultur Salat *Lactus sativa* var. *crispa*, zwei Sorten sowie zwei Wassertemperaturen (18 °C und 22 °C) verglichen. Dabei wurde eine grüne Sorte (COUSTEAU RZ) und eine rote Sorte (XEM RZ) kultiviert. Um die physiologische Reaktion auf die Wassertemperatur zu untersuchen, wurden verschiedene Vegetations-Indices (VIs) aus Reflexionsspektren berechnet. Hierzu wurde ein PolyPen PR 400 UV-VIS (Drásov, Tschechische Republik) genutzt und auf die berechneten VIs Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Greenness Index (G), Anthocyanin Reflectance Index (ARI1) Photochemical Reflectance Index (PRI) zurückgegriffen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Sortenwahl hatte keinen signifikanten Einfluss, wohingegen insbesondere die VIs mit Bezug zu Chlorophyll, Anthocyanen und Photosyntheseleistung signifikante Unterschiede zwischen den Wassertemperaturen aufzeigten. Unterschiede in der Blattmasse (frisch und trocken) der grünen Sorte waren nicht signifikant, wohingegen die rote Sorte signifikant geringe Werte bei der höheren Wassertemperatur erzielte. Die Wurzelmasse zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Temperaturen, außer für Wurzel-Frischmasse bei der roten Sorte, welche bei 18 °C signifikant über der 22 °C Variante lag. Die Ergebnisse veranschaulichen deutlich, dass kleinere Abweichungen in der Wassertemperatur grundsätzlich keinen ertragswirksamen Einfluss auf die Frischmasse der grünen Sorte haben. Dennoch ist hier die Sortenwahl essentiell, da die rote Sorte signifikant geringere Gewichte unter der höheren Wassertemperatur ausbildete. Aufbauend auf der wissenschaftlichen Literatur bestätigen die vorliegenden Ergebnisse, dass die Deep Water Culture eine zielführende Alternative zu Kulturführung in Erde sein kann (Majid et al., 2021).

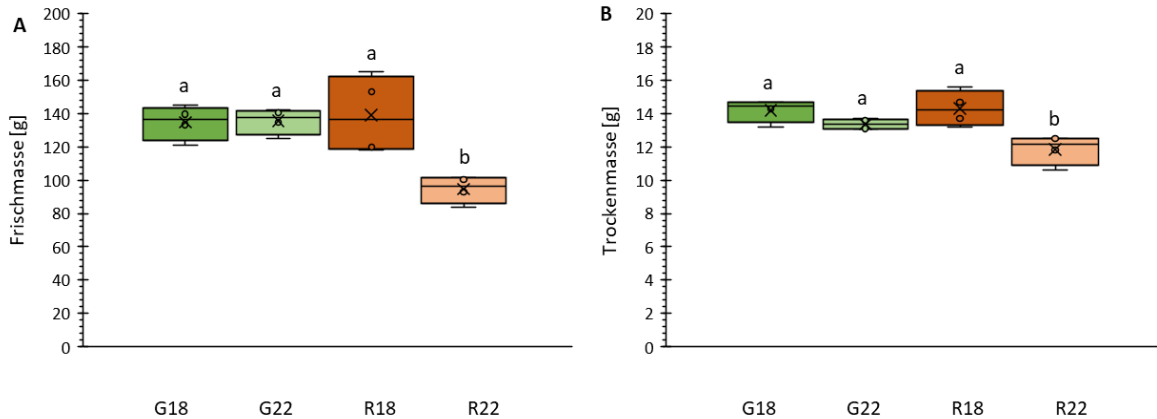


Abb. 1: Frischmasse (A) und Trockenmasse (B) in Gramm der Salatpflanzen (G: Grüne Sorte / COUSTEAU RZ; R: Rote Sorte / XEM RZ) bei verschiedenen Wassertemperaturen (18: 18 °C; 22: 22 °C). Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede nach ANOVA und Tukey-HSD ($p \leq 0,05$; $n = 4$).

Literatur

- Hamza, A., Abdelraouf, R. E., Helmy, Y. I., & El-Sawy, S. M. M. (2022). Using deep water culture as one of the important hydroponic systems for saving water, mineral fertilizers and improving the productivity of lettuce crop. *International Journal of Health Sciences*, 6(S9), 2311–2331. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS9.12932>
- Hooks, T.; Sun, L.; Kong, Y.; Masabni, J.; Niu, G. Effect of Nutrient Solution Cooling in Summer and Heating in Winter on the Performance of Baby Leafy Vegetables in Deep-Water Hydroponic Systems. *Horticulturae* 2022, 8, 749. <https://doi.org/10.3390/horticulturae808074>
- Majid, M., Khan, J. N., Shah, Q. M. A., Masoodi, K. Z., Afroza, B., & Parvaze, S. (2021). Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. Longifolia) and comparison with protected soil-based cultivation. *Agricultural Water Management*, 245, 106572.
- Nguyen, V. T. H., Elfers, J., Kühn, H., Kraska, T., & Pude, R. (2019, June). Different Miscanthus genotypes as growing media in soilless tomato cultivation and its subsequent use for combustion. In *III International Symposium on Growing Media, Composting and Substrate Analysis 1305* (pp. 301-308).

Influence of sub-surface drip fertigation on growth processes of red cabbage (*Brassica olearacea*)

Caspar-Friedrich Weßler, Martin Mungai Mburu, Zahir Shah Safari,
Ana Claudia Callau-Beyer and Hartmut Stützel

Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover, Hannover;
E-Mail: wessler@gem.uni-hannover.de

Introduction

Groundwater pollution with nitrogen by over-fertilization forces the production systems for vegetables to be more efficient in application of nitrogen and water. Sub-surface drip fertigation (SDF) is one solution to be applied in a vegetable production system to reduce nitrogen leaching. The right amount of nitrogen can be applied in the root zone as the plant needs it in the course of time. However, to estimate the nitrogen and water requirements of the plant, a growth simulation model of the plant is needed along with monitoring of atmospheric conditions.

With the help of the SDF technique, fertilizer and irrigation can be applied directly into the rhizosphere at precisely the right time according to plant requirements. As already shown by Rubiz et al. (1989), Camp et al. (1993), Geisenhoff et al. (2015) and De Oliveira et al. (2016), among others, increased yields of broccoli and cabbage can be achieved with subsurface irrigation compared to drip or overhead irrigation.

The aim of this research is to create an understanding of plant growth under unlimited and limited nitrogen growth conditions in an SDF vegetable production system. With this modelled understanding a supply of water and nitrogen just in time and space can be secured.

Material and Methods

Wieh data of two years of field experiments conducted in 2021 and 2022 in Hannover-Herrenhausen, a light-based growth model for red cabbage was parameterized. To evaluate this parameterized model datasets from the experimental years 2019, 2020 and 2022 are used.

The field trials for parametrization of the growth model took place in 2021 and 2022 on the trial site in Hannover-Herrenhausen of the Department of System Modeling Vegetable Crops of the Institute of Horticultural Production Systems of Leibniz Universität Hannover. At this site, the soil was a weak loamy sand. The experimental plant was red cabbage (Travero F1 from Bejo Samen GmbH) and was grown in peat substrate. The seedlings were planted in the experimental field when the third true leaf had appeared. The experiment was laid out in a randomized block design with two treatment levels. Each block consisted of two plots, each 2.5 m wide and 14 m long. The sub-surface drip lines were placed at a depth of 0.40 m. The treatment levels were high (328 kg N ha⁻¹ (2021), 312 kg N ha⁻¹ (2022)) and low (181 kg N ha⁻¹ (2021), 164 kg N ha⁻¹ (2022)) nitrogen application. The experimental crops were integrated into a nitrogen-intensive crop rotation to avoid a nitrogen effect due to nitrogen present in the soil.

Nitrogen was applied weekly via a sub-surface drip irrigation system and was based on the recommendations of Feller et al. (2011) for medium fast-growing red cabbage with a nitrogen requirement of 230 kg N ha⁻¹.

The growth model provides information of how much water and fertilizer the plant needs and gives a yield prediction. Additionally, the model delivers daily time series

of variables like: LAI, dry matter partitioning, water and nutrient uptake and growth limitation if there is not enough nitrogen available.

For model evaluation, data of three years of experiments with the same set-up, but different atmospheric conditions and nitrogen dosages, ranging from 162 to 312 kg N ha⁻¹ were used.

Results and Discussion

The CAB-Drip-Model has been evaluated with the data of red cabbage growing under sub surface drip fertigation in the experimental field during the years 2019, 2020 and 2022. The model was able to estimate different plant characteristics within an acceptable range. Moreover, different scenarios of fertigation strategies were carried out in these years to validate the model sensitivity.

Literature

Camp, C.R., Garrett, J.T., Sadler, E.J. and Busscher, W.J. 1993. Microirrigation management for double-cropped vegetables in a humid area. *Transactions of ASABE* 36(6): 1639-1644.

De Oliveira, F.C., Geisenhoff, L.O., Dos S. Almeida, A.C., De Lima Junior, J.A., Feller, C., Fink M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P., Scharpf, H.C., Schlaghecken, J., Strohmeyer, K., Weier, U., and Ziegler, J. (2011). Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): *Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)*, 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren.

Geisenhoff, L.O., De Oliveira, F.C., Biscaro, G.A., Dos S. Almeida, A.C., and Schwerz, F. 2015. Yield of single-head broccoli under different irrigation systems. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering* 35(5): 863-874

Lavanholi, R. 2016. Economic feasibility of irrigation systems in broccoli crop. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering* 36(3): 460-468

Rubeiz, I.G., Oebker, N.F., Stroehlein, J.L. 1989. Subsurface drip irrigation and urea phosphate fertigation for vegetables on calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition* 12(12): 1457-1465

Optimierung von Unkrautregulierung und Bodenschutz in Anbausystemen für Silomais: Unkrautwirkung

Rüdiger Graß¹, Fruzsina Schmidt¹, Peer Urbatzka², Herwart Böhm³
und Michael Wachendorf¹

¹FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen, Deutschland, E-Mail: rgrass@uni-kassel.de

²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau, Lange Point 12, 85354, Freising

³Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847, Westerau

Einleitung

Die Unkrautregulierung ist im ökologischen Maisanbau eine große Herausforderung. Aufgrund geringer Konkurrenzkraft von Mais während der Jugendentwicklung und des Anbaus mit weitem Reihenabstand (75 cm) wird meist eine intensive Bodenbearbeitung durchgeführt, mit dem Risiko verstärkter Erosion. Daher besteht Bedarf an Anbausystemen, die eine effiziente Unkrautregulierung mit ganzjährigem Erosionsschutz verbinden und zugleich den Maisertrag stabilisieren. In diesem Beitrag wird die Auswirkung von Anbausystemen mit einem präventiven Ansatz in der Fruchtfolge- und Anbaugestaltung auf den Unkrautbesatz im Mais vorgestellt.

Material und Methoden

An drei Standorten (Trenthorst-TRE, Neu-Eichenberg-NEB und Puch-PUC) wurde 2020 und 2021 der Unkrautdeckungsgrad zum Reihenschluss bei Anbausystemen für Silomais untersucht. Neben der Kontrolle mit herkömmlichem Anbau (Pflug im Herbst) wurden in Anlehnung an das Konzept von Zweikulturnutzungssystemen (ZKN) Systeme geprüft, bei denen vor Mais eine winterharte Zwischenfrucht als Erstkultur (EK) angebaut wurde: Erbse (E) und Wicke (Wi) in Reinsaat oder jeweils im Gemenge mit Triticale (WE/Tri) bzw. Roggen (Wi/Ro). Diese wurden als Ganzpflanze ca. Ende Mai/Anfang Juni in der Blüte geerntet oder mit einer Messerwalze gewalzt (W) und zerstört, so dass sich eine geschlossene Biomasseauflage ergab. Die Maissaat erfolgte in Direktsaat (DS) oder nach einer reduzierten Bodenbearbeitung (BB) nach Ernte der Gemenge-EK ab Ende Mai. Außerdem wurde der Mais als Kontrolle bei allen Varianten mit dem praxisüblichen (75 cm) und einem verringerten Reihenabstand von 50 cm angebaut (vgl. Abb. 1). Nach gewalzter EK wurde keine mechanische Unkrautregulierung durchgeführt, ansonsten je nach Bedarf gehackt.

Ergebnisse und Diskussion

In NEB konnte im Jahr 2020 bei der Kontrolle die Unkrautregulierung (UR) witterungsbedingt erst verspätet erfolgen, was zu einem erhöhten Verunkrautungsgrad führte (Abb. 1), eine Problematik, die oft im Maisanbau vorkommt. Eine Bodenbearbeitung nach EK-Ernte (Var. 4+5) bewirkte tendenziell einen geringeren Unkrautdeckungsgrad als nach Direktsaat (Var. 2+3), wobei bei allen vier Varianten eine mechanische UR erfolgte. Die „Verunkrautung“ in den gewalzten Varianten wurde häufiger durch Wiederaustrieb der gewalzten Erstkulturen, verursacht, insbesondere durch Wicke und Triticale. Dieser Austrieb wurde hier auch einbezogen und fiel in den einzelnen Parzellen unterschiedlich aus, wodurch die hohe Streuung dieser Varianten zu erklären ist. Dies verdeutlicht die Bedeutung effizienten Walzens.

Dennoch sind in NEB und PUC die Deckungsgrade dieser Varianten ähnlich hoch wie bei der Kontrolle, auch ohne UR nach dem Walzen.

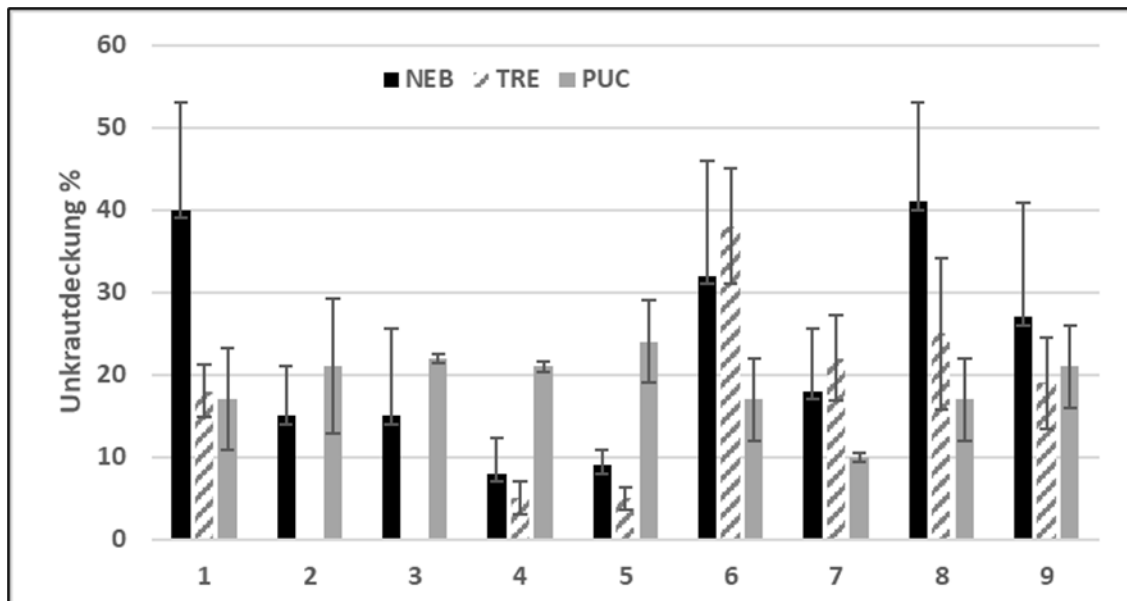


Abb. 1: Unkrautdeckungsgrad (%) in Neu-Eichenberg (NEB), Trenthorst (TRE) und Puch (PUC) bei Reihenschluss des Mais der Varianten mit 75 cm Reihenabstand, Jahr 2020. 1= Kontrolle, 2= EK WE/Tri+DS, 3=EK Wi/Ro+DS; 4=EK WE/Tri+BB, 5=EK Wi/Ro+BB; 6=WE gewalzt, 7=WE/Tri gewalzt, 8= Wi gewalzt, 9= Wi/Ro gewalzt. Varianten 1-5 mit mechanischer Unkrautregulierung.

Der Anbau winterharter EK vor Mais bietet Potenzial, präventiv die Unkrautdeckungsgrade im nachfolgenden Mais auch ohne intensive BB auf einem niedrigen Niveau zu halten und im Ökolandbau eine Reduzierung der BB bis hin zur DS durchzuführen, ohne dass es zu einer deutlich stärkeren Verunkrautung kommt. Eine ausführliche Darstellung der Thematik ist bei Schmidt et al. (2023) zu finden.

Dieses Projekt wurde durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogrammes Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft gefördert (FKZ 2815OE128, 2815OE093, 2815OE129).

Literatur

Schmidt, F., Böhm, H., Graß, R., Wachendorf, M., Piepho, H.-P., 2023: Management effects on weed control efficiency in double cropping systems. *Agronomy* 2023, 13, 467. doi.org/10.3390/agronomy13020467

Crop rotational position affects water uptake, canopy temperature and yield in wheat

Nora Honsdorf, Katharina Pronkow und Henning Kage

Institute of Crop Science and Plant Breeding, Kiel University, Kiel.
E-Mail: honsdorf@pflanzenbau.uni-kiel.de

Introduction

For decades wheat yield increase was linear, leading to improvements of wheat production and food security. Even though breeding progress for wheat yield is still linear, in many countries yield increase ceased (Brisson et al., 2010). This leads to the hypothesis that an increasing portion of second wheat in crop rotations may be an important factor in the decline of average wheat yields. Wheat following wheat shows lower yields and increased drought susceptibility (Sieling et al., 2005). Yield decline of wheat in self rotation is often attributed to root senescence caused by infection with *Gaeumannomyces tritici* (take all) (Cook, 2003). Recent findings, however, indicate that a broader shift of the rhizosphere microbiome may be involved in the decline.

The “RhizoWheat” project aims to elucidate and quantify key rhizosphere processes governing yield decline of multiple cropped wheat. Our study investigates the effects of wheat and non-wheat pre-crops on the performance of wheat. In particular we analyze how the pre-crop affects crop growth, water uptake, canopy temperature and yield in winter wheat.

Material and Methods

The experiments are located at Kiel University’s experiment station “Hohenschulen”, Achterwehr, Schleswig-Holstein. The site is characterized by long-term annual mean temperature of 8.9°C and 788 mm precipitation. The soil is mostly sandy loam with a small scale heterogenous pattern. The data presented here were collected during the seasons 2020/21 and 2021/22.

For this study we used two experiments, a rainout shelter experiment and a crop rotation experiment. The treatments in the rainout shelter experiment consisted of two pre-crop treatments (wheat grown after wheat and faba bean in the first and wheat and oats in the second year) and two irrigation levels (stress and optimum irrigation). Wheat was sown end of October and harvested end of July/ early August. All wheat plots were fertilized with 140 kg N/ha. The irrigation treatment started mid-April in both years.

For the second experiment we used one of four crop rotations in an existing trial. Here we selected a crop rotation with a first and a third wheat grown after oilseed rape. The experiment includes five N fertilization levels (0, 80, 160, 240, 320 kg N/ha) and four replications.

UAV-based multispectral images were collected biweekly during spring and summer. Canopy temperature was measured using thermal imaging. Soil water content was measured regularly by using a Sentek Diviner-2000 FDR sensor system. At the end of each season yield and yield components were determined.

Results and Discussion

Data collected showed a reduction in growth in self-succession compared wheat after break crop in both experiments. Drought stress and N deficient treatments reduced crop growth as expected. The soil water content measured throughout the season showed higher values for wheat in self-succession. This points towards a reduced extent of the root system with less capacity for water uptake. Also, higher canopy temperatures were measured in these treatments, contributing to the hypothesis of reduced water uptake by 2nd/3rd wheat after break crop compared to a 1st wheat. Yields were not affected being grown as a second wheat after break crop (rainout shelter experiment). However, in the crop rotation experiment, a significant difference in yield was observed between the 1st and the 3rd wheat. The first wheat obtained higher yields and the optimum N level was lower compared to the third wheat (Figure 1).

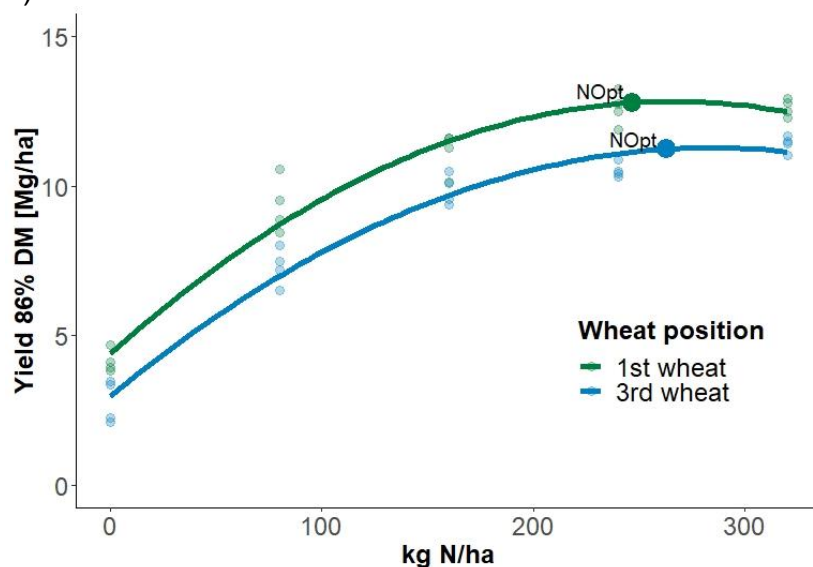


Figure 1: N response curve for wheat yield in 2022.

References

- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.-X., Huard, F., 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crop. Res.* 119, 201-212.
- Cook, R.J., 2003. Take-all of wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 62, 73-86.
- Sieling, K., Stahl, C., Winkelmann, C., Christen, O., 2005. Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. *European Journal of Agronomy* 22, 71–84.

Comparison of three liming management strategies on crop yields and economic indicators

Bönecke, E.¹, Sorge, S.², Vogel, S.², Schröter, I.³, Liftenegger, A.³,
Kramer, E.³, Rühlmann, R.¹

¹Leibniz Institute of Vegetable and Ornamental Crops, Großbeeren; ²University of Freiburg, Freiburg; Eberswalde University for Sustainable Development, Eberswalde. E-Mail: boenecke@igzev.de

Introduction

Private enterprises and farmers are increasingly interested in achieving profitable outcomes in agriculture through precision agriculture (PA). However, quantifying the economic benefits of PA has proven to be challenging. For variable rate liming (VRL), Bongiovanni and Lowenberg-DeBoer (2000) found profitable results, while Weisz et al. (2003) determined that VRL did not lead to profitability compared to a uniform application. Conducting experiments in a single field over a short period of time may limit the generalizability of the findings (Bullock et al., 2009, Mills et al., 2019). Therefore, it is important to assess the effects of VRL on the entire farm rather than focusing solely on experimental fields to gain an unbiased understanding of the impact of precision agriculture (PA) technologies (McBratney et al., 2005). Therefore, this study estimates the effects of different CaO management strategies on the applied CaO amounts, soil pH values and plant yields as well as on economic indicators.

Materials and Methods

At first, three CaO management strategies (MS) were created: MS1: field-uniform application management; MS2: variable rate lime application based on farmer's soil maps; and MS3: variable rate lime application according to sensor-based soil maps. MS1 and MS2 are representative for the presently two main liming practices in Brandenburg, while MS3 was used as "state of the art" and reference standard and compared to MS1 and MS2. Within the different management strategy scenarios, data as available in each case (regarding the method to analyse of soil texture, pH and SOM and spatial resolution of this information) were used to calculate the CaO fertilizer amounts that have to be applied based on the liming recommendations for Germany provided by the VDLUFA. There, the effect of lime fertilization was studied in 30 years of fertilization trials and the results condensed to a look-up table system (Kerschberger et al., 2000; von Wulffen et al., 2008) which defines five different lime supply levels (classes A to E), while the lime demand necessary to enrich the optimum pH range (class C) depends on a) the actual pH (in steps of 0.1 pH units), b) the present soil texture class Tex1 to Tex5 and c) the SOM content that is separated into four classes (SOM1 to SOM4). All 20-soil texture and SOM combinations are characterized by a specific slope of the linear regression function between ΔpH and the corresponding CaO demand and given in detail by Rühlmann et al. (2021).

However, to evaluate the effects of liming on the resultant pH values of all scenarios, we considered always the corresponding sub-plots and the sensor-based generated soil texture and SOM data of MS3. Regarding the sensor-based soil texture, pH and SOM maps underlying MS3, the sensor data were obligatorily calibrated with laboratory soil analyses results derived from reference soil samples. Resulting, high-resolved maps for clay, silt and sand as well as pH and SOM are available as

exemplarily shown in Figure 1 (right) compared to field uniform (left) and subarea management-based maps (middle) (Meyer et al., 2019).

For the corresponding scenario calculations, we considered the following main effects on economic indicators: (i) heterogeneity of soil properties within the single management unit, (ii) the soil texture and SOM dependent CaO demand and (iii) the CaO fertilization effects on the resultant pH values and yields.

Results und Discussion

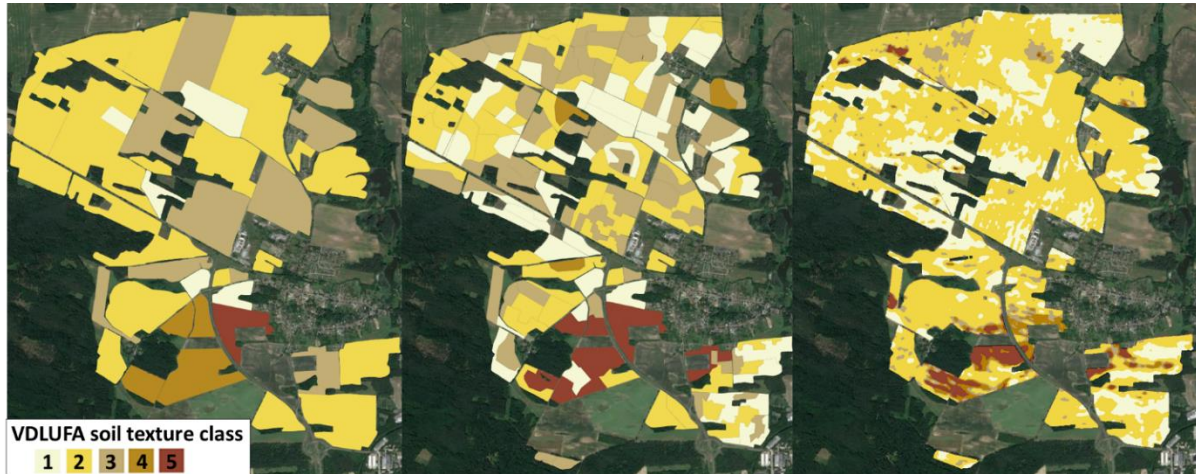


Figure 1. Soil texture maps as classified by VDLUFA system for the uniform management of fields (MS1, left), for subarea-based management (MS2, middle) and sensor-based reclassification (MS3, right).

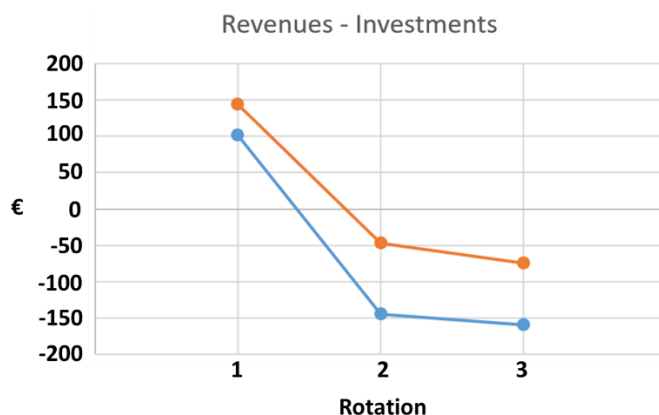


Figure 2. Temporal development of the income – expenditure difference of MS1 (orange) and MS2 (blue) compared to MS3 as a baseline.

Literatur

- Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2000). Economics of variable rate lime in Indiana. *Precision Agriculture*, 2(1), 55–70.
- Bullock, D. S., Ruffo, M. L., Bullock, D. G., & Bollero, G. A. (2009). The value of variable rate technology: An information-theoretic approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(1), 209–223.
- Kerschberger, M.; Deller, B.; Hege, U.; Heyn, J.; Kape, H.E.; Krause, O.; Pollehn, J.; Rex, M.J.; Severin, K. Estimation of lime demand of arable and grassland soils. *Standpunkte des VDLUFA; Association of German Agricultural Investigation and Research Institutions: Speyer, Germany, 2000.* (in German)
- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T. et al. Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agric* 6, 7–23 (2005).
- Mills, B.E., Wade Brorsen, B. & Arnall, D.B. The profitability of variable rate lime in wheat. *Precision Agric* 21, 369–386 (2020).
- Meyer, S.; Kling, C.; Vogel, S.; Schröter, I.; Nagel, A.; Kramer, E.; Gebbers, R.; Philipp, G.; Lück, K.; Gerlach, F.; et al. 2019. Creating soil texture maps for precision liming using electrical resistivity and gamma ray mapping. In *Precision Agriculture'19*, Wageningen, Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands.
- Ruehlmann, J., Bönecke, E. Meyer, S. 2021. Predicting the Lime Demand of Arable Soils from pH Value, Soil Texture and Soil Organic Matter Content. *Agronomy* 2021, 11,785.
- von Wulffen, U.; Roschke, M.; Kape, H.-E. Guide values for the examination and advice as well as for the professional implementation of the Fertilizer Ordinance (DüV): joint information from the states of Brandenburg, Mecklenburg-Western Pomerania and Saxony-Anhalt (published by the state of Brandenburg); LLFG: Gueterfelde, Germany, 2008. (in German)
- Weisz, R., Heiniger, R., White, J. G., Knox, B., & Reed, L. (2003). Long-term variable rate lime and phosphorus application for Piedmont no-till field crops. *Precision Agriculture*, 4(3), 311–330.

Implementierung eines webbasierten Fruchtfolgeplanungsinstrumentes im ökologischen Landbau (ROTOR)

Jonas Geistert, Mosab Halwani und Johann Bachinger

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg;
E-Mail: jonas.geistert@zalf.de

Einleitung

Um die wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Thema Fruchtfolge sowohl an Landwirt/-innen und landwirtschaftliche Berater/-innen als auch an Wissenschaftler/-innen effizient zu vermitteln, wurde das PC-gestützte Fruchtfolgeplanungstool ROTOR (Bachinger 2007) am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) entwickelt. Obwohl das Tool kostenfrei zur Verfügung gestellt wird, bedarf es zur Ausführung einer Installation des kostenpflichtigen Microsoft Access. Um den Zugang zu ROTOR zu vereinfachen und die Funktionalität weiter zu verbessern, entwickeln wir im Rahmen des vom BÖLN geförderten Projekts „Webbasiertes Nährstoff-Management im ökologischen Landbau“ (WebMan) eine webbasierte Version von ROTOR.

Diese Version soll neben der erleichterten Erreichbarkeit und einer verbesserten Benutzeroberfläche auch neue Funktionen zur Fruchtfolgeplanung für den ökologischen Landbau unterstützen. Zu diesen neuen Funktionen zählen u.a. die konservierende Bodenbearbeitung, der Gemengeanbau sowie detaillierte Eingabemöglichkeiten für Bodenbearbeitung, Strohernte, Schnitzzahl der Dauerkulturen und den Leguminosenanteil der Zwischenfrüchte.

Material und Methoden

Wir haben für die Implementierung der webbasierten ROTOR Version die Programmiersprache Python gewählt. Für diese Programmiersprache sprechen neben der einfachen Erlernbarkeit, der einfachen Syntax und der Open Source Lizenzierung auch die am ZALF bereits geleisteten Arbeiten (Krugmann 2022).

Für die Erstellung der webbasierten Oberfläche haben wir die Bibliothek ROTOR-UI implementiert und als Open Source Software bereitgestellt (ROTOR-UI 2023). Dabei haben wir uns für einen objektorientierten Ansatz bei dem Design der einzelnen Komponenten entschieden. Um eine effiziente Serialisierung, Deserialisierung und einheitliche Kommunikationsschnittstellen zum Server für alle Komponenten bereitzustellen, gibt es eine Basisklasse (*UiObject*) von der alle anderen abgeleitet sind. Nach dem gleichen Muster wurde auch der Zugriff auf das Document Object Model (DOM) und die Ereignisverwaltung des Browsers in eine Klasse gekapselt (*UiWidget*). Alle davon abgeleiteten Klassen können Methoden wie z.B. *on_click*, *on_mouse_move* und *on_key_down* überschreiben, um die gleichlautenden Eventhandler der Komponenten zu bearbeiten und zu aktivieren. Diese sichtbaren Komponenten der Bibliothek lassen sich in einfache und zusammengesetzte einteilen. Die einfachen Komponenten werden nur durch ein einziges DOM-Element repräsentiert. Zu den einfachen Komponenten zählen u.a. das *UiLabel* zum Anzeigen einfach formatierter Texte und die Klasse *UiInput* für die Texteingabe. Im Gegensatz dazu benötigen die zusammengesetzten Komponenten mehr als ein DOM-Element,

bzw. mehrere ROTOR-UI Komponenten. Zum Beispiel besteht die Komponente *UiDropDownSelect* aus den Komponenten *UiInput* und *UiListSelect*. Die für die Darstellung relevante Bearbeitung und Verwaltung der Cascading-Style-Sheets wurde ebenfalls in einer separaten Klasse gekapselt und wird allen sichtbaren Komponenten durch Vererbung bereitgestellt.

Um die entwickelte Python Software im Browser auszuführen, haben wir zwei bestehende Optionen evaluiert und eine neue entwickelt (QDPython 2023). Als erste Option haben wir das Pyodide Project evaluiert und mit diesem auch die ROTOR-UI entwickelt und getestet. Im Rahmen des Pyodide Projects wurde der Quellcode des CPython Interpreters angepasst und für die WebAssembly (WASM) Architektur kompiliert. Zusätzlich wurde der C-Code vieler beliebter Python Extension Moduels (z.B. OpenCV, GeoPandas) für die WASM Umgebung übersetzt. Damit bietet Pyodide die Möglichkeit, Python Module ohne Einschränkungen im Browser auszuführen. Die Performance für numerische Berechnungen, insb. mit Hilfe des Extension Modules NumPy, ist ca. um den Faktor 4 besser als eine äquivalente Berechnung mit JavaScript. Ebenfalls enthält Pyodide ein Modul, welches den Zugriff auf das DOM und andere JavaScript Funktionen ermöglicht. Die Performance von DOM Manipulationen kann aber nicht mit der von JavaScript mithalten. Die zweite betrachtete Möglichkeit ist das Brython Project. Brython ist ein JavaScript Programm, welches Python Quellcode zur Laufzeit in JavaScript Code übersetzt. Es stehen jedoch keine Extension Module zur Verfügung, wodurch die Performance für numerische Berechnungen schlechter ist als die von JavaScript. DOM Manipulationen können besser als mit Pyodide ausgeführt werden, jedoch benötigen diese ca. 10x mehr Zeit als die äquivalenten JavaScript Operationen.

Um die Vorteile der bestehenden Möglichkeiten zu verbinden, haben wir für die Ausführung von ROTOR im Browser einen neuen Ansatz entwickelt und als Open Source Software zur Verfügung gestellt (QDPython 2023). Dabei wird der Quellcode mithilfe von CPython in Python-Byte-Code kompiliert und dieser dann mit QDPython in JavaScript Befehle übersetzt. Dieses Vorgehen gibt uns die Möglichkeit den bereits optimierten Byte-Code in JavaScript Code zu übersetzen und weiter zu optimieren. Dieses Vorgehen sichert die Kompatibilität des auszuführenden Python Quellcodes und minimiert Performanceeinbußen durch die Ausführung eines zusätzlichen Interpreters.

Ergebnisse und Diskussion

Wir haben verschieden Möglichkeiten evaluiert und weiterentwickelt um eine effiziente Ausführung von neuentwickelten und bestehenden Funktionen der ROTOR Software im Browser zu gewährleisten. Dabei haben wir alle Voraussetzungen für eine intuitive Benutzeroberfläche geschaffen, welche sich durch eine objektorientierte Programmierung in Python einfach erweitern lässt.

Literatur

ROTOR-UI, 2023. www.github.com/zjti/ROTOR-UI

QDPython, 2023. www.github.com/zjti/QDPython

Krugmann, C., Wittmann, J., Bachinger, J., Halwani, M., 2022. Modelling Crop Rotations and Nutrient-Balances in Organic Farming Systems. MATHMOD2022

Bachinger, J., Zander, P., 2007. ROTOR, a tool for generating and evaluating crop rotations for organic farming systems. European Journal of Agronomy of 2007

Factoring out breeding progress: an approach to long-term fertilization trials

Karolin Kunz und Janna Macholdt

Department of Agronomy and Organic Farming, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg.
E-Mail: karolin.kunz@landw.uni-halle.de

Introduction

Long-term field experiments (LTEs) are a valuable research infrastructure to answer questions concerning plant × environment interaction and nutrient use, aiming for high crop yields in sustainable cropping systems. The ‘Eternal Rye’ trial at the University of Halle-Wittenberg was established by Julius Kühn in 1878 and is the world’s second oldest long-term fertilization trial still working. Analyses focus on the long-term effects of the fertilization on the crops and soil fertility. During the long history of the trial, varieties changed at irregular intervals. In order to evaluate the isolated effect of fertilization on trends in rye yield and its stability over time, we present one possible way to exclude the breeding progress from yield data by factorizing the grain yield.

Material and Methods

Trial setup

The field trial is located in the northeast of Halle/Saale, Saxony-Anhalt, at a 15-km broad area of sandy loess. It consists of a continuous cultivation of winter rye with six different fertilization treatments, including mineral and organic fertilizers. The treatments include the application of farmyard manure (FM I), mineral fertilizers (PK, NPK), a combination of mineral and organic fertilization (NPK+FM), and an unfertilized control (U). Furthermore, plots with previous organic fertilization, that has been omitted in 1952 to analyze the after-effects (FM II). The NPK+FM treatment has replaced a pure mineral-N treatment in 1990. Current fertilization rates are shown in Table 1.

Table 1 Current fertilization rates (kg/ha/a) in six treatments of the ‘Eternal Rye’ trial

	FM I	PK	NPK	NPK+FM	U	FM II (until 1952)
N	60		60	120	-	- (43)
P	20	24	24	44	-	- (13)
K	60	75	75	135	-	- (40)

Calculation of the factorized yield

Factorization of the yield was done by calculating a mean value of all fertilization variants within each year. Subsequently, the yield of each variant was divided by the mean value of the respective year. A value >1 marks a yield higher than the annual average. If the value is less than 1, the yield is lower than the annual average. Thus, yield effects and differences between the variants become clear. Due to the annual recalculation of the mean value, the breeding progress is not considered.

Results and Discussion

Figure 1a shows the annual grain yield of the different fertilizer treatments of the trial. Strong variation between years is visible. During long time periods with no change in variety, e.g. 1878-1921 and 1922-1971, a slight negative trend can be seen, while

with a varietal change the grain yield increases, due to breeding progress (Laidig et al., 2021). Especially in more recent years, the quick succession of change in varieties can be one important reason for the overall increase of grain yield across all treatments (Reckling et al., 2021). While particularly in completely unfertilized plots a decrease of productivity over time seems more likely, even in these plots the yields increase since ca. 1920, and shows a reasonably stable development at a level similar to that at the beginning of the trial. Factorizing the yield data of each individual year allows to adjust data for the influence of the variety. In Figure 1b not the absolute grain yield is shown but the deviation of each treatment from the average of all treatments. For better clarity the figure shows the moving average of 10 years. The separation between plots with adequate N-supply (NPK, FM I, and NPK+FM) and plots with increasing N-deficiency (U, PK, and FM II) becomes stronger over time.

It is very likely that it will not be possible to completely eliminate the influence of breeding progress in long-term field trials, as too many factors impact the yield in interaction with the environment, e.g. 'genotype \times fertilizer interactions' or increased NUE (Reckling et al., 2021), which cannot be eliminated by this method.

The annual recalculation of the mean value of the average yield of all treatments bears the risk that weather-related extreme values in individual years are weighted undesirably strongly, e.g. the unfertilized plot could be more affected by abiotic stress than plants with sufficient nutrient supply. However, this method allows to have a clear comparison within one year instead of referring all data points to the same basis.

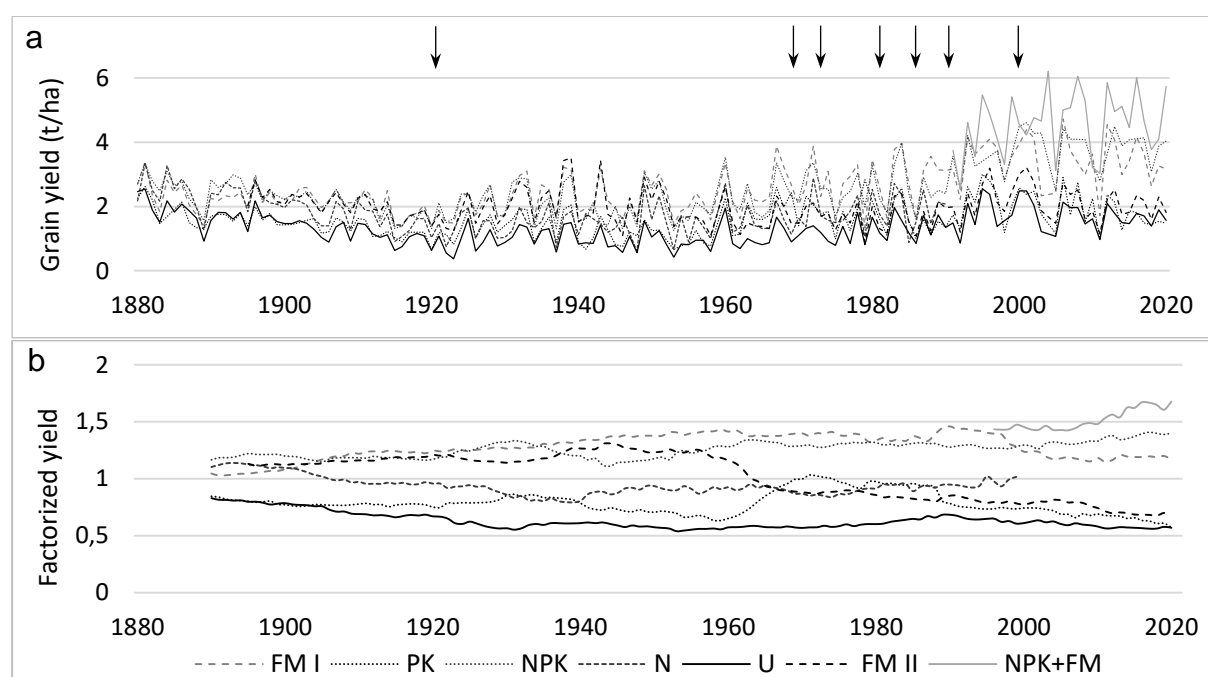


Figure 1 Yield data from the Eternal Rye trial from 1880 to 2020. a: annual grain yield (t/ha) of different treatments, b: 10-year moving average of the factorized yield (non-dimensional). Arrows mark years of variety changes.

Literature

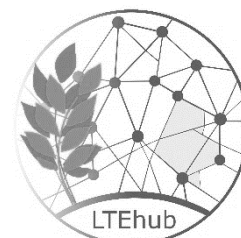
- Laidig, F., et al. (2021) Long-term breeding progress of yield, yield-related, and disease resistance traits in five cereal crops of German variety trials. *Theoretical and Applied Genetics* 134, 3805–3827.
- Reckling, M. et al. (2021) Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 41, 27.

LTE hub Halle - Agricultural long-term experiments

Karolin Kunz, Paula Fuchs und Janna Macholdt

Department of Agronomy and Organic Farming, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg.
E-Mail: karolin.kunz@landw.uni-halle.de

Long-term field experiments (LTEs) are a valuable research infrastructure for agricultural and agroecosystem research. LTEs with different crop and management systems under diverse environmental conditions, can help to evaluate the effects of management practices, such as fertilization and soil cultivation. They lead to understanding the influence of climate change on plant development and yield stability, and respective adaptation possibilities for sustainable cropping systems.



The Martin Luther University Halle-Wittenberg is home to the oldest LTE in Germany, the 'Eternal Rye', established by Julius Kühn in 1878. Originally the plots were set up to compare the yield efficiency of mineral versus organic fertilizers. Today, the focus is on soil organic matter, soil nutrient leaching, nutrient deposition, the effects of climate change and the use of long data series for modelling. Modern sensors, such as moisture meters and thermal cameras can be used to gather information about abiotic stress.

Karl Schmalfuß installed six more 'Fertilization Trials' in 1949, to examine the response of crops and soil to different rates and forms of fertilizers. Up to now, four trials have been continued observing lime, potassium, phosphate, and organic and mineral fertilizers combined.

To lift this treasure of available data series, the LTE hub Halle and a digital database is being established to provide a central platform collecting all data of the LTEs in Halle; including grain yield and nutrient content, soil analyses, meteorological and management data. In order to present the LTEs and to establish a collaborative, interdisciplinary network of different institutions, a website on the agricultural long-term experiments and related research possibilities is being created as well (<https://ltehub.landw.uni-halle.de> or via the QR-code below)



Agricultural Long-term Experiments: LTEhub Halle

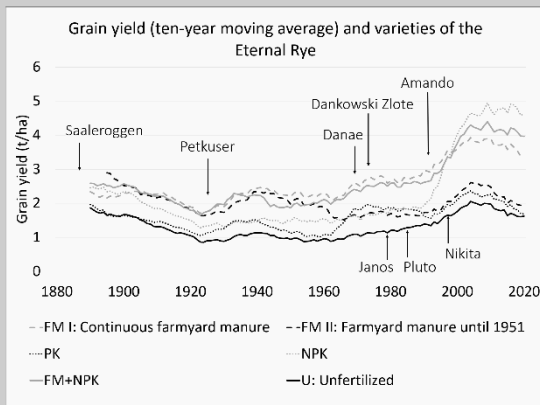
Karolin Kunz, Paula Fuchs, Janna Macholdt

Long-term Experiments

LTEs are of high importance for studying the sustainability of cropping systems and the **effects of climate change on current & future food security**.
Based on LTEs yield and **yield stability** of different agronomic treatments, nutrient cycling and the interaction with the **soil ecosystem** can be assessed.

Halle is home to some of the oldest long-term field experiment in Germany:
The Eternal Rye, established by Julius Kühn in 1878,
and the **Fertilization trials** by Karl Schmalfuß, established in 1949.

To establish **interdisciplinary networks** between LTE owners and institutions and to promote exchange, the **LTEhub** Halle was founded.



Eternal Rye	Fertilization Trials
<p>Six fertilization treatments</p> <p>Farmyard manure, mineral fertilizers and combinations</p>	<p>Lime, potassium, phosphate, and organic/mineral fertilizers</p>
<p>Three divisions:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rye monoculture - Rye-potato-rotation - Maize monoculture 	<p>on different crop rotations, including grain crops, legumes, sugar beet, potato and maize</p>



Network and cooperations

Experimental and meta data from 1878 until today is available in a **database**

Detailed information about our trials in Halle can be found on the **homepage of the LTEhub** Halle

We are member of **GLTEN**, the Global Long-Term Experiment Network

Interested in cooperation? Let us know!



<https://ltehub.landw.uni-halle.de>

Martin-Luther-University Halle-Wittenberg
 Department of Agronomy and Organic Farming
 Dr. Karolin Kunz
 karolin.kunz@landw.uni-halle.de



Ansprüche von Backweizen nach verschiedenen legumen Vorfrüchten im ökologischen Landbau

Urbatzka P.¹, Salzedo G.² und Castell A.¹

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau, Freising; ²LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising.
E-Mail: Peer.Urbatzka@LfL.Bayern.de

Einleitung

Im ökologischen Pflanzenbau ist das Erzielen eines hohen Ertrages und einer guten Backqualität bei Winterweizen aufgrund der Limitierung von Stickstoff schwierig. Neben der Sortenwahl ist die legume Vorfrucht eine wesentliche Einflussgröße. In der landwirtschaftlichen Praxis des ökologischen Landbaus wird Winterweizen üblicherweise nach Klee gras oder nach Körnerleguminose angebaut. In einem Dauerfeldversuch wurden nach zehnjähriger Laufzeit zwei divergierende Sorten Backweizen integriert, um den Einfluss der legumen Vorfrucht und der Sorte auf Ertrag und Qualität von Winterweizen zu bestimmen.

Material und Methoden

In einem im Herbst 1997 angelegten Dauerversuch auf dem Standort Viehhausen (Technischen Universität München, Lkr. Freising in Oberbayern, uL, Bodenzahl 61, langjähriges Mittel 786 mm und 7,8 °C) wird die Fruchtfolge Leguminose, Winterweizen und Sommergerste angebaut. Als Leguminose wird Klee gras mit Mulchnutzung und eine Körnerleguminose (1998 bis 2003 Ackerbohne und Erbse, ab 2004 Soja) gesät. In beiden Fruchtfolgen erfolgt keine organische Düngung, Details finden sich in Castell et al. (2016). Als zweiter Faktor wurde in den Jahren 2008 bis 2012 die Weizensorte (cvs. *Achat* und *Tamaro*) verglichen. *Achat* ist ein ertragsstarker und qualitätsschwacher E-Weizen, *Tamaro* verhält sich vice versa (Urbatzka et al. 2012).

Rohprotein-, Feuchtklebergehalt und Sedimentationswert wurden nach den Standard-Methoden der Internationalen Gesellschaft für Getreidechemie (ICC 2014) festgestellt, das Backvolumen wurde nach einem RMT-Backversuch nach Doose (1982) bestimmt. Bestandesdichte, Pflanzenlänge und TKM wurden nach Bundessortenamt (2000) erhoben. Es handelt sich um eine Blockanlage mit drei Wiederholungen, die statistische Auswertung erfolgte mit SAS 9.3.

Ergebnisse und Diskussion

In der statistischen Analyse ergab sich keine signifikante Wechselwirkung zwischen Vorfrucht und Sorte. Erwartungsgemäß erzielte *Achat* einen um 30 % höheren Kornertrag (Tab. 1), während die Backqualität von *Tamaro* sehr deutlich höher als bei *Achat* ausfiel. Z. B. lag der Sedimentationswert mehr als doppelt so hoch und der Feuchtklebergehalt war um 6,4 Prozentpunkte höher (Tab. 1).

Die höhere Vorfruchtwirkung vom Klee gras konnte eindeutig und eindrücklich bestätigt werden, da alle dargestellten Parameter des Weizens mit Ausnahme der TKM größer als nach Körnerleguminose waren (Tab. 1). Hintergrund ist die deutliche höhere N₂-Fixierung vom Klee gras im Vergleich zur Körnerleguminose. Dazu wird bei der Körnerleguminose mit den Körner ein Großteil des Stickstoffs vom Feld abgefahren, während beim gemulchten Klee gras der Stickstoff aus dem Aufwuchs im System verbleibt. Beispielsweise fiel der Kornertrag nach Klee gras um 38 % höher

aus, der Feuchtklebergehalt um 5,9 Prozentpunkte. Auch die Pflanzenlänge war nach Klee gras um knapp 10 cm erhöht.

Tab. 1: Ertrag, Ertragsparameter, Pflanzenlänge und Backqualität in Abhängigkeit der Vorfrucht und der Sorte

	Bestandesdichte°	Länge (cm)	Ertrag (dt/ha)	TKM (g)	RP-Gehalt (%)	Sedimentationswert	Klebergehalt (%)	Backvolumen (ml)
KG	377 NS*	101,3 A	42,1 A	42,5 NS	12,7 A	39,9 A	28,9 A	707 A
KL	355	91,6 B	30,4 B	41,8	11,2 B	31,1 B	23,0 B	636 B
Achat	370 ns	94,5 ns*	41,1 a	42,0 ns	11,0 b	23,2 b	22,8 b	591 b
Tamaro	362	98,3	31,4 b	42,3	12,9 a	47,8 a	29,2 a	751 a

Mittel der Jahre 2008 bis 2012; KG= Klee gras, KL= Körnerleguminose; verschiedene Buchstaben= signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, Tukey-Kramer-Test), * Tendenz ($0,05 < p < 0,01$); ° ährentragende Halme je m²

Demnach sollte nach Körnerleguminose nach Möglichkeit Weizen mit einem hohen Potenzial zur Beikrautunterdrückung ausgewählt werden, da z. B. die Pflanzenlänge aufgrund der geringeren N-Verfügbarkeit kürzer ausfällt. Ebenso sollten qualitätsbetonte Backweizen mit einem geringeren Ertragspotenzial gesät werden, da mit ertragsbetonten Backweizen oft keine für den Markt ausreichende Backqualität erreicht wird. Nach Klee gras kann dagegen der Landwirt wählen, ob ein qualitäts- oder ertragsbetonter Backweizen besser in seinen Betrieb passt.

Literatur

- Bundessortenamt (2000) Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Landbuch-Verlag, Hannover
- Castell, A.; Eckl, T.; Schmidt, M.; Beck, R.; Heiles, E.; Salzeder, G. & Urbatzka, P. (2016) Fruchtfolgen im ökologischen Landbau – Pflanzenbaulicher Systemvergleich in Viehhausen und Puch. Zwischenbericht über die Jahre 2005-2013. LfL-Schriftenreihe 9, 90 Seiten
- Doose, O. (1982) Verfahrenstechnik Bäckerei. Gildebuchverlag, Alfeld, 6. Auflage
- ICC (Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft und Getreidetechnologie) (2014) https://www.icc.or.at/standard_methods, Abruf 1.9.2014
- Urbatzka, P.; Rehm, A. & Schmidt, M. (2012) Versuchsergebnisse aus Bayern, Jahr 2011, Ökologischer Landbau, Sortenversuche zu Winterweizen, Teil 2: Qualität. URL: <http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/ISIP.woa/vb/bericht?nr=54007>

The Influence of Pre-Crop on Yield, Radiation Use Efficiency, Canopy Temperature and Root Health in Winter Wheat

Katharina Pronkow, Nora Honsdorf and Henning Kage

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität, Kiel. E-Mail: pronkow@pflanzenbau.uni-kiel.de

Introduction

The yield increase in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) was linear during the second half of the 20th century and stagnated during the late 1990s. Fischer 2020 mentioned increasing yields for the latest period between 2002 and 2016. This was related at the expense of turning more land into cropping area or growing wheat in short crop rotations.

Wheat grown in short rotations or in a beginning monoculture shows yield decline which is attributed to higher root infections caused by the soil borne fungus *Gaeumannomyces tritici*. But even without severe infections yield decline can be observed (Sieling et al. 2005). As the demand for wheat is still high, it is necessary to understand what causes this yield decline. To get a better understanding of the mechanisms for declining yields of wheat in short crop rotations we aimed to show how the plant growth and physiology of wheat changes in the first and the third year grown after oilseed rape.

Material and Methods

Data were collected in three consecutive years (2020-2022) in a long-term field trial which was conducted at the Hohenschulen Experimental Farm near Kiel in North-Germany. The crop-rotation was a sequence of three winter wheat crops (WW) – WW – WW grown after oilseed rape (OSR) as a previous crop. Each rotational position was present in every year as a main plot. Within the first (W1) and the third (W3) year of wheat grown after OSR the combination of three genotypes ('Elixer', 'Nordkap', 'Tobak') and four levels of N-fertilizer (0, 120, 240, 320 kg N·ha⁻¹) were established in subplots with four replicates.

Spectral data were taken biweekly from April until July with the Parrot Sequoia camera. These multispectral images were used to calculate the green area index (GAI). For the calculation we chose the vegetation index VIQUO (Bukowiecki et al. 2019). The GAI of each sampling date was used to interpolate growth curves for each plot.

In addition to the spectral images taken during the regular flights, a thermal camera mission (DuetT, camera by senseFly) was conducted at least once during each growing season to capture thermal images of the sampling area. A linear regression analysis was performed to determine the relationship between the soil pixel fraction ($e^{-0.45 \cdot GAI}$) and the mean temperature values of each plot extracted from the thermal images. The residuals of the linear regression represent the mean temperature values, adjusted from the influence of the soil temperature and provide insight into the variation in canopy temperature among different variants.

At the end of the season yield components were determined by hand harvest and grain yield by combine harvest. A rating of the root health in two variants ('Nordkap' x N1 & 'Nordkap' x N3) in one meter along the row took place at harvest.

Results and Discussion

Averaged over all three years all genotypes achieved lower yields in W3 in all four N-levels. The response to increasing N-fertilizer differed between the genotypes in W3 but was not significant. 'Tobak' showed the lowest yield decline in W3 and 'Nordkap' the highest. One factor for the yield decline in W3 was a lower thousand kernel weight (TKW) for all three genotypes. This indicates a lower N-uptake during grain filling and was also reported by other authors (Sieling et al. 2005).

W1 could develop higher GAI values in two years through the whole season. In the first year GAI was higher in W3 due to more favorable site conditions. But in all three years the W3 canopies showed a faster senescence. This can be related to a lower chlorophyll content which is correlated with photosynthetic capacity. Balota et al. 2005 could show in a pot experiment that the CO₂ assimilation rate (A) of plants infected with Ggt was significantly reduced. As the intercellular CO₂ was stable while (A) was reduced, it was assumed that the decrease in (A) was rather influenced by lower photosynthetic capacity than stomatal control.

The intercepted radiation (Q) was according to the GAI values higher in W3 in the first year and in W1 in the two following years. The pre-crop had a significant impact on Q and the ability to turn Q into biomass (radiation use efficiency, RUE) as both were lower in W3. Q and the RUE showed also significantly different values among the three genotypes. 'Elixer' had the highest amount of Q and 'Tobak' the lowest. In contrast 'Tobak' could realize the highest RUE and 'Elixer' the lowest.

In 2020, in contrast to the other two years, no differences in the temperature residuals between W1 and W3 or higher values for W1 could be observed. One reason for the cooler temperatures in W3 in 2020 can be the earlier date of the flight compared to the other two years. This has the consequence that these data show results of canopies that are at the beginning of anthesis. In contrast the data of 2021 and 2022 show the results of canopies at the stage of milk ripening. This stage is reported to be the growth stage with the highest demand for water.

The pre-crop had a significant effect on the root health as W3 showed twice as high take-all index values as W1. This has an impact on the water- and N-uptake at least during grain-filling as W3 develops higher canopy temperatures at the growth stage of milk ripening and a lower TKW at harvest.

Literature

- Balota, Maria; Rush, C. M.; Payne, W. A.; Lazar, M. D. (2005): The effect of take-all disease on gas-exchange rates and biomass in two winter wheat lines with different drought response. In: *Plant Soil* 275 (1-2), S. 337–348. DOI: 10.1007/s11104-005-2680-y.
- Bukowiecki, Josephine; Rose, Till; Ehlers, Ralph; Kage, Henning (2019): High-Throughput Prediction of Whole Season Green Area Index in Winter Wheat with an Airborne Multispectral Sensor. In: *Frontiers in plant science* 10, S. 1798. DOI: 10.3389/fpls.2019.01798.
- Fischer, R. A. (2020): Advances in the potential yield of grain crops. Population, Agriculture, and Biodiversity: Problems and Prospects. Gustafson, J. Perry; Raven, Peter H.; Ehrlich, Paul R. (Eds.): University of Missouri Press.
- Sieling, K.; Stahl, C.; Winkelmann, C.; Christen, O. (2005): Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. In: *European Journal of Agronomy* 22 (1), S. 71–84. DOI: 10.1016/j.eja.2003.12.004.

Einfluss des Kurzstrohgens *Ddw1* auf das Wurzelsystem und die Trockenstresstoleranz von Winterroggen

Thomas Kämpfer¹, Til Feike², Ashifur Rahman Shawon², Franz Joachim Fromme³,
Anne Zaar⁴, Bernd Hackauf⁴ und Lorenz Kottmann¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig;

²Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow;

³HYBRO Saatzucht GmbH & Co. KG, Schenkenberg.

⁴Julius Kühn-Institut, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, Groß Lüsewitz
E-Mail: thomas.kaempfer@julius-kuehn.de

Einleitung

Neben Hitze- und Trockenperioden stellen auch Starkniederschlags- und Starkwindereignisse die Landwirtschaft zunehmend vor Herausforderungen. Im Rahmen dieser veränderten klimatischen Bedingungen gilt Roggen als Brot- und Futtergetreide aufgrund seines ausgeprägten Wurzelsystems einerseits als vergleichsweise trocken tolerant, besitzt andererseits aufgrund seiner Wuchshöhe und seines hohen Strohanteils jedoch meist eine vergleichsweise geringe Standfestigkeit. Hierbei können Halbzwerge die Resilienz von Roggen unter sich ändernden klimatischen Bedingungen durch eine genetische Anpassung des Gibberellin gehaltes stärken. Ob dabei auch die Trockenstresstoleranz beeinflusst wird, ist bislang nicht eindeutig geklärt, wenngleich einige Hinweise darauf existieren (Colebrook et al. 2014, Plaza-Wüthrich et al. 2016)

Material und Methoden

Im Verbundvorhaben PRoKlima[‡] wird daher das Ziel verfolgt, Halbzwerge mit definierten Kornqualitäten zur Verbesserung einer klimaangepassten und -schonenden Produktion von Brot- und Futtergetreide weiterzuentwickeln und zu bewerten.

In einem Teilprojekt des Vorhabens werden am Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des JKI fünf durch Einkreuzung des Gibberellin-sensitiven Kurzstrohgens *Ddw1* entwickelte Halbzwerghybriden, fünf nah-isogene langstrohige Hybriden sowie je eine Vergleichsorte hinsichtlich ihrer Trockenstresstoleranz und Standfestigkeit charakterisiert.

Die hierfür angelegten, zweijährigen Feld- und Gefäßversuche finden durch Nutzung von mobilen Rain-out Shelters bzw. Gewächshausanlagen unter kontrollierten Bedingungen (Trockenstress + bewässerte Kontrolle) am Standort Braunschweig statt. Dabei werden verschiedene phänologische, physiologische und agronomische Merkmale mit Hilfe von Feldmessungen (z. B. Blattflächenindex, Chlorophyllgehalt) und Fernerkundungsmethoden (z. B. Bestandstemperatur, spektrale Reflexion) sowie Wurzelparameter im Gefäßversuch erfasst.

Rain-out Shelter Versuch

Der Rain-out Shelter Versuch dient der Präzisionsphänotypisierung und der Bestimmung des Einflusses von Trockenstress unter kontrollierten Bedingungen auf o.g. Genotypen. Es werden zwei Bewässerungsregime praktiziert: Trockenstress (30-50 % nFK) in den Rain-out Shelters und eine bewässerte Kontrolle (> 70 % nFK)

[‡]Optimierung des Potentials von Halbzwerge bei Roggen für die Steigerung der Klimaschutzleistung von Getreidefruchtfolgen

im Feld neben den Rain-out Sheltern. Trockenstress wird durch Aktivierung der Rain-out Shelter ab Vegetationsbeginn im Frühjahr erreicht. Ab diesem Zeitpunkt fahren die Rain-out Shelter bei Niederschlag automatisch über die Versuchspartzen und halten diesen vollständig ab. Um jedoch keinen zu starken Trockenstress hervorzurufen, können auch die Trockenstresspartzen bei Bedarf durch Überkopfbewässerung mittels Gießbalken in den Rain-out Sheltern bewässert werden. In der Kontrolle wird zusätzlich zum natürlichen Niederschlag mittels Tropfschläuchen bewässert.

Beide Varianten wurden in vierfacher Wiederholung angelegt (48 Partzen je Variante). Die Rain-out Shelter und die Kontrollfläche werden dabei als zwei verschiedene Umwelten angesehen.

Gefäßversuch

Zur Untersuchung des Effekts des Kurzstrohgens auf die Wurzelarchitektur und Wurzelbiomasse wurde mit den zwölf Genotypen analog zum Rain-out Shelter Versuch ein Gefäßversuch als randomisiertes Blockdesign in einem Kaltgewächshaus angelegt. Eine sensorgesteuerte Rollbahn ermöglicht es, den Versuch klimatisch weitestgehend unter Freilandbedingungen durchzuführen und die Gefäße (KG Rohre, Länge 160 cm, Ø 11 cm) z.B. bei Niederschlag in das Gewächshaus zu fahren. Auch hier wurden bezüglich des Bewässerungsregimes eine Trockenstressvariante (30-50 % nFK) und eine optimal versorgte Kontrollvariante (> 80 % nFK) angelegt. Als Substrat dient ein Sand-Mutterboden-Gemisch im Verhältnis 2:1 (Sand 0,15-2 mm, Mutterboden: sandiger Schluff [Us]). Dieses erwies sich in Vorversuchen als besonders günstig in Bezug auf die Wurzelwaschung (Kämpfer et al. 2021).

Ausblick

Die im Projekt durchgeführte Präzisionsphänotypisierung soll Effekte und Nebeneffekte des Kurzstrohgens *Ddw1* im Hinblick auf die Anpassung des Roggens an den Klimawandel beschreiben, insbesondere hinsichtlich der Trockenstresstoleranz von Roggenhalbzwerger. Der auf diese Weise erzielte Erkenntnisgewinn unterstützt die Entwicklung von Halbzwerger für alle Formen der Landbewirtschaftung und kann somit eine verbesserte Klimaschutzleistung durch Einsparung von Pflanzenschutz- und Betriebsmitteln sowie eine erhöhte Nährstoff- bzw. Wassernutzungseffizienz ermöglichen.

Literatur

- Colebrook, E.H., Stephen, G.T., Andrew, L.P., Hedden, P. (2014): The role of gibberellin signalling in plant responses to abiotic stress. *J. Exp. Biol.* 217 (1).
- Kämpfer, T., Bülow, L., Bund, A., Hartl, L., Mohler, V., Hackauf, B., Kottmann, L. (2021): Einfluss von 1RS-Roggentranslokationen auf das Wurzelsystem und die Trockenstresstoleranz von Winterweizen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 32.
- Plaza-Wüthrich, S., Blösch, R., Rindisbacher, A., Cannarozzi, G., Tadele, Z. (2016): Gibberellin Deficiency Confers Both Lodging and Drought Tolerance in Small Cereals. *Sec. Plant Breeding* 7.

Elucidating the importance of genotype selection in climate change adaptation of wheat in Germany using multi-model-ensembles

Christian Jorzig, Ashifur Rahman Shawon, Anto Raja Dominic, Arno de Kock, Jörn Strassemeyer, Burkhard Golla and Til Feike

Julius Kühn-Institut, Institute for Strategies and Technology Assessment, Kleinmachnow
E-Mail: christian.jorzig@julius-kuehn.de

Introduction

Climate change and its related shifts in environmental growth conditions for crop production already show significant influence on agriculture and eventually pose a threat to food security. The expected increase in global population driven food demand and the subsequent need of a more sustainable, resource efficient and climate resilient crop production is confronting agriculture with some of the biggest challenges of the 21st century (IPCC6, 2021). Worldwide yields are affected due to drought, heat or other extreme weather events. To maintain high productivity and yield stability cropping systems need to be adapted to the projected environmental changes. One key factor in this regard is the selection of suitable genotypes. Process-based crop simulation models (CSM) simulate the whole plant-soil-atmosphere complex, and provide information on phenological development, growth and yield formation of specific crops. They can support the development and evaluation of appropriate adaptation strategies under climate change conditions. Compared to single model outputs the use of a multi-model-ensemble (MME) approach can increase simulation robustness in crop modelling (Martre *et al.*, 2015, Wallach *et al.*, 2018).

Material and Methods

To assess the Genotype × Environment × Management (G×E×M) interactions we utilize the three wheat crop models CERES, CROPSIM and NWHEAT embedded in the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) (Jones *et al.*, 2003). This allows accounting for the model-specific uncertainties in addition to the climate-related uncertainties providing a more robust evaluation of potential future wheat performance. The objective of this study is to simulate mean yield development and yield stability of a range of divergent, artificial genotypes of winter wheat (*Triticum aestivum*) using daily weather data of the 17 climate scenarios of the core ensemble of the German weather service (Deutscher Wetter Dienst, 2018). The simulations are performed for the whole 21st century and for the different Representative Concentration Pathway (RCP) trajectories of RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5. Furthermore, the selection of sites analyzed in this study aimed to cover all relevant soil-climate-regions for wheat production in Germany. With regard to the factor Management, different sowing times and sowing densities are included in the simulations. In a first step, we develop a set of representative wheat genotypes for Germany, building on cluster analysis based on the value for cultivation and use trials, a vast experimental data set of all wheat cultivars tested and approved by the Federal Plant Variety Office (Bundessortenamt) over the last twenty years.

Outlook

We identify cluster-specific characteristics for maturity, yield and protein content and on this basis develop artificial genotypes representing the various cluster groupings

with different levels of protein content, early and late maturity, as well as low and high yield. We assess various G×M combinations for various growing regions and compare simulated mid- and end-century performance for all climate scenarios. Additionally, we evaluate which genotypic characteristics x sowing management are most promising regarding climate resilient cereal production in different soil-climate-regions in Germany under climate change.

Literature

- Deutscher Wetter Dienst (DWD) (2018): Datensätze auf der Basis der RCP – Szenarien.
www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimaprojektionen/fuer_deutschland/fuer_dtld_rcp-datensatz_node.html
- IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hg. v. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou. Cambridge University Press. In Press.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K. J., Batchelor, W.D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J., Ritchie, J. T. (2003): The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 235–265.
- Martre, P., Wallach, D., Asseng, S., Ewert, F., Jones, J.W., Rotter, R. P., ... Wolf, J. (2015): Multimodel ensembles of wheat growth: Many models are better than one. *Global Change Biology*, 21(2), 911–925.
- Wallach, Daniel; Martre, Pierre; Liu, Bing; Asseng, Senthold; Ewert, Frank; Thorburn, Peter J. et al. (2018): Multimodel ensembles improve predictions of crop-environment-management interactions. In: *Global Change Biol* 24 (11), S. 5072–5083

Einfluss von winterharten Zwischenfrüchten auf die Ertragsleistung von Körnermais und Körnerhirse in Nordostdeutschland

Mosab Halwani^{1,2}, Klaus Gutzer¹ und Johann Bachinger¹

¹Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg, Germany; ²Faculty of Life Sciences, Humboldt-University of Berlin, 10115 Berlin, Germany. E-Mail: Mosab.Halwani@zalf.de

Einleitung

In Erster Linie wird der Kornertrag der nachfolgenden Kultur durch die Stickstoffversorgung bestimmt, wobei seine Wirkung durch die zunehmende ungleiche Niederschlagsverteilung stark eingeschränkt sein kann. Die Funktion des Anbaus von winterharten Zwischenfrüchten ist primär eine Stickstoffauswaschung über den Winter zu verhindern und über ein günstiges C-N Verhältnis Stickstoff für die Nachfrüchte zu liefern. Das Potenzial der N-Fixierung und N-Lieferung der Zwischenfrüchte im Hinblick auf den Futterbau fand daher bisher wenig Beachtung. Winterwicke fixiert viel Stickstoff, ist an Grenzstandorten über den Winter am besten zu etablieren und hat hohe Biomasseerträge. Mais und Sorghum bicolor gehören nicht nur zu den trocken-toleranten Ackerfrüchten, sie können auch den residualen Stickstoff der Vorfrucht am besten zu Biomasse umsetzen. 2021 wurde im Parzellenversuch am ZALF nach dem Umbruch von Mitte März von Winterwicke mit 28 % Rohprotein als Zwischenfrucht ein Kornertrag vor Körnerhirse 79 dt TM und für Mais von 59 dt TM pro Hektar geerntet. Nach Roggen als Zwischenfrucht betrug der Kornertrag 2021 bei nur 47 dt TM für Körnerhirse und 50 dt TM für Körnermais. Insbesondere auf niederschlagsarmen Standorten kann der Spätumbruch, jedoch aufgrund der hohen Bodenwasserkonkurrenz für die nachfolgende Kultur keine Vorteile in Bezug auf die Stickstofflieferung bringen und Erträge deutlich reduzieren. Ziel des Versuchs war es den Einfluss der Gründüngung unterschiedlicher Zwischenfrüchte auf Mais und Körnerhirse in Abhängigkeit des Umbruchtermins und des Aussaattermins zu untersuchen.

Material und Methoden

Die Feldversuche wurden auf Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. in Müncheberg (ZALF) auf Sandbraunerde angelegt. Der Versuchsstandort hat als Sandboden bis schwach lehmigen Sandboden ca. 25 Bodenpunkte und einen pH-Wert von 5,5. Der Standort ZALF-Müncheberg hat die niedrigste Niederschlagsmenge mit großen Schwankungen in Deutschland. 2021 fielen 521 mm Niederschlag, von März bis Mai 119 mm und von Juni bis August 192 mm. 2022 hingegen betrug die Niederschlagsmenge nur 362 mm. Von März bis Mai fielen nur 46 mm und von Juli bis August 105 mm. Der Mais wurde am 21. April und 17. Mai ausgesät, Körnerhirse nur am 17. Mai. Sonst waren folgende Varianten für Mais und Sorghum bicolor identisch:

- Zwischenfrüchte : Winterroggen (Rog), Winterwicke (Wic), Schwarzbrache (C), Schwarzbrache +100 kg N/ha (C+100)
- Zu zwei Umbruchsterminen am 14. April (ZWU 1) und 15. Mai (ZWU 2)
- Bis auf eine Variante der Wicke am 15. Mai nur Gründüngung

Ergebnisse und Diskussion

Die Kornerträge des Umbruchtermins am 15. April sind ein Spiegelbild der Niederschlagsmenge von 2022 im Vergleich zu 2021. Etwa 50 % weniger Niederschlag im

selben Zeitraum ergab 50 % weniger Ertrag. Im selben Ausmaß wie der Biomasseertrag der Zwischenfrüchte (ZWU2) durch das spätere Mulchen nach 4 Wochen zunahm, sank der Kornertrag (Tabelle 1). Die Unterschiede waren alle signifikant. Frühumbruch (ZWU1) führte zu höherem Kornertrag als Spätumbruch (ZWU2), wo das Ertragsniveau allgemein sehr niedrig war. Die mineralische Düngung führte bei Mais zu keinen signifikanten Unterschieden in den Erträgen, sowie die Daten für die Bodenfeuchte der Schicht bis 30 cm vor der Aussaat der Hauptkultur zu den unterschiedlichen Saatterminen. Bei Körnerhirse wies die Variante mit mineralischer Düngung und spätem Umbruchtermin einen signifikanten Unterschied auf. Unterschiede zwischen dem Kornertrag von Mais und Körnerhirse waren sonst keine feststellbar. Der Kornertrag von Hirse nach Winterroggen war signifikant am niedrigsten Niveau mit 8,12 dt ha⁻¹ wenn die oberirdischen Biomassen abgeführt wurden und mit 10,6 dt ha⁻¹ wenn die oberirdischen Biomassen gemulcht wurden.

Tab. 1: Ergebnisse der verschiedenen Varianten für Zwischenfrüchte und Kornertrag

Variante	Aussaat	Zwischenfrucht	Nutzung	Bodenfeuchte %	Trockenmasseaufwuchs dt ha ⁻¹	Maiskornertrag dt ha ⁻¹	Hirsekornertrag dt ha ⁻¹
ZWU1	21. April	Roggen	Gründüngung	8,0 ^b	16,1 ^{cd}	32,6 ^a	-
		Wicke	Gründüngung	9,12 ^b	21,2 ^c	39,1 ^a	-
		Schwarzbrache	-	8,59 ^b	-	31,3 ^a	-
		Schwarzbrache + 100 kg	-	8,59 ^b	-	39 ^a	-
	17. Mai	Roggen	Gründüngung	11,2 ^a	16,1 ^{cd}	37,5 ^a	26,6 ^a
		Wicke	Gründüngung	11 ^a	21,2 ^c	30,7 ^a	30,2 ^a
		Schwarzbrache	-	11 ^a	-	-	27,4 ^a
		Schwarzbrache + 100 kg N	-	11 ^a	-	-	29,2 ^a
ZWU2	17. Mai	Roggen	Gründüngung	8,81 ^b	29,6 ^b	14,4 ^b	10,6 ^c
		Wicke	Gründüngung	8,91 ^b	45,2 ^a	22,8 ^{ab}	16,2 ^b
		Roggen	Grünfütter	8,81^b	29,6^b	14,4^b	08,1^c
		Wicke	Grünfütter	8,91^b	45,2^a	11,7^b	15,9^b
		Schwarzbrache	-	8,91 ^b	12 ^d	15,3 ^b	17,4 ^b
		Schwarzbrache + 100 kg N	-	8,91 ^b	12 ^d	17,4 ^b	22,9 ^{ab}

Die Ergebnisse von Bodner et al. (2002) wurden hiermit bestätigt, dass tendenziell winterharte Zwischenfrüchten mit den höchsten Biomasseproduktion zu geringfügig niedrigeren Kornerträge in der Folgekultur resultieren und damit sie den stärksten Einfluss auf das Bodenwasser haben. Als Grund für die Reduzierung in den Erträgen wird bei Kolbe et al. (2004) den Wassermangel genannt. Weise et al. (1994) dagegen fanden in einer Studie über die Auswirkung der Winterzwischenfrüchte auf sandigen Standorten einen durchschnittlichen Ertragseffekt von 7 % auf Mais. Durch den hohen TM-Ertrag mit hohem Rohproteingehalt ist der Zwischenfruchtanbau mit Wicke für den Futterbau von großem Wert, wodurch später geringere Erträge nicht die Bedeutung erlangen. Im Pflanzenbau kann die Wicke vollwertig bei einem frühen Umbruch Mineraldünger ersetzen ohne zu hohe N-Verluste zu verursachen.

Literatur

- Bodner, G., Liebhard, P., Jud, R. (2002): Auswirkungen von Zwischenfrucht-Begrünungen auf den Ertrag der Folgefrucht und vorläufige Ergebnisse auf die Beeinflussung des Humushaushaltes.
- Kolbe, H., Schuster, M., Hänsel, M., Grünbeck, A., Schließer, I., Köhler, A. et al. (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Hg. v. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Leipzig.
- Weise, G., Pickert, J., Schuppenies, R. (1994): Praxisversuch zum Einfluß von winterharten und abfrierenden Zwischenfrüchten vor Mais im Vergleich zur Winterbrache auf die N-Dynamik im Boden und den Maisertrag, VDLUFA-Schriftenreihe 38, Kongressband 1994.

Coordination and Independence of Plastic Responses to Light and Temperature in Winter Wheat: Opportunities for Optimizing Plasticity Combinations in Breeding Programs

Mahmoud Mabrouk and Tsu-Wei Chen

Albrecht Thaer Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften/ Humboldt Universität zu Berlin, Berlin; E-Mail: mahmoud.ahmed@student.hu-berlin.de

Einleitung

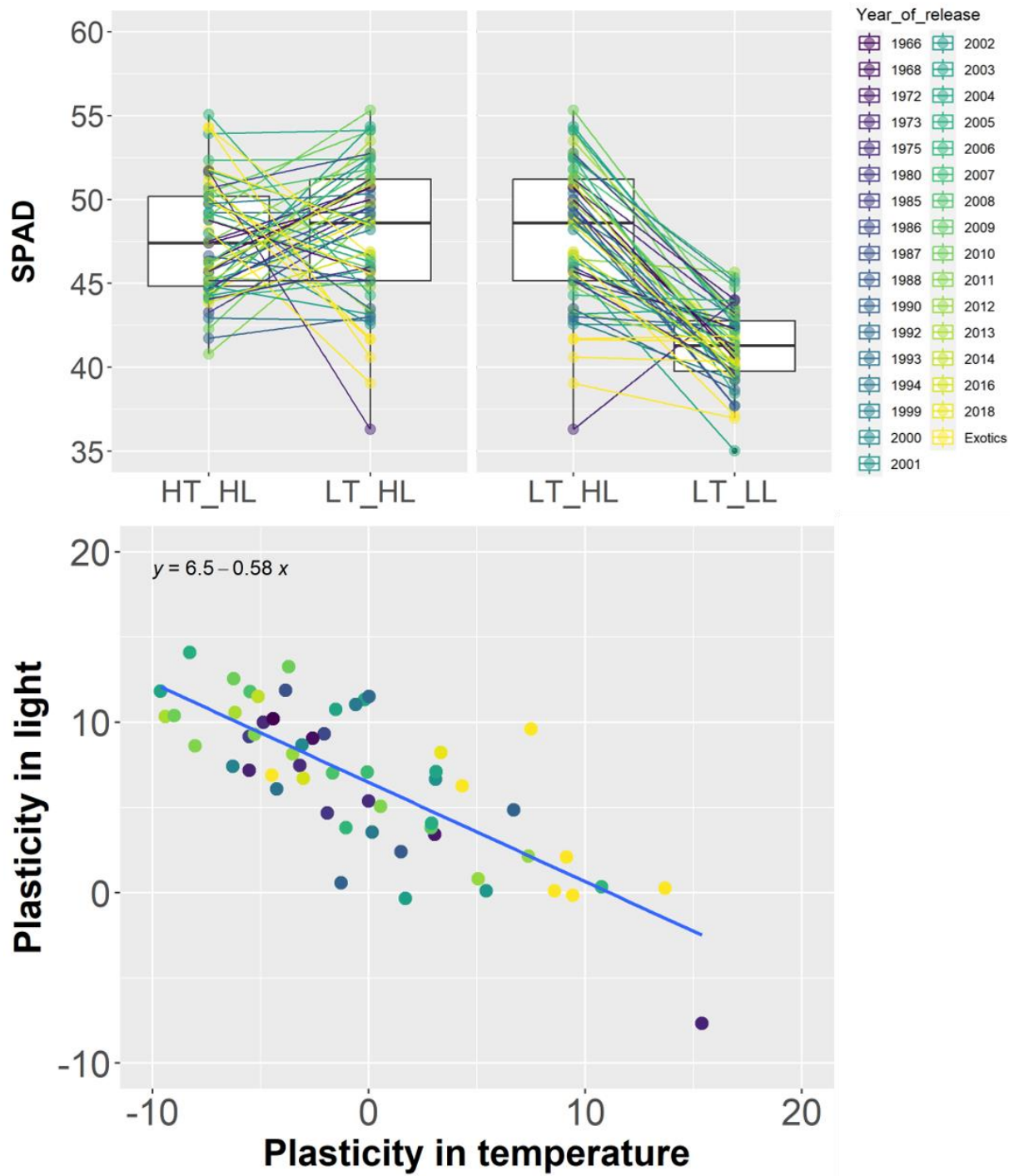
Understanding the acclimation of plants to changing environments is crucial in the context of climate change. However, the genetic variation and plasticity of plants to adapt to environmental conditions remain insufficiently explored. In this study, we investigated the phenotypic plasticity of winter wheat in response to light and temperature variations.

Material und Methoden

A panel of 50 cultivars, representing the German breeding history, and 10 exotic cultivars were selected, all with uniform heading dates. Seedlings were subjected to high and low temperature conditions (32/28°C and 16/12°C day/night temperatures, respectively) combined with high and low light intensities (550 and 75 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ photosynthetic active radiation, respectively). We measured nine plastic traits related to early vigour, including chlorophyll concentration, shoot fresh/dry weight, plant height, leaf length, width, and area, specific leaf area, and tiller number.

Ergebnisse und Diskussion

The plasticity range in response to temperature varied from 0.3% to 57% for shoot fresh weight and SPAD, respectively. Among the traits, plant height exhibited the highest plasticity to light (35%), while fresh shoot weight showed the lowest plasticity (0.3%). Notably, the plasticity of chlorophyll content showed a strong correlation between light and temperature ($R^2 = 0.6$), while other traits displayed weak or no relationship between plasticity to light and temperature (R^2 ranging from 0.00 to 0.32). Our findings suggest that the genetic controls governing plasticity to light and temperature are largely independent in the studied panel. This implies that plant breeders have the opportunity to strategically optimize plasticity combinations in breeding programs to enhance future wheat production.



Optimierung von Unkrautregulierung und Bodenschutz in Anbausystemen für Silomais: Auswirkungen auf den Ertrag

Rüdiger Graß¹, Fruzsina Schmidt¹, Peer Urbatzka², Herwart Böhm³
und Michael Wachendorf¹

¹FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen, E-Mail: rgrass@uni-kassel.de

²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau, Lange Point 12, 85354, Freising

³Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847, Westerau

Einleitung

Das Interesse am Silomaisanbau nimmt in der ökologischen Landwirtschaft (ÖL) stetig an Bedeutung zu. Aufgrund einer geringen Konkurrenzkraft von Mais während der Jugendentwicklung und des Anbaus mit weiten Reihenabständen bis zu 75 cm stellt die aufwändige Unkrautregulierung eine große Herausforderung dar. Meist ist sie mit einer intensiven Bodenbearbeitung verbunden, was vielfach das Risiko von Bodenerosion erhöht. Daher besteht Bedarf an Anbausystemen, die eine effiziente Unkrautregulierung mit einem ganzjährigen Erosionsschutz verbinden und zugleich den Maisertrag stabilisieren. Dazu wurden in den letzten Jahren unterschiedliche Anbaukonzepte (weiter-) entwickelt. In dem hier vorgestellten Vorhaben wird untersucht, wie sich präventive Ansätze in der Fruchtfolge- und Anbaugestaltung Reduzierung des Unkrautbesatzes bei verbessertem Bodenschutz auf die Erträge auswirken.

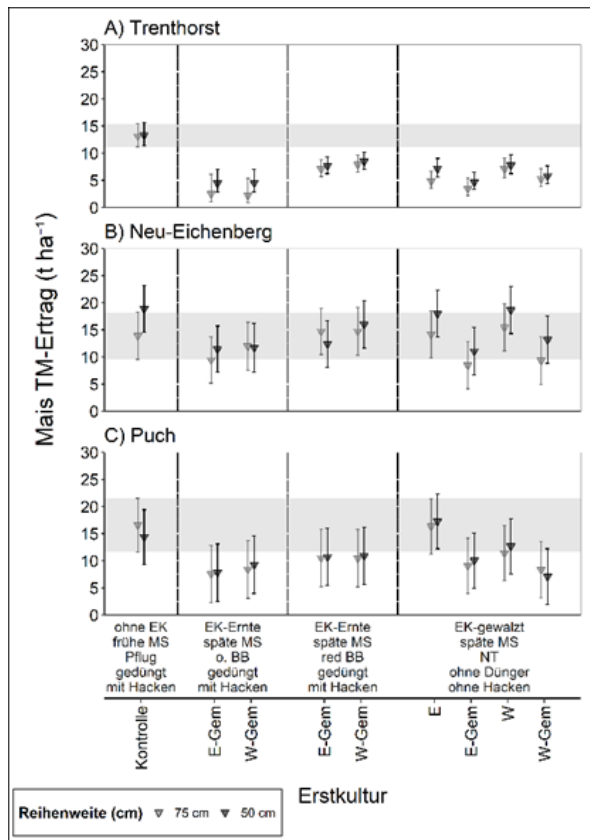
Material und Methoden

In einem Verbundvorhaben wurden an drei Standorten (Trenthorst (TRE), Schleswig-Holstein; Neu-Eichenberg (NEB), Hessen; Puch (PUC), Bayern) der beteiligten Einrichtungen in zweijährigen Feldversuchen (2019/20 und 2020/21) unterschiedliche Anbausysteme für Silomais untersucht. Neben der Kontrolle als herkömmliches Anbausystem mit Pflugfurche im Herbst wurden in Anlehnung an das Konzept von Zweikulturnutzungssystemen (ZKN) verschiedene Systeme geprüft, bei denen immer vor Mais über Winter eine winterharte Zwischenfrucht als Erstkultur (EK) angebaut wurde: Erbse und Wicke in Reinsaat oder jeweils im Gemenge mit Winterroggen (bzw. in 2019/20 Erbse mit Triticale). Diese EK wurden entweder als Ganzpflanze in der Blüte ca. Ende Mai/Anfang Juni geerntet oder mit einer Messerwalze gewalzt und zerstört, so dass sich eine geschlossene Biomasseauflage ergab. Die Maissaat erfolgte entweder in Direktsaat ohne Bodenbearbeitung (BB) oder nach einer reduzierten BB nach Ernte der EK im Gemenge ab Ende Mai. Außerdem wurde der Mais bei allen Varianten mit dem praxisüblichen Reihenabstand von 75 cm und einem verringerten Reihenabstand von 50 cm angebaut. Der Mais wurde sowohl in den Kontrollvarianten als auch nach Gemengeanbau mit ca. 80 bzw. 50 kg N ha⁻¹ über Gülle gedüngt. Nach gewalzter EK wurde keine mechanische Unkrautregulierung durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Erträge an den drei Standorten lagen aufgrund unterschiedlicher Böden und klimatischer Bedingungen auf unterschiedlichem Niveau. Signifikanzen zwischen den Varianten wurden mittels Kontrasten geprüft, die aus Platzgründen hier nicht

dargestellt werden, aber wie auch weitere Ergebnisse in Schmidt et al. (2022) dokumentiert sind.



- Maiserträge in NEB und z.T. in Puch nach gewalzten Leguminosen ohne N-Düngung gleich hoch wie bei Kontrolle mit 50-80 kg N
- reduzierte Bodenbearbeitung (BB) nach EK-Ernte führt zu etwas höheren Maiserträgen als ohne BB
- verringerte Reihenweite führt zu keinen einheitlichen Ertragsveränderungen
- TM-Gehalte bei Alternativvarianten z.T. deutlich niedriger als bei Kontrolle; Auswirkung der Spätsaat, daher Bedeutung der Sortenwahl für TM-Gehalte
- Biomasseerträge der geernteten Erstkulturen im Gemenge bei 5-10 t TM ha⁻¹; diese müssen Gesamtertrag je Jahr zu den Maiserträgen addiert werden: 15-25 t TM je ha und Jahr.

Abb. 1: Silomaisserträge unterschiedlicher Anbausysteme mit Anbau winterharter legumer Erstkulturen (EK) in Reinsaat (E=Erbsen, W=Wicke) oder im Gemenge mit Getreide, unterschiedlichen Terminen der Maissaat (MS) und verschiedener Bodenbearbeitung (BB) (o=ohne, red=reduziert, NT = no-till) sowie der Kontrolle. Mittelwerte der Jahre 2020 und 2021.

Die Reduzierung der Bodenbearbeitung zu Silomais bis hin zur Direktsaat kann auch im ÖL zu hohen Biomasseerträgen bei verbessertem Bodenschutz und reduziertem Unkrautdruck führen. Allerdings bedingt dies erhöhte Managementanforderungen.

Dieses Projekt wurde durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogrammes Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft gefördert (FKZ 2815OE128, 2815OE093, 2815OE129).

Literatur

Schmidt, F., Böhm, H., Piepho, H.-P., Wachendorf, M., Graß, R., 2022: Management Effects on the Performance of Double Cropping Systems - Results from a Multi-Site Experiment. *Agronomy*, 12, 2104. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092104>

Reaction variability of the spike yield components to light fluctuations during defined developmental sub-phases in winter wheat

Khadija Sabir¹, Tsu-Wei Chen² and Hartmut Stützel¹

¹Institute of Horticultural Production Systems, Leibniz University Hannover, Hannover, Germany;

²Albrecht Daniel Thaer Institut of Agricultural and Horticultural Science, Humboldt University Berlin.

E-Mail: sabir@gem.uni-hannover.de

Introduction

Plant exposure to variations in environmental variables during critical growing periods can have significant detrimental effects on final grain yield because specific developmental stages are associated with the determination of yield components in winter wheat. Associations between sub-phase durations and grain yield have been reported: for example, overlaps of QTLs have been detected between pre-anthesis sub-phases and kernels per spike (KpS) (Guo *et al.*, 2018). Competition for assimilates between stem and spike during stem elongation phase is critical for KpS (González *et al.*, 2011) as >70% of floret abortion occurs when the spike grows at its maximum rate (Guo and Schnurbusch, 2015; Guo *et al.*, 2016). An increase in assimilate availability for spike and stem growth on the main shoot may divert more resources towards spike growth which ultimately can reduce floral death and grain abortion. Therefore, the effects of assimilate production and availability during critical physiological sub-phases of spike development in relation to their underlying environmental variables (mainly light) on KpS need to be investigated systematically. With light intensity as a central environmental variable determining growth, we attempted to better understand the specific interactions between light fluctuations and phenology in determining KpS and to decipher genotypic sensitivity to light variability during specific periods of development in winter wheat.

Material and Methods

Sixteen winter wheat genotypes were selected for this experiment based on their responses to light fluctuations during the two periods, yellow anther to tipping (YA-TP, pre-anthesis) and pre grain filling to beginning of grain filling (PGF–GF, post-anthesis), sensitive for kernel number per spike (Sabir *et al.*, unpublished). Treatments comprised high and low light levels during each of these phases. The experimental design was a split-plot design with light in main plot and genotypes in sub-plot and two replications. Upon reaching “Green anther” plants were exposed to five light treatments. All sub-phases were detected and recorded for individual genotypes.

Main spike yield traits i.e. the total spikelet number, number of florets per spike, grain number per spike, abortion rate and other plant traits i.e. spikes per plant, grain weight of tillers (g), thousand kernel weight (g) and dry biomass (g plant⁻¹) of 10 plants per genotype per treatment per replication at harvest were counted and the number of days to reach each sub-phase for each genotype were recorded. All analyses were performed in the *R* environment (R Core Team, 2014).

Results and Discussion

Pre-anthesis sub-phases were identified as more sensitive developmental periods for KpS to light fluctuations as compared to post-anthesis. For example, a significant

negative effect of low light during pre-anthesis was found on total florets and total kernels number and total kernels weight per main spike and a significantly higher abortion rate in main spikes of plants under low light during pre-anthesis was observed. Additionally, no treatment effect was observed on total spikelets per main spike and total spikes per plant.

References

- González, FG, Miralles, DJ, Slafer, GA. 2011. Wheat floret survival as related to pre-anthesis spike growth. *Journal of Experimental Botany* 62, 4889–4901.
- Guo, Z, Chen, D, Röder, MS, Ganai, MW, Schnurbusch, T. 2018. Genetic dissection of pre-anthesis sub-phase durations during the reproductive spike development of wheat. *The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology* 95, 909–918.
- Guo, Z, Schnurbusch, T. 2015. Variation of floret fertility in hexaploid wheat revealed by tiller removal. *Journal of Experimental Botany* 66, 5945–5958.
- Guo, Z, Slafer, GA, Schnurbusch, T. 2016. Genotypic variation in spike fertility traits and ovary size as determinants of floret and grain survival rate in wheat. *Journal of Experimental Botany* 67, 4221–4230.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

A Regional Drought Early Warning System

Baatz, R., Krugmann, C., Wold, O., Berg-Mohnicke, M. and Nendel, C.

Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, Müncheberg, Germany;
E-Mail: roland.baatz@zalf.de

Introduction

Accurate forecasting of crop yields is of utmost importance for optimizing resource allocation, maximizing economic benefits, minimizing losses through effective management, and ensuring food security. Recognizing these pressing needs, the Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), in collaboration with the German Meteorological Service (DWD), has undertaken an innovative initiative as part of the Spreewasser:N project. The objective is to develop an advanced drought early warning system that offers precise predictions of potential impacts on agricultural yields, particularly under drought conditions.

Material and Methods

The drought early warning system consists of two main components. The first component is a user-friendly web interface that visually presents soil and plant conditions for various crop species, providing users with crucial insights into potential yield outcomes. This web interface offers data at multiple scales, ranging from comprehensive national drought maps to detailed field-level data. Moreover, the interface enables users to input location-specific parameters and irrigation options, thereby facilitating personalized soil moisture forecasts and irrigation recommendations at the field scale.

The second component is the computational agro-ecosystem model MONICA. This model, developed, tested, and applied at ZALF, computes the states of soils and vegetation to determine drought indicators. These indicators are subsequently processed at both field and large-area scales.

The system utilizes weather data from DWD, including its daily 7.5-day and monthly 6-month seasonal forecasts, to perform simulations. These simulations are conducted on a 2km x 2km grid that covers the entirety of Germany, producing soil moisture maps and drought indicators for each calculated day. Additionally, the simulations consider irrigation options in individual field-specific calculations, providing not only soil moisture and drought indicators but also irrigation recommendations for the next 7.5 days.

The backend of the website (Figure 1) is constructed using Docker's virtualization environment and the GeoDjango web framework connected to a PostGIS database. The computation of large-scale data across Germany is performed on ZALF's High-Performance Cluster (HPC). Furthermore, a Thematic Real-time Environmental Distributed Data Services (THREDDS) data server has been implemented to facilitate efficient access and visualization of simulation results.

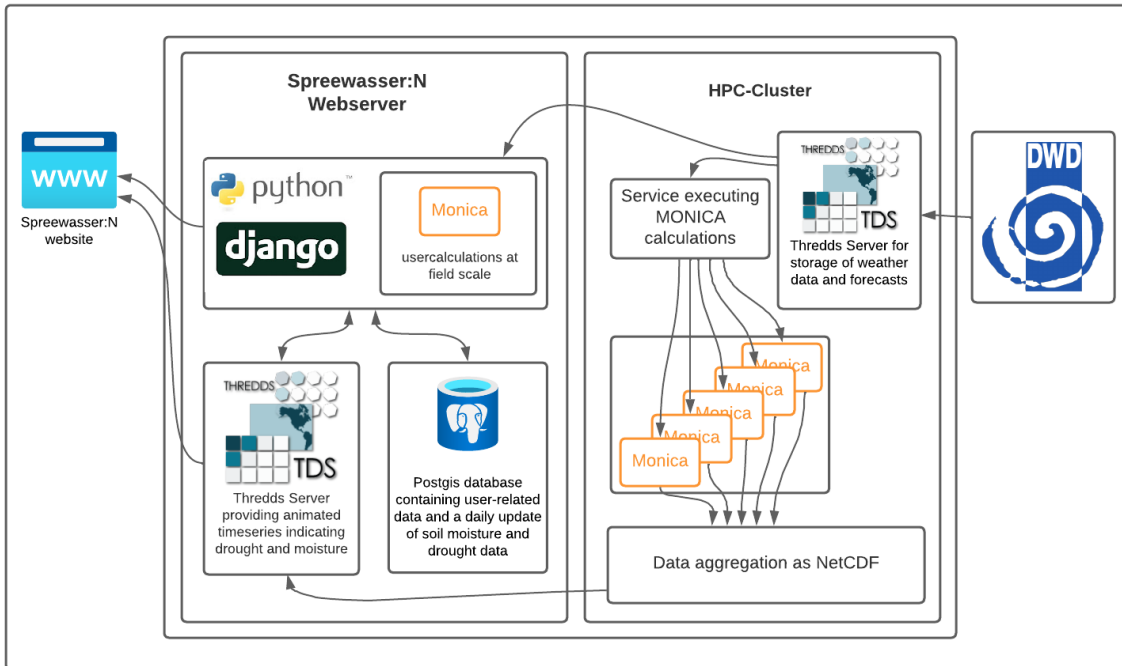


Figure 1: Back-end of the Regional Drought Early Warning System.

Results and Discussion

The drought early warning system developed under the Spreewasser:N project serves two primary user groups: Farmers, who can utilize the data to plan their farm management strategies, and authorities, who will receive information about critical near-future drought conditions and anticipated short-term pressures on water resource provisioning. By forecasting droughts, potential yield outcomes, and incorporating forecast uncertainties, this innovative approach empowers stakeholders to make well-informed decisions and proactively implement measures to mitigate the impacts of drought.

In conclusion, the Spreewasser:N project's pioneering approach combines user-friendly visualization with comprehensive agricultural and meteorological data, resulting in significant advancements in crop yield prediction and drought management. This work highlights the potential of technology and data-driven strategies in addressing the urgent challenges faced in agriculture and enhancing climate resilience.

Site conditions determine yield effects of heat and drought stress in wheat and rye

Ludwig Riedesel¹, Markus Möller², Hans-Peter Piepho³, Dirk Rentel⁴,
Carolin Lichthardt⁴, Burkhard Golla¹, Timo Kautz⁵ und Til Feike¹

¹Julius-Kühn Institut, Kleinmachnow; ²Julius-Kühn Institut, Braunschweig; ³Universität Hohenheim, Hohenheim; ⁴Bundessortenamt, Hannover, ⁵Humboldt Universität, Berlin.
E-Mail: ludwig.riedesel@julius-kuehn.de

Introduction

Crop yields are influenced by genetics (G), management factors (M), and local environmental conditions (E). In the course of climate change, we observe an increase in heat and drought stress, affecting yields and their variability. High temperatures impede photosynthesis and fertilization, while drought stress disrupts nutrient uptake, photosynthesis, leaf expansion, and stem elongation. These conditions are often mutually reinforcing, causing more severe yield losses. Winter wheat (*Triticum aestivum*) and winter rye (*Secale cereale*), relevant cereal crops in many world regions, exhibit different responses to these stresses due to genetic differences and plant physiological reactions. Despite their significance, knowledge gaps remain about site-specific impacts of adverse weather on these crops. Improving our understanding of these impacts is crucial for climate change adaptation including crop management as well as plant breeding and selection for heat and drought stress tolerance. We analyze a high-resolution and multi-environment dataset, considering G, E, and M-specific variables to assess and quantify the local weather effects on crop yields. We use a comprehensive Germany-wide variety trial dataset to study the site-specific effects of single and combined heat and drought stress on wheat and rye from 1995 to 2019. Our study aims to (1) describe the trend development of heat and drought WIs over the last 25 years in Germany; (2) analyze the explanatory power of single and combined heat and drought WIs in wheat and rye; (3) identify and compare the effect size of combined heat and drought WIs on specific site clusters; and (4) assess the genetic development towards stress tolerance of released varieties.

Material und Methods

For our study design, we first (1) collect yield data of wheat and rye varieties from variety trials that were kindly provided by the Bundessortenamt. Further, we collect gridded weather and soil moisture data provided by the German Weather Service (DWD), and phenological data from the model PHASE. In the second step (2), we use the gridded phenological data and form various observation periods in the vegetative and generative phase. We blend the observation periods with the weather data and count the number of days above moderate, severe and extreme thresholds, which were defined based on literature. Hence, we obtain site-specific heat and drought WIs at moderate, severe, and extreme intensities during the vegetative and generative growing seasons for the period 1995 to 2019. In the third step (3), we stamp out 1x1 km grids corresponding to the coordinates of the variety trial locations and match the gridded WI with the yield data from each variety trial. (4) We statistically analyze the resulting data using a mixed model approach. We use the variance reduction (i.e., explanatory power) after Piepho (2019) as an indicator to identify WIs that best explain crop yields. Furthermore, we form site-specific clusters

using the median of the yearly precipitation sum, soil quality, soil type, altitude, yearly mean temperature of all the variety trial locations. We model these clusters with the WIs to identify their site-specific effect size on wheat and rye yield. Lastly we model the interaction of the first year a variety was introduced into the variety testing (FYT; genetic variable) and the WIs to evaluate the development in absolute stress tolerance from old to modern varieties.

Results and Discussion

Between 1995 and 2019, our results show that the frequency of heat and drought days increased during wheat and rye's vegetative (only drought) and generative phases (i.e., increased direct stress), slowing down the vegetative development and accelerating the reproductive phases (indicating increased indirect stress).

Our study reveals significant variance reduction due to moderate heat stress during the generative phase in both crops, being twice as high in rye as in wheat. Drought stress impact differed between the crops, with rye being more affected than wheat due to our dataset's uniform and mainly good wheat sites. Furthermore, we find comparably high variance reductions for combined heat and drought stress in both crops, which is in line with previous studies highlighting the relevance of these compound effects regarding yield formation.

Regarding site-specific yield losses, our results show a clear pattern, especially for the annual precipitation, soil quality and soil type clusters: poorer site conditions amplify the negative yield effects of heat and drought stress across all intensities. Heat and drought stress-induced yield losses on sites with good conditions are about two to three times smaller and mostly insignificant. Rye, despite its renowned stress tolerance, suffered more yield losses due to its typically worse site conditions, suggesting that site effects might overshadow genetic stress resilience.

Newer crop varieties showed increased susceptibility to heat and drought stress, leading to higher absolute yield losses. This is in agreement with previous studies, which report a trade-off between abiotic stress tolerance and mean yield in wheat. Looking at relative yield losses, especially in rye, the trend is not significant. This may be explained by (1) a higher number of grains as well as larger grains being proportionally more damaged and (2) high yielding varieties suffering proportionally more, due to the higher water demand compared to older lower yielding varieties.

In accordance with existing literature, our findings highlight that the ongoing efforts to improve tolerance to heat and drought stress through breeding have not yet yielded the hoped-for progress. Therefore, we emphasize the importance of incorporating site-specific considerations more effectively in agricultural strategies and breeding programs to strengthen crop resilience against climate change. Our research helps understand the interaction between climate change, local environments, crop yields, supporting future breeding efforts and food security amidst climate change.

Literature

Piepho HP. A coefficient of determination (R^2) for generalized linear mixed models. *Biometrical journal Biometrische Zeitschrift*. 2019;61(4):860–872. doi:10.1002/bimj.20180027

Der Effekt von Residuen-Management auf N-Verluste in Winterkulturen während der Auswaschungsperiode und nach Frühjahrstrockenheit

Steffen Rothardt und Henning Kage

Institut für Pflanzenbau- und Pflanzenzüchtung, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; E-Mail: rothardt@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Hohe Restgehalte an mineralischem Stickstoff (N_{\min}) im Boden und die in feuchten Klimaten günstigen Mineralisationsbedingungen führen zu einem hohen N-Angebot im Herbst und Winter (Sieling and Kage, 2006). Die Kombination mit einer geringen N-Aufnahme durch die Folgefrucht oder sogar einer Bracheperiode resultiert in einem hohen Risiko für N-Verluste durch direkte Treibhausgasemissionen und Nitrat-Auswaschung in angrenzende Gewässer. Eine typische Fruchtfolge, die diese Faktoren aufweist, ist Winterraps gefolgt von Winterweizen.

Dürreperioden zum Beginn der Vegetationsperiode können die N-Aufnahme durch Nutzpflanzen verringern. Kann dies bei der Düngung nicht berücksichtigt werden, übersteigt das N-Angebot nach der Dürre möglicherweise die verbleibende potentielle N-Aufnahme bis zur Abreife. Dies führt erneut zu hohe Rest- N_{\min} -Gehalte nach der Ernte.

In früheren Studien (Rothardt et al., 2021; Rothardt and Kage, 2023) haben wir gezeigt, dass die Einarbeitung der Erntereste von Winterraps mikrobielle N-Immobilisation induziert, wodurch die Netto-Mineralisation und damit der N_{\min} -Gehalt im Herbst reduziert werden. Dieser Effekt konnte mit Weizenstroh an Stelle der Rapsrückstände gesteigert werden. Negative Ertragseffekte sowie die modellierte Netto-Mineralisation implizieren, dass der Abbau des N-armen Getreidestrohs und damit die N-Immobilisation bis in die Vegetationsperiode anhalten. Dies könnte auch die erhöhte N-Verfügbarkeit nach Frühjahrstrockenheit reduzieren und somit einen weiteren Faktor für potentielle N-Verluste minimieren.

Material und Methoden

Auf dem Versuchsgut Hohenschulen bei Kiel wurden in den Jahren 2021/22 und 2022/23 Feldversuche durchgeführt, die sowohl 3 Optionen des Residuen-Managements (mit Rapsresiduen, mit Weizenstroh und ohne Residuen) als auch 2 Szenarien unterschiedlicher Niederschlagsregime in der Vegetationsperiode (simulierte Trockenheit durch Überdachung und optimale Wasserversorgung durch Bewässerung) umfassten. Untersucht wurden die N_{\min} -Dynamik, der Verlauf der Bodenfeuchte, drohnengestützt die Vegetationsentwicklung sowie diverse Ernteparameter. Durch die Simulation des Versuchs mit einem Prozessmodell wurden u.a. die N-Mineralisation und Nitrat-Auswaschung quantifiziert. Durch diese Kombination von Feldmessungen und Modellierung konnten detaillierte Einblicke in die Prozesse gewonnen werden, die im agronomischen Kontext relevant sind.

Ergebnisse und Diskussion

Der Anstieg des N_{\min} -Gehalts im Herbst wurde durch die Einarbeitung von Weizenstroh im Vergleich zu den beiden anderen Varianten deutlich gebremst.

Infolgedessen war auch die modellierte N-Auswaschung mit Weizenstroh geringer als mit den Vorfruchtresiduen.

Aufgrund der nicht-limitierten N-Aufnahme war der TM-Kornertrag in der bewässerten Variante im Durchschnitt 20 dt ha⁻¹ höher als im Dürre-Szenario. Entsprechend lag auch der durchschnittliche N_{min}-Gehalt in 0-30 cm nach der Frühjahrstrockenheit deutlich höher (+19 kg N ha⁻¹). Getrennt nach den beiden Feuchtigkeitsniveaus ließ sich jedoch kein Ertrags-Effekt des Residuen-Managements statistisch absichern (Abb. 1A).

Bei der Betrachtung der Nachernte-Behandlungen auf den Dürreparzellen war der N_{min}-Gehalt in 0–30 cm mit Weizenstroh durchschnittlich 26 kg N ha⁻¹ niedriger als mit den Ernterückständen der Vorfrucht (Abb. 1B). Dies impliziert, dass die andauernde Zersetzung des Weizenstrohs nach dem Ende der Dürre überschüssigen N immobilisiert hat. Im Gegensatz dazu waren die Raps-Rückstände bereits soweit mineralisiert, dass der zusätzlich freigesetzte N zu höheren N_{min}-Gehalten führte als auf Parzellen ohne eingearbeitete organische Substanz.

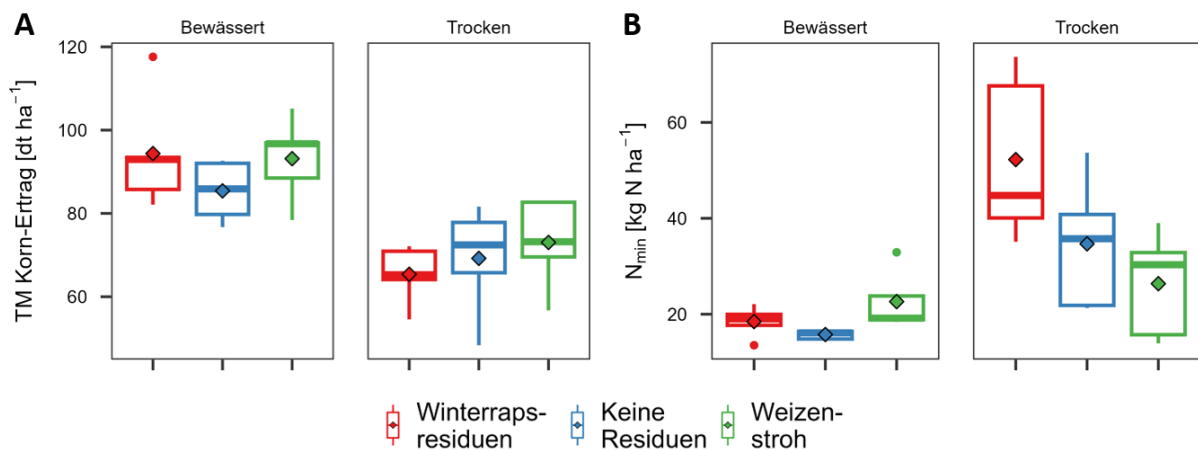


Abb. 1: A) Trockenmasse Kornertrag von Winterweizen 2022, B) Nach-Ernte-N_{min}-Gehalt in 0-30 cm (2022). Rauten repräsentieren das arithmetische Mittel.

Durch die Einarbeitung von Weizenstroh induzierte mikrobielle Immobilisation puffert somit nicht nur die Netto-Mineralisation im Herbst, sondern ist auch im Stande überschüssiges N in Zeiten reduzierter N-Aufnahme zurückzuhalten.

Literatur

Rothardt, S., R. Fuß, I. Pahlmann, and H. Kage. 2021. Post-Harvest N₂O Emissions Can Be Mitigated With Organic Amendments. *Front. Environ. Sci.* doi: 10.3389/fenvs.2021.712013.

Rothardt, S., and H. Kage. 2023. Model-based assessment of biomass incorporation to mitigate nitrogen losses from arable fields in Central Europe. *Frontiers in Agronomy* 5. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fagro.2023.1155187> (accessed 23 May 2023).

Sieling, K., and H. Kage. 2006. N balance as an indicator of N leaching in an oilseed rape - winter wheat - winter barley rotation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 115(1–4): 261–269. doi: 10.1016/j.agee.2006.01.011.

Comparison of simulated crop model-based soil water with soil water sensor measurements – impact of “correct” soil water parametrization on biomass simulation in winter wheat

Memic E., Trenz J., Heshmati S. and Graeff S.

Agronomy/University of Hohenheim, Stuttgart; E-Mail: emir.memic@uni-hohenheim.de

Introduction

Due to increased volatility of weather events in recent years rainfed agricultural production, as a major user of available water, found itself under great pressure. Commonly costly experiments are conducted to investigate agronomically more meaningful crop management strategies, but due to time and cost constraints in-silico alternatives such as Decision Support Tools for Agrotechnology Transfer (DSSAT) have been used for investigating management strategies under different conditions (Hoogenboom et al. 2021). To use crop growth models in practice, as decision support tools, they must be properly parametrized and evaluated. If the crop model parametrization is “inaccurate” practical application of specific crop management practices such as fertilizer recommendations will fall short. A fully/accurately parametrized crop model is expected to accurately reflect water stress and biomass accumulation with respect to different crop management practices. Crop model soil water holding limits (lower limit, upper limit, and saturation rate), which are crucial for accurate parametrization of in-season soil water dynamics and nutrient transfer are commonly estimated via pedo-transfer function approach based on soil texture, over multiple depths depending on defined soil layer thickness. The objective of this study was to evaluate simulated water balance with sensor measurements and improve crop growth model parameterization based on sensor measurements.

Materials and Methods

One season (2019/20) of winter wheat data used in this short conference paper were collected within DiWenkla sub-project nine (TP9). Entire DiWenkla TP9 data consist of multiple field locations in Baden-Württemberg which are still being collected and evaluated. In this case study crop model simulated in-season soil water was compared to soil water sensor measurements. Soil water sensors were installed at two different depths (10-15 and 20-25cm approximately). Crop model input files were created based on weather data collected at research station (including temp min/max, precipitation, and solar radiation), soil sample data (soil texture) and in-season above-ground biomass sample cuts.

Results and Discussion

Preliminary results indicated that there is indeed a difference between simulated and measured in-season soil water. With our newly developed DSSAT crop model-based Soil Profile Optimization (SPO) tool (which is currently under revision in Precision Agriculture journal) soil water holding limit parameter was adjusted to reflect the soil water sensor measurements. Crop model soil water content in layer 2 and 3 were optimized (modified) to reflect (accommodate) measurements. In Figure 1 time-series water content data for two soil layers with crop model simulation curves are shown as Baseline (left, before optimization) and Optimized (right, after optimization). The SPO tool is based on already published Time-Series based cultivar coefficient Estimator

(TSE, Memic et al. 2021), where it was shown that this methodology can be successfully used for error minimization between simulated and measured time-series data in the process of crop model input parameter adjustment. As it can be seen in Figure 1 (visual fit) and Table 1 (statistics) the optimization led to better fit between simulated and measured soil water content of two layers on average.

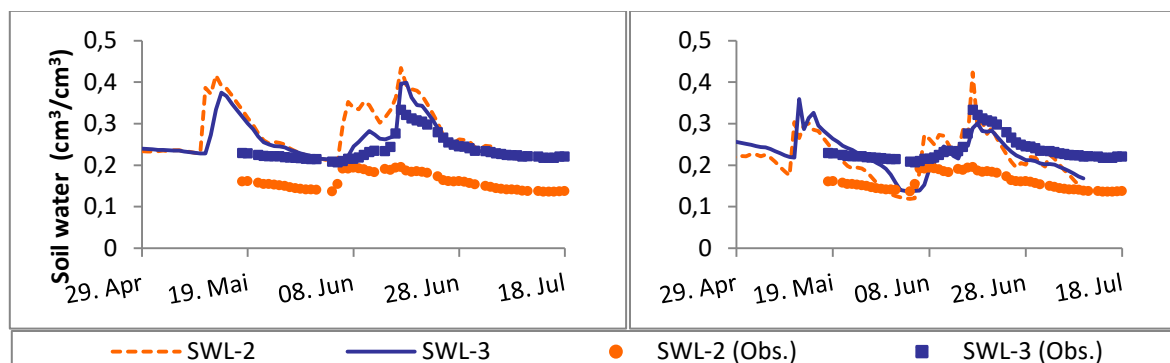


Figure 1 Soil water content per layer (SWL). SWL-2 corresponds to 10-15cm and SWL-3 to 20-25cm sensor measurements, with Baseline (left) and Optimized (right).

Table 1 Statistics (RMSE and n-RMSE) for Baseline and Optimized. Optimized refers to the SPO approach-based error minimization between simulated and observed.

Scenarios	Baseline		Optimized		#Obs.
	RMSE	n-RMSE	RMSE	n-RMSE	
SWL-2	0.12	0.751	0.06	0.384	64
SWL-3	0.03	0.121	0.04	0.165	64
Avg.	0.075	0.436	0.05	0.275	

SWL - soil water layer, #Obs. – number of in-season observations, RMSE (kg ha^{-1})

The Baseline LAI and canopy weight n-RMSE was 0.387 and 0.064 and after soil water optimization they were 0.677 and 0.243, respectively based on three in-season observations each. The Baseline grain weight n-RMSE was a bit improved (from Baseline 0.162 to Optimized 0.154).

Re-parameterization of the crop model soil water inputs based on measurement led to important changes in simulated biomass output values and emphasized the importance of “correct” crop mode inputs parametrization.

Acknowledgement

The project DiWenkLa (Digital Value Chains for a Sustainable Small-Scale Agriculture) is supported by funds of the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) based on a decision of the Parliament of the Federal Republic of Germany. The Federal Office for Agriculture and Food (BLE) provides coordinating support for digitalization in agriculture as funding organization, grant number 28DE106A18. It is also supported by the Ministry for Food, Rural Areas and Consumer Protection Baden-Württemberg.

Literature

Hoogenboom, G., C.H. Porter, V. Shelia, K.J. Boote, U. Singh, J.W. White et al. (2021). Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.8 (DSSAT.net). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.

Memic, E., Graeff, S., Boote, K. J., Hensel, O., & Hoogenboom, G. (2021). Cultivar coefficient estimator for the cropping systems model based on time-series data: A case study for soybean. *Transactions of the ASABE*, 64(4), 1391–1402.

Heat emission from high voltage direct current (HVDC) underground cables affects crop plants – results from 4 growth phases (GP)

Ken Uhlig, Jan Rücknagel and Janna Macholdt

Institute of Agricultural and Nutritional Sciences, Department of Agronomy and Organic Farming, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Halle (Saale). E-Mail: Ken.Uhlig@landw.uni-halle.de

Background

Renewable energy produced in northern Germany is mainly consumed in southern Germany. Due to local protests of citizens regarding environmental concerns, visual disruption, expected economic losses e.g., underground cables are increasingly demanded for the transport (Mueller et al., 2019; Neukirch, 2020). The German Federal Network Agency (BNetzA) labeled almost 4.300 km new power line projects as underground cables (BNetzA, 2022). However, only little is known about the effect of long-term heat emission from a HVDC underground cable on root growth, plant development and yield.

Material and Methodes

The experiment was conducted under controlled climate conditions in the greenhouse. The study was designed as a three-factor experiment with treatment, precipitation and soil as factors and two replications. In the last growth phase (GP4) precipitation was omitted and the design changed to three factors with treatment, crop (lucerne or barley) and soil. 24 Heated soil-Monoliths (HAL-M) with a diameter of about 65 cm and a height of 156 cm were constructed. Natural top- and subsoils extracted on two different sites along the planned HVDC line SuedOstLink were installed taking the typical dry bulk density into account. Topsoil of LOESS consisted of silt (10 % sand, 7 % clay), the subsoil of silt loam (10% Sand, 12 % Clay) and SAND of loam (35% Sand, 23% Clay) and sand (92 % Sand, 5 % Clay). The planting area of each HAL-M was 0.177 m². One half of the HAL-Ms were heated (50°C) on the bottom to simulate the heat emission (HEAT) the other half served as control (CTRL). Furthermore, three different annual precipitations (RAIN) were simulated with 407 (DRY), 527 (MID) and 678 mm (WET) years. A crop rotation consisting of spring barley GP1 (*Hordeum vulgare*), sugar beets GP2 (*Beta vulgaris*), spring wheat GP3 (*Triticum aestivum*) and lucerne GP4 (*Medicago sativa*) / spring barley was cultivated. During the trial water content and temperature of the HAL-Ms were constantly measured in three depths. Root intensity for each HAL-M was calculated in a range of 22-53 and 71-101 cm below ground. Dry weight of the crop yields was determined by 60°C for 48 h. The data was statistically analyzed with a two-way-ANOVA for each soil type separately (HEAT*RAIN).

Results and Discussion

The average temperatures under HEAT for the whole growth phases in 30, 70 and 110 cm soil depth was 3.2, 7.8 and 18.0°C higher than under CTRL. The soil type had a minor effect on the temperature (1-2°C). HEAT decreased significantly the yield on SAND in GP1 (**Fig.1, A**) and GP4 (**Fig.1, D & E**) probable due reduced root intensity. Significantly lower root intensity in GP1 under HEAT led in the end of GP1 to a higher soil water content which was used by the following sugar beet and resulted in higher yield on LOESS (**Fig.1, B**). Despite root intensity was not

significantly lower under HEAT in GP4, higher soil water content for spring barley was indicating lower water use as in GP1, but not for lucerne. In general, the results suggest a higher impact of HEAT on root growth, yield and soil water use for the cultivated cereals in our crop rotation. Precipitation had a significant impact in GP1, GP2 and GP3 (**Fig.1, A, B & C**) but without interaction to HEAT. **Fig.1, F** shows mean yields under HEAT compared to CTRL. For our rather conservative (worst-case) setup with a focus on a small area directly above the underground cable yield losses from 6-38% were observed. Heat emission related yield losses under field conditions will depend on the capacity and workload of underground cables.

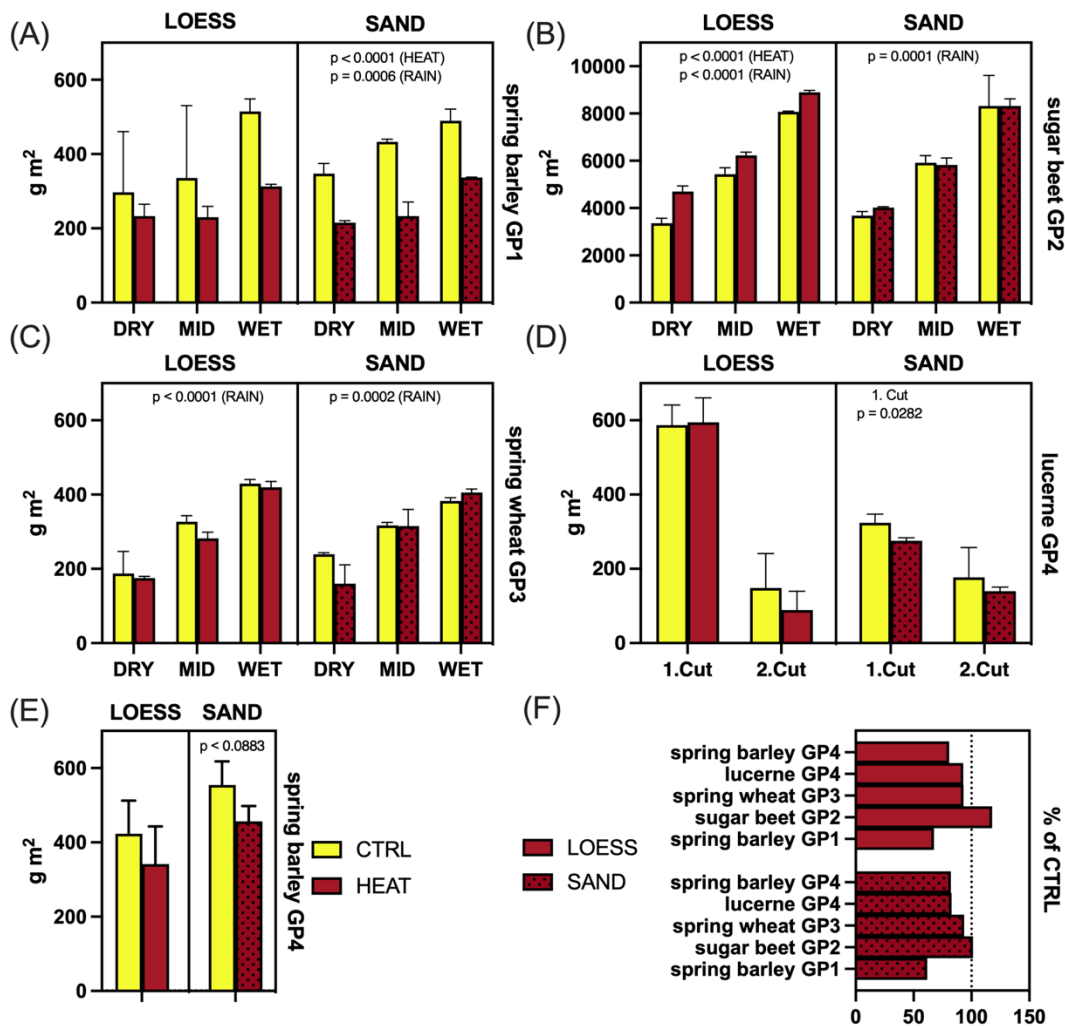


Figure 1: (A) dry grain yield for spring barley GP1, (B) fresh sugar beet root yield for GP4, (C) dry grain yield for spring wheat GP3, (D) dry weight of the above biomass for lucerne GP4, (E) dry grain yield for spring barley GP4 and (F) relative yield of crops GP1-GP4 under HEAT compared to CTRL (mean regardless precipitation).

Literatur

BNetzA, 2022. Monitoring des Stromnetzausbaus - Viertes Quartal 2022. www.netzausbau.de

Mueller, C.E., Keil, S.I., Bauer, C., 2019. Underground cables vs. overhead lines: Quasi-experimental evidence for the effects on public risk expectations, attitudes, and protest behavior. *Energy Policy* 125, 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.053>

Neukirch, M., 2020. Grinding the grid: Contextualizing protest networks against energy transmission projects in Southern Germany. *Energy Research & Social Science* 69, 101585. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101585>

Kalibrierung eines Rising-Plate-Meters zur Ertragsschätzung in Nordwestdeutschland unter Praxisbedingungen

Kilian Obermeyer^{1,2} und Manfred Kayser^{1,2}

¹Geolabor, Universität Vechta, Vechta ²Graslandwissenschaften, Universität Göttingen, Göttingen.
E-Mail: obermeyerkilian@gmail.com

Einleitung

Professionelle Weideführung erfordert eine präzise Schätzung des Futterangebots. Dies ermöglicht eine genaue Zuteilung des Weidefutters, was eine Grundlage für eine tier- und leistungsgerechte Versorgung von weidenden Rindern darstellt. Das Rising-Plate-Meter (RPM) stellt eine etablierte Möglichkeit der Messung des komprimierten Weideaufwuchses (compressed sward height; CSH) dar. Aus der CSH kann mit Regression der Trockensubstanzertrag (TS-Ertrag) geschätzt werden. Diese Regression ist von unterschiedlichen Grasnarbeneigenschaften abhängig. Dadurch existieren unterschiedliche Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis, hauptsächlich aus „Weideländern“ wie Irland. Im Folgenden soll eine Formel für den Einsatz in den nordwestlichen Grünlandregionen Deutschlands vorgestellt werden.

Material und Methoden

Während der Weidesaison 2021 wurden auf neun landwirtschaftlichen Betrieben in Niedersachsen und Nordrheinwestfalen an fünf bis sechs Terminen insgesamt n=990 Kalibrationsschnitte durchgeführt. Die Aufwuchshöhe wurde an den ausgewählten Stellen mit dem RPM (Jenquip EC20 Fielding, New Zealand) innerhalb eines quadratischen Rahmens gemessen. Anschließend wurden die botanische Zusammensetzung mittels Dry-Weight-Ranking sowie der Lückenanteil durch visuelle Erfassung geschätzt. Diese Schätzungen wurden anschließend in die zwei botanischen Klassen gräserreich ($\geq 70\%$ Gräser) oder ausgeglichen und leguminösen-/kräuterreich ($< 70\%$ Gräser) sowie die zwei Bestandsdichten dicht ($\leq 15\%$ Lückenanteil) oder lückig ($> 15\%$ Lückenanteil) eingeteilt. Anschließend erfolgte die Ernte des Weideaufwuchses innerhalb des Rahmens. Nach dem Schnitt wurde erneut die Aufwuchshöhe mit dem RPM erfasst. Das Erntegut der Schnitte wurde bei 60°C für 48 h getrocknet und gewogen. Die Zielvariable TS-Ertrag wurde mit einem gemischten linearen Modell aus der Differenz der CSH vor und nach Schnitt sowie den Faktoren Lückenanteil und botanische Klasse in R 4.2.2 geschätzt. Die Betriebe wurden als zufälliger Effekt im Modell berücksichtigt. Nach Vereinfachung durch Minimierung des AICc wurden die Effekte der Prädiktorvariablen mit Anova Typ III geprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Von n=990 Stichproben wurden 735 der botanischen Klasse gräserreich zugeordnet, während 255 Proben der Klasse ausgeglichen zugeordnet wurden. Der Faktor Lückenanteil teilte sich in 682 dichte und 308 lückige Proben. Die durchschnittliche CSH \pm Standardabweichung war 8.6 ± 3.4 cm vor Schnitt und 3.4 ± 1.1 cm nach Schnitt. Die betrachteten Aufwuchshöhen liegen damit im Bereich der Empfehlungen zur intensiven Weideführung. Nach Vereinfachung des Modells enthielt das Modell (Residual mean squared error; RMSE=365 kg TS ha⁻¹) die Kovariate CSH in Interaktion mit dem Faktor Lückenanteil ($p=0.0945$) sowie die Interaktion aus CSH und Pflanzenbestand ($p=0.1229$; Abb. A). Der RMSE des Modells ist im Vergleich zu

ähnlichen Studien groß ($222 \text{ kg TS ha}^{-1}$ und $254 \text{ kg TS ha}^{-1}$) (O'Donovan et al., 2002; Schori, 2020). Dies kann möglicherweise auf die hohe Variabilität in den Weidebeständen bedingt durch die Bewirtschaftung der Einzelbetriebe und auf die niedrigere mittlere CSH in der hier gezeigten Studie zurückgeführt werden. Die Steigung der Regression war in ausgeglichenen und lückigen Beständen geringer als in jeweils grasreichen ($+16 \text{ kg TS (CSH cm} \times \text{ha)}^{-1}$) und dichten ($+15 \text{ kg TS (CSH cm} \times \text{ha)}^{-1}$) Beständen. Auch vermindern lückige und ausgeglichene Bestände den y-Achsenabschnitt. Beide Faktoren weisen aber nur einen geringen Einfluss auf die Ertragschätzung auf. Für den Einsatz in der praktischen Weideführung wurde deshalb ein weiteres Modell ($\text{RSME}=370 \text{ kg TS ha}^{-1}$) erstellt, welches nur die Kovariante CSH ($p<0.0001$) enthielt (Abb. B). Die daraus erstellte Formel $\text{TSkg}ha^{-1} = 243 \times \text{CSHcm} - 105$ liegt damit zwischen der Empfehlung von Schori (2020) $\text{TSkg}ha^{-1} = 240 \times \text{CSHcm} - 767$ und der Empfehlung von Teagasc (2017) mit $\text{TSkg}ha^{-1} = 250 \times \text{CSHcm}$. Diese Unterschiede unterstreichen den Zusammenhang aus zunehmender Aufwuchsdichte mit zunehmendem Grasanteil (O'Donovan et al., 2002; Schori, 2020). Auch die höhere Triebdichte bei intensiver Weidehaltung kann möglicherweise den größeren Koeffizienten in der Formel von Teagasc (2017) erklären.

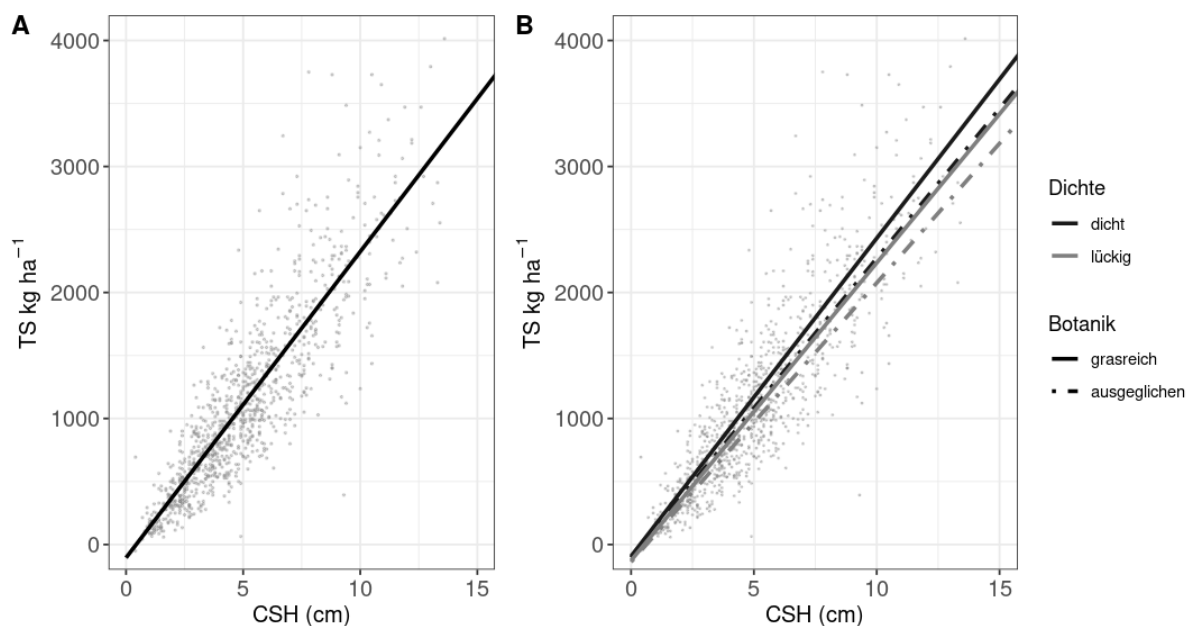


Abb. A zeigt die Schätzung der TS ha^{-1} aus der komprimierten Aufwuchshöhe (CSH cm). **Abb. B** zeigt den Zusammenhang erweitert um die Faktoren Bestandsdichte (dicht <15% Lücke; lückig >15 Lücke) und botanische Zusammensetzung (grasreich $\geq 70\%$ % Gräser; ausgeglichen < 70% Gräser).

Literatur

- O'Donovan, M., Dillon, P., Rath, M., Stakelum, G., 2002. A Comparison of Four Methods of Herbage Mass Estimation. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 41, 17–27.
- Schori, F., 2020. Mit Herbometer und Pasturemeter die Wuchshöhe von Weiden messen und die Grasmasse schätzen. <https://doi.org/10.34776/AFS11-46>
- Teagasc, 2017. How to measure grass. pasturebase.teagasc.ie. URL <https://www.teagasc.ie/media/website/crops/grassland/How-to-measure-grass-right.pdf> (abgerufen am 16.4.23).

Wirksamkeit einer Elektronenbehandlung des Saatguts gegen Anthraknose bei Weißer Lupine

Winterling, A., Tanz, J. und Urbatzka, P.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau, Freising. E-Mail: andrea.winterling@fl.bayern.de.

Einleitung

Bei der Saatgutvermehrung von Körnerleguminosen sind die Aberkennungsraten durch samenbürtige Krankheitserreger hoch. Bei der Weißen Lupine können mit der Pilzkrankheit Anthraknose befallene Samen zu erheblichen Auflaufschäden führen und sie stellen ein Infektions-Potential für den neuen Bestand dar. Die Elektronenbehandlung zeigt bei Getreide eine gute Wirkung gegen die pilzlichen Krankheitserreger Weizensteinbrand und Septoria (Wilbois et al. 2007). Durch das physikalische Verfahren werden samenbürtige Pathogene und Bakterien ohne chemische Wirkstoffe abgetötet. Die Wirkung ist davon abhängig, wie tief sich der Erreger im Korn befindet. An der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) wurde im Gewächshaus die Wirksamkeit einer Elektronenbehandlung des Saatguts gegen Anthraknose bei Weißer Lupine untersucht.

Material und Methoden

In den Jahren 2020 und 2021 wurden zwei Gefäßversuche in Form eines dreifaktoriellen lateinischen Rechtecks mit acht Wiederholungen angelegt:

- Faktor 1 „Sorte“: Sulimo, Feodora
- Faktor 2 „Befallsstärke“: mit und ohne optischen Anthraknose-Befall
- Faktor 3 „Elektronenbehandlung“: vier Behandlungsintensitäten (E1-E4) vs. einer unbehandelten Kontrolle. Die Behandlungsstufe E1 entsprach dabei der geringsten und E4 der stärksten Strahlungsintensität. Die Kontrollprobe wurde ebenfalls verschickt, um das Saatgut während des Transports den gleichen Bedingungen auszusetzen.

Das für den Gefäßversuch verwendete Saatgut der Weißen Lupine (*L. albus*) stammte aus Feldversuchen der LfL der Ernte 2019. Vor der Aussaat des ersten Versuches wurden die Keimfähigkeit nach den Internationalen Vorschriften für die Saatgutuntersuchung der ISTA (International Seed Testing Assoziation) und die Triebkraft (Kalttest) analysiert. Der Kalttest wurde in Ackererde sieben Tage im Dunklen bei 10°C mit anschließendem Wechsel für sieben Tage 8h hell/16h dunkel bei 25 °C durchgeführt.

Die Aussaat der Lupinen im Gewächshaus erfolgte am 14.09.2020 bzw. am 19.04.2021 mit 16 Körnern je 5,8 l-Topf in einer Ablagetiefe von 3 cm. Vor der Saat wurden die Lupinen 2020 mit dem Radicin Lupin Flüssigimpfstoff bzw. 2021 mit dem torfbasierten Mittel Legume-FIX geimpft.

Nach dem Aufgang und vor der Ernte am 26.11.2020 bzw. 22.06.2021 wurde die Pflanzenzahl und nach der Ernte der oberirdische Biomasseertrag der Lupinen erfasst. Die Trockenmasse wurde nach 48 Stunden im Trockenschrank bei 105°C bestimmt. Die Daten der Keimfähigkeits- und der Triebkraftanalyse und der beiden Gefäßversuche wurden mit SAS 9.4 ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Keimfähigkeit und die Triebkraft konnten durch die verschiedenen Behandlungsintensitäten der Elektronenbehandlung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle nicht verbessert werden (Tab. 1). Die Gefäßversuche bestätigten die Wirksamkeit der Maßnahme gegen Anthraknose bei Weißer Lupine ebenfalls nicht: Die Saatgutbehandlung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Parameter Pflanzenzahl nach Aufgang und vor Ernte sowie die oberirdische Trockenmasse zur Blüte (Abb. 1). Auch in Schweizer Feldversuchen hatte die Elektronenbehandlung von natürlich infiziertem Saatgut der Sorte Feodora keine signifikante Wirkung hinsichtlich der Keimrate, dem Anthraknosebefall an den Lupinen und dem Lupinenertrag (Alkemade et al., 2021).

Tab. 1: Mittlere Keimfähigkeit, Triebkraft, Pflanzenzahl und Trockenmasse für verschiedene Behandlungsintensitäten der Elektronenbehandlung (n.s. = nicht signifikant, SNK-Test; $p < 0,05$)

Be- hand- lung	Keimfähigkeit			Triebkraft			Pflanzen/Topf		Trocken- masse g/Topf
	normal	anormal	nicht gekeimt	normal	anor- mal	nicht gekeimt	Auf- gang	Ernte	
ohne	76,1 N.S.	9,6 N.S.	14,3 N.S.	72,8 n.s.	10 n.s.	17,2 n.s.	13,8 n.s.	13,1 n.s.	21,7 n.s.
E 1	75,1	11,4	13,4	75,6	8,9	15,5	13,9	12,8	21,6
E 2	76,0	9,4	14,5	74,4	7,6	18,1	13,9	13,0	21,9
E 3	75,0	11,0	14,0	72,3	8,0	19,7	13,8	13,1	22,0
E 4	76,4	10,1	13,4	72,4	9,6	18,1	13,4	12,9	21,4

Bei Verwendung des optisch gesunden Saatguts waren die Pflanzenzahl nach dem Aufgang und vor der Ernte sowie der Trockenmasseertrag höher als bei Saatgut mit Befall (Tab. 2). Die beiden Sorten unterschieden sich in den Varianten „ohne Befall“ nicht voneinander. Bei der Sorte Sulimo mit optischem Befall waren mehr Keimlinge degeneriert und die Lupinenzahl und der Ertrag waren geringer als bei Feodora.

Tab. 2: Mittlere Pflanzenzahl nach dem Aufgang und vor der Ernte und Trockenmasse je Topf für die beiden Faktoren Sorte und Befallsstärke (verschiedene (kursive) Klein- und Großbuchstaben = signifikante Unterschiede, SNK-Test; $p < 0,05$)

	Pflanzen/Topf Aufgang	Pflanzen/Topf Ernte	Trockenmasse g
Feodora ohne Befall	15,7 A A	15,2 A A	22,7 A A
Feodora mit Befall	13,3 B a	12,4 B a	21,6 B a
Sulimo ohne Befall	15,2 a A	14,1 a A	22,7 a A
Sulimo mit Befall	11,0 b b	10,0 b b	19,8 b b

Signifikante Wechselwirkungen zwischen Sorte und Befall

Literatur

- Alkemade, J.A.; Arncken, C.; Hirschvogel, C.; Messmer, M.M.; Leska, A.; Voegelé, R.T.; Finckh, M.R.; Kölliker, R. Grot, S.P.C.; Hohmann, P. (2022): The potential of alternative seed treatments to control anthracnose disease in white lupin. *Crop Protection*, 158.
- Wilbois, K.-P.; Vogt-Kaute, W.; Spieß, H.; Jahn, M.; Koch, E. (2007): Leitfaden Saatgutgesundheit im ökologischen Landbau in Ackerkulturen. FiBL Deutschland e. V., Frankfurt am Main.

Verträglichkeit der Ackerbohne mit legumen Zwischenfrüchten bei bodenbürtigen Krankheiten

Winterling, A.¹, Ostermayr, A.^{ehem.1} und Urbatzka, P.¹

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau, Freising. E-Mail: andrea.winterling@fl.bayern.de.

Einleitung

Leguminosen sind im ökologischen Landbau ein wichtiger Bestandteil der Fruchtfolgen. Allerdings sind sie anfällig für bodenbürtige Pilzkrankheiten (Fuchs et al., 2014), wie z. B. *Phytophthora ultimum*, *Rhizoctonia solani* und verschiedene Fusarium-Arten. Verschiedene Leguminosenarten können sich gegenseitig negativ beeinflussen, da sie z. T. von den gleichen Pathogenen infiziert werden. In der Regel ist ein Komplex aus verschiedenen Krankheitserregern für den Befall verantwortlich (Baćanović, 2017). Das Wissen über notwendige Anbaupausen ist hinsichtlich der Integration legumer Zwischenfrüchte in die Fruchtfolge gering. In einem dreijährigen Feldversuch wurde die Verträglichkeit der Ackerbohne mit verschiedenen legumen Zwischenfrüchten, speziell in Hinblick auf fruchtfolgebedingte Schaderreger, untersucht.

Material und Methoden

Die Feldversuche wurden in Form einer Blockanlage mit vier Wiederholungen in Hohenkammer bei Freising in Oberbayern angelegt: Braunerde; 2015: tL, 2016 + 2017: sL, AZ 48, 50 bzw. 55; langjährige Mittel: 816 mm, 7,8 °C (Fruchtfolge der drei Ackerschläge s. Tabelle 1).

Tab. 1: Fruchtfolge der drei Versuchsschläge in Hohenkammer

- ahr	006	007	008	009	010	011	012	013	014	015	016	017
015	F	-	-	-	G	G	-	-	/ZF	A	-	-
016	-	-	F	-	/KG	G	-	-	-	/ZF	A	-
017	-	-	-	/W	-	L	-	-	L	-	/ZF	A

- Leguminosen = fett gedruckt; EF = Erbse, G = Getreide/Mais, KG = Klee gras, W = Wicke (Zwischenfrucht), KL = Klee, R = Raps, K = Kartoffeln

Im August 2014, 2015 und 2016 wurden als Zwischenfrüchte Futtererbse, Ackerbohne, Blaue Lupine, Sommerwicke, Alexandrinerklee und Rotklee ausgesät und mit Sommerraps und einer Variante ohne Vorfrucht verglichen. Die Zwischenfrüchte wurden im Herbst desselben Jahres umgebrochen und im folgenden Frühjahr die Ackerbohne als Hauptfrucht gesät.

Die pflanzenbaulichen Merkmale wurden bei der Ackerbohne nach den Richtlinien des Bundessortenamtes (2000) erhoben. Die Daten wurden als Serie mit SAS 9.4 verrechnet.

Ergebnisse und Diskussion

2015 und 2016 zeigten die Ackerbohnen in allen Varianten Symptome von Fußkrankheiten (mittlere Boniturnote 4,6), jedoch ohne signifikante Unterschiede

zwischen den Varianten (Daten nicht dargestellt). Im Jahr 2017 waren die Ackerbohnen gesund.

Der Korn- und der Rohproteintrag der Ackerbohne war in Selbstfolge gegenüber der Ackerbohne nach Blauer Lupine signifikant und gegenüber den beiden Kontrollvarianten tendenziell reduziert (Abb. 1).

Futtererbse, Blaue Lupine, Sommerwicke, Alexandriner- und Rotklee beeinflussten die Ertragsleistung der Ackerbohne nicht negativ. Der Rohproteingehalt änderte sich durch die verschiedenen Zwischenfrüchte nicht signifikant.

Sofern Ackerbohne als Hauptfrucht vorgesehen ist, sollte die aktuell empfohlene Anbaupause von 4-6 Jahren (BLE 2021) eingehalten werden und keine Ackerbohne als Zwischenfrucht, auch nicht im Gemenge, angebaut werden.

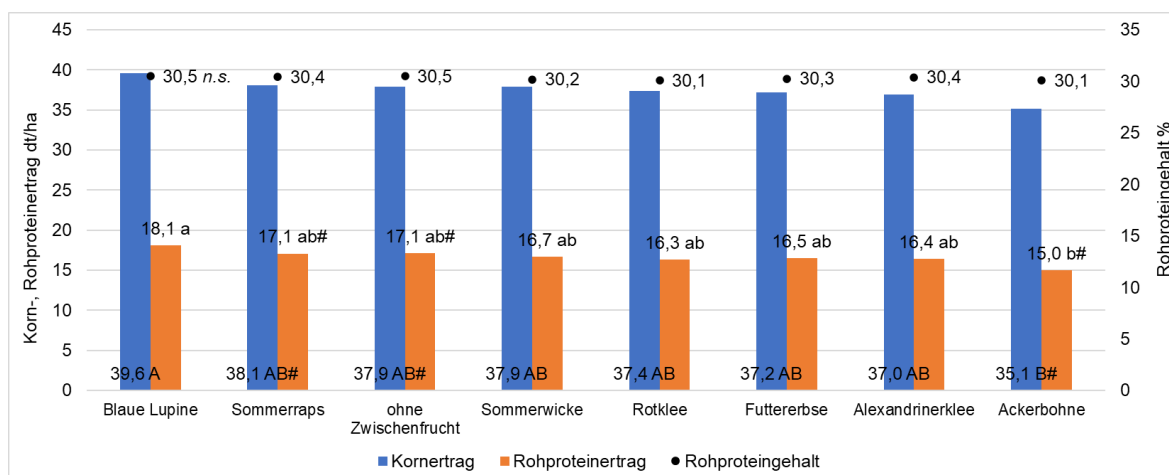


Abb. 1: Mittlerer Korn-, Rohproteintrag, Rohproteingehalt der Ackerbohnen 2015-2017 (verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede, n.s. = nicht signifikant, Tukey-Kramer-Test, $p < 0,05$, # = Tendenz ($0,05 < p < 0,1$))

Literatur

Baćanović J, Sisic A, Finckh M R (2017): *Fusarium avenaceum* - Fuß- und Wurzelkrankheitserreger der Erbse. In: Wolfrum S., Heuwinkel H., Reents H. J., Wiesinger K.; Hülsbergen K.-J. (Hrsg.): Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Ökologischen Landbau weiterdenken: Verantwortung übernehmen, Vertrauen stärken, 07.-10. März 2017, Freising-Weihenstephan, Verlag Dr. Köster, Berlin: 14-17.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2021): Erbsen und Ackerbohnen anbauen und verwerten, Bonn.

Bundessortenamt (2000) Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Landbuch, Hannover.

Fuchs J, Thuerig B, Tamm L, Brandhuber R, Bruns C, Finckh M R, Fliessbach A, Mäder P, Schmidt H, Vogt-Kaute W, Wilbois K-P (2014) Evaluation of the causes of legume yield de-pression syndrome using an improved diagnostic tool. *Applied Soil Ecology*, 79/2014: 26–36.

Influence of sowing pattern on morphology, yield formation and weed suppression in pesticide-free cropping systems with silage maize and soybean

Dina Otto, Simone Graeff-Hönninger and Sebastian Munz

Institute of Crop Science, Department of Agronomy, University of Hohenheim, 70599 Stuttgart.
Email: dina.otto@uni-hohenheim.de

Introduction

Conventional farming focuses on large, monocultural fields to maximize yields, often relying on heavy chemical use for weed, disease, and pest control (St Aime et al., 2022). The EU's Common Agricultural Policy (CAP) promotes sustainable practices, such as diversified crop rotations and integrated pest management, to reduce synthetic chemical usage. In cropping systems, where mechanical weed removal and mineral fertilizers are used, the sowing pattern, specifically row width, can be a valuable tool for weed control. This study compared the effects of two sowing patterns, equal distance sowing and common sowing with a larger row distance, in silage maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* (Merr.) L.) focusing on plant morphology, yield, and weed infestation.

Materials and Methods

Field trials were conducted in 2022 at the Heidfeldhof Research Station, University of Hohenheim (48°42'52"N 9°11'30"E, 401 m a.s.l.). The trials involved two crops: silage maize sown at a density of 11 seeds m⁻², and soybean sown at a density of 77 seeds m⁻². Both trials followed a randomized complete block design (RCBD) with four replicates. For maize, the row distance was 37.5 cm for equal distance sowing (EDS) and 75.0 cm for the larger distance sowing (LDS). For soybean, the row distance was 15.0 cm for EDS and 50.0 cm for LDS. Mechanical weed control was performed until 60 days after sowing by hoeing and harrowing. Biomass samples were manually cut from a 1 m² area (maize) and 0.25 m² area (soybean) respectively, at two development stages each: flowering stage (BBCH 65) for both crops and physiological maturity (BBCH 89 for maize and BBCH 99 for soybean). Plant morphological traits, such as plant height and green leaf area and number of branches (soybean) were assessed. Additionally, thousand kernel weight, seed yield, generative organ number per plant, weed number, and weed biomass per area were measured.

Results and Discussion

There was a non-significant tendency for larger biomass of silage maize in EDS compared to the larger row distance in LDS at both growth stages. At the same time, plant height was significantly higher in LDS compared to EDS as a result of internode elongation in LDS probably caused by light competition within the row (Franklin, 2008). Green leaf area did not differ significantly between the treatments, but EDS showed delayed senescence at physiological maturity, suggesting better resource use efficiency and more equal light distribution within the canopy. Thousand kernel weight, seed dry weight, and cob number per plant were not significantly affected by the sowing pattern, but in EDS a higher seed DW was observed (Table 1). Weed control was successful in silage maize with no weeds observed at either stage. For soybean, no significant difference in biomass between the sowing patterns for soybean were found, but a higher branch DW was indicated for EDS (Table 1). Plant

height, green leaf area, and number of branches per plant, as well as yield parameters, such as thousand kernel weight and pod number per plant, were not significantly affected by the sowing pattern. Despite weed control, however, the amount of weeds present was higher in EDS than in LDS, but with huge plot-dependent differences, primarily due to nests of certain weed species like *Chenopodium spp.*. Overall, weed density level remained at the lowest (≤ 50 plants m^{-2}) with no significant treatment effect.

Table 1 Plant traits of silage maize and soybean measured at physiological maturity in 2022 grown in equal distance sowing (EDS) and larger distance sowing (LDS). For each crop, means of EDS and LDS sharing the same letter are not significantly different (Tukey-Test, $\alpha = 5\%$), n.s. = non-significant.

Silage maize			Soybean		
	EDS	LDS		EDS	LDS
Plant height (cm)	272 b	291 a	Plant height (cm)	81 n.s.	87 n.s.
Biomass DW ($g\ m^{-2}$)	2235 n.s.	2023 n.s.	Branch DW ($g\ plant^{-1}$)	2.8 n.s.	2.0 n.s.
Seed DW ($g\ m^{-2}$)	1022 n.s.	833 n.s.	Seed DW ($g\ m^{-2}$)	310 n.s.	344 n.s.
Cob number per plant	0.7 n.s.	1.0 n.s.	Pod number per plant	21 n.s.	23 n.s.

In conclusion, equal distance sowing showed minimal impact on the plant morphology and yield parameter of silage maize, but induced soybean plants to develop more branch biomass (plasticity effect) (Sultan, 2003). Despite higher weed pressure in soybean sown with EDS, there was no significant difference in yield compared to the larger row distance. Nevertheless, further trials with additional varieties are recommended to thoroughly evaluate the potential of narrow row width with regard to yield performance and weed suppression abilities.

References

- Franklin, K. A. (2008). Shade avoidance. *New Phytologist*, 179(4), 930–944. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02507.x>
- St Aime, R., Noh, E., Bridges, W. C., & Narayanan, S. (2022). A Comparison of Drill and Broadcast Planting Methods for Biomass Production of Two Legume Cover Crops. *Agronomy*, 12(1), 79. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010079>
- Sultan, S. E. (2003). Phenotypic plasticity in plants: A case study in ecological development. *Evolution & Development*, 5(1), 25–33. <https://doi.org/10.1046/j.1525-142x.2003.03005.x>

FlowerBeet: Blühstreifen im Zuckerrübenanbau zur Nützlingsförderung und biologischen Bekämpfung von Blattläusen

Benedict Wieters und Nicol Stockfisch

Institut für Zuckerrübenforschung, An-Insitut der Universität Göttingen, Göttingen;
E-Mail: wieters@ifz-goettingen.de

Einleitung

Viröse Vergilbung kann im Zuckerrübenanbau zu starken Ertragsverlusten führen. Gegen Blattläuse als Virusvektoren werden zur Ertragssicherung Insektizide angewendet. Im Projekt FlowerBeet liegt der Fokus auf einer alternativen Regulation mittels gezielter Förderung von Nützlingen zur Blattlauskontrolle und einer allgemeinen Förderung der biologischen Vielfalt durch überjährige Blühstreifen in Zuckerrübenfeldern. Für eine schnelle Entwicklung und Blüte im Frühjahr wurden die Blühstreifen im Herbst 2021 vor dem Zuckerrübenanbau angelegt. So bieten die Blühstreifen auch Insekten frühzeitig einen ungestörten und diversen Lebensraum, da die Blühstreifenfläche bis in den Sommer unbearbeitet bleibt.

Material und Methoden

Es wurden drei in den Schlag integrierte Blühstreifen angelegt, in denen fünf verschiedene Blühmischungen getestet wurden. Hintergrund für die Versuchsanlage mit integrierten Blühstreifen ist die begrenzte Distanz, welche Nützlinge aus Blühstreifen in die Kultur zurücklegen. Die Blühpflanzen und Sorten wurden so gewählt, dass sie attraktiv für Nützlinge sind und keine Probleme für die Zuckerrüben verursachen (Verunkrautung, Folgewirkungen in der Nachfrucht). Die Blühstreifen wurden mit einer Breite von 6 m über mindestens 200 m Länge angelegt. Auf dem gesamten Feld mit Ausnahme der Blühstreifen wurde betriebsüblicher Pflanzenschutz durchgeführt, allerdings wurden in einer Arbeitsbreite der Pflanzenschutzspritze neben den Blühstreifen keine Insektizide nach der Aussaat angewendet. Auf dem restlichen Feld wurden Insektizide nach Bekämpfungsrichtwerten eingesetzt.

Im Projekt untersucht werden die Entwicklung der Blühstreifen, das Auftreten von Nützlingen und Schädlingen in den Blühstreifen und den angrenzenden Zuckerrüben, sowie die Wirkung von Blühstreifen, Nützlingen und Schädlingen auf Entwicklung, Ertrag und Qualität der Zuckerrübenpflanzen.

Auf zehn Praxis-Feldern im Rheinland und bei Göttingen wurden integrierte Blühstreifen angelegt und Ertragsdaten in der zweiten Septemberhälfte auf Teilflächen mittels Handerntern erhoben.

Ergebnisse und Diskussion

Die meisten ausgesäten Blühpflanzenarten sind gut aufgelaufen und waren im Frühjahr noch vorhanden, Kornblumen waren dominierend. Die ersten Blüten öffneten sich im April. Im Jahr 2022 traten die Blattläuse bereits kurz nach Aussaat zahlreich auf, die Nützlinge erst später. Daher konnten sich die Blattläuse schnell vermehren und große Populationen bilden. Die Blühstreifen führten teilweise zu einer deutlichen Reduktion der Blattlauszahlen im Vergleich zu Kontrollen ohne Insektizideinsatz, die Wirkung der Blühmischungen nahm dabei mit der Distanz ab. Zwischen den Mischungen gab es Unterschiede in der Wirksamkeit. Insektizidanwendungen haben die Blattlauszahlen stark dezimiert, es kam aber

wieder zu neuem Zuflug nach den Behandlungen. Die Daten zu den Nützlingen werden noch ausgewertet.

Auf den untersuchten Flächen trat in den mit Insektizid behandelten Bereichen keine Vergilbung auf (Abb. 1). In den unbehandelten Teilen gab es Vergilbungsnester und je nach Standort waren 0-30 % der Fläche vergilbt. In den Bereichen an den Blühstreifen war die vergilbte Fläche deutlich reduziert und im Schnitt 50 % geringer als ohne Blühstreifen.

Im Mittel über alle Standorte gab es ohne Insektizidanwendung (mit und ohne Blühstreifen) einen signifikant reduzierten Zuckerertrag im Vergleich zu den betriebsüblich behandelten Flächen (2-5 % Verlust). Trotz der hohen Nützlingsaktivität und der Reduktion der Blattlauszahlen in der Nähe von Blühstreifen zeigte sich nicht der erwartete positive Ertragseffekt in den Bereichen mit Blühstreifen.

Für die Gesamtbewertung des neuen Anbausystems muss auch der Verlust von Anbaufläche durch die Blühstreifen und mögliche Nachwirkungen für die folgenden Kulturen berücksichtigt werden. Das Anbauverfahren kann im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes mit anderen Maßnahmen kombiniert und weiter optimiert werden, um Kosten und Aufwand zu senken. Als flexible Schutzmaßnahme gegen Blattläuse oder andere Schädlinge ist die Förderung von Nützlingen eine grundsätzlich sinnvolle Maßnahme, da sie Populationen von Schädlingen unabhängig von der Verfügbarkeit wirksamer Insektizide regulieren können. Eine allgemeine Förderung der Artenvielfalt von Pflanzen, Insekten und anderen Tieren auf Ackerflächen kann so zu einer Robustheit des Anbausystems gegenüber Störungen beitragen.



Blühstreifen im Feld neben Zuckerrüben.

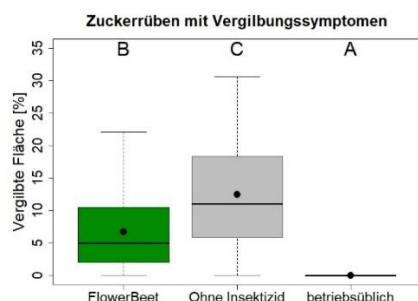


Abb. 1: Zuckerrüben-Fläche mit Vergilbungssymptomen. Signifikante Reduktion der Vergilbung mit Blühstreifen (FlowerBeet, grün). Punkte in den Boxplots zeigen den Mittelwert.

Das Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ) führt das Projekt in Kooperation mit dem Leibniz-Institut zur Analyse des Biodiversitätswandels (LIB) in Bonn durch. Weiterhin beteiligen sich der Rheinische Rübenbauer-Verband (RRV), der Landwirtschaftliche Informationsdienst Zuckerrübe (LIZ), und die Landwirtschaftskammer NRW. Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln der Landwirtschaftlichen Rentenbank.

Eine niedrige Stickstoffdüngungsmenge in Hafer-Erbсен-Gemengen beeinträchtigt nicht die N₂-Fixierung

Reinhard W. Neugschwandtner¹, Hans-Peter Kaul¹, Gerhard Moitzi²,
Agnieszka Klimek-Kopyra³, Tomas Losak⁴ und Helmut Wagenritzl²

¹Institut für Pflanzenbau, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad-Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln, E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at

²Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Schloßhoferstraße 31, A-2301 Groß-Enzersdorf

³Landwirtschaftliche Universität Krakau, Institut für Pflanzenbau, al. A. Mickiewicza 21, 31-120 Krakau, Polen

⁴Abteilung für Umweltwissenschaften und natürliche Ressourcen, Fakultät für regionale Entwicklung und internationale Studien, Mendel-Universität in Brunn, Zemědělská 1, CZ-613 00 Brno

Einleitung

Der Gemengeanbau von Getreide mit Körnerleguminosen wird üblicherweise in Systemen mit geringem Input eingesetzt, könnte aber auch eine Strategie für Systeme mit höherem Input sein. Der Anbau von Gemengen ist vor allem in den traditionellen, arbeitsintensiven, kleinbäuerlichen landwirtschaftlichen Systemen der Entwicklungsländer üblich (Anil et al. 1998). Jedoch kann laut Bybee-Finley und Ryan (2019) der Gemengeanbau auch zu einer nachhaltigen Intensivierung der Agrarsysteme in Industrieländern führen.

Material und Methoden

Die Reinsaatensowie drei substitutive Gemenge von Hafer und Erbse (Hafer:Erbse (%:%): 75:25, 50:50, 25:75) wurden auf einem fruchtbaren Boden (Tschernozem, pH_{CaCl2}: 7.6, SOC: 2.2–2.3%) des im Osten Österreichs gelegenen Marchfeld getestet, sowohl ungedüngt also auch mit einer Stickstoffdüngung von 60 kg N ha⁻¹ (zwei gleich hohe Gaben von Ammoniumnitrat). Die N₂-Fixierung wurde mithilfe der erweiterten N-Differenzmethode nach Karpenstein-Machan und Stülpnagel (2000) berechnet. Die dargestellten Werte sind Mittelwerte der beiden Versuchsjahre 2010 und 2011.

Ergebnisse und Diskussion

Die Erträge der oberirdischen Biomasse (OBM) von Hafer nahmen in den Gemengen mit abnehmendem Haferanteil nur geringfügig ab, während die Erbse im Gemenge starke Einbußen bei der OBM verzeichnete (Tabelle 1). Der N-Gehalt von Hafer nahm in den Gemengen mit sinkendem Haferanteil zu, während der N-Gehalt von Erbse unbeeinflusst von der Zusammensetzung des Pflanzenbestandes war. Das ergab relativ stabile N-Erträge in der OBM von Hafer, während jene der Erbse mit abnehmendem Saatanteil von Erbse stark abnahmen. In Summe waren die N-Erträge in den Gemengen in der Reinsaat von Erbse am höchsten und nahmen mit sinkendem Erbsenanteil in den Gemengen ab. Die Differenz des N-Ertrages in der Erbsenreinsaat bzw. in den Gemengen zur Haferreinsaat nahm mit steigendem Erbsenanteil zu. Auch die N_{min}-Gehalte waren mit steigendem Erbsenanteil höher. Beides zusammen führte zu einer höheren N₂-Fixierung bei höherem Erbsenanteil an den Gemengen. Die N₂-Fixierung pro Biomasseinheit Erbse unterschied sich nicht zwischen den Pflanzenbeständen.

Eine Gabe von 60 kg N ha⁻¹ erhöhte die OBM und den Gehalt an N in der OBM von Hafer, jedoch nicht jene der Erbse, sowie den N-Ertrag der Erbse und damit jenen der gesamten Pflanzenbestände. Die Differenz des N-Ertrages in der Erbsenreinsaat bzw. in den Gemengen zur Haferreinsaat war mit der N-Düngung niedriger, während der N_{min}-Gehalt zur Ernte damit höher war. Die N-Gabe von 60 kg N ha⁻¹ hatte weder einen Einfluss auf die N₂-Fixierungsleistung pro Fläche noch auf die N₂-Fixierungsleistung pro Einheit Erbsenbiomasse.

Tab. 1: Ertrag der oberirdischen Biomasse, N-Gehalte und N-Erträge in der oberirdischen Biomasse sowie mineralische N im Boden und N₂-Fixierung in Hafer-Erbsen-Gemengen in Abhängigkeit des N-Düngeniveaus.

	OBM (kg/ha)		N (%)		N-Ertrag (kg/ha)			Δ NE _{H+E} - NE _H	N _{min} (0-90 cm) (kg/ha)	N _{FIX}	N _{FIX} g/kg E
	H	E	H	E	H	E	H+E				
H:E (%:%)											
100:0	11577 ^a		1,15 ^c		133 ^a		133 ^d		29 ^c		
75:25	10963 ^a	639 ^d	1,17 ^b _c	2,39	129 ^a _b	16 ^d	145 ^{cd}	18 ^c	30 ^c	13 ^c	26,8
50:50	9519 ^b	1899 ^c	1,25 ^{ab}	2,46	119 ^b	46 ^c	165 ^{bc}	32 ^{bc}	35 ^{bc}	38 ^{bc}	20,3
25:75	7560 ^c	3394 ^b	1,27 ^a	2,50	96 ^c	84 ^b	180 ^b	47 ^b	59 ^{ab}	77 ^b	28,1
0:100		10520 ^a		2,48		262 ^a	262 ^a	129 ^a	85 ^a	185 ^a	16,7
N (kg/ ha)											
0	903 ^b	4035	1,14 ^b	2,46	102 ^b	100	162 ^b	65 ^a	34 ^b	74	25,0
60	1078 ^a	4190	1,28 ^a	2,46	137 ^a	104	192 ^a	45 ^b	62 ^a	83	20,9

Unterschiedliche Buchstaben zeigen statistisch signifikant unterschiedliche Mittelwerte. H = Hafer, E = Erbse, OBM = Oberirdische Biomasse, N = Stickstoff, Δ = Differenz, NE = N-Ertrag in der OBM, N_{FIX} = Stickstofffixierung

Die Ergebnisse zeigen, dass eine niedrige N-Düngung von Hafer-Erbsen-Gemengen auf einem fruchtbaren Boden die N-Erträge der Gemenge aufgrund einer Förderung des Hafers steigern kann, ohne die N₂-Fixierungsleistung der Erbse zu reduzieren.

Literatur

- Anil, L., Park, R.H.P., Miller, F.A., 1998. Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and Forage Science* 53, 301–317.
- Bybee-Finley, K.A., Ryan, M.R., 2019. Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. *Agriculture* 8, 80.
- Karpenstein-Machan, M., Stülpnagel, R., 2000. Biomass yield and nitrogen fixation of legumes monocropped and intercropped with rye and rotation effects on a subsequent maize crop. *Plant and Soil*. 218, 215–232.
- Neuschwandtner R.W., Kaul H.-P., Moitzi G., Klimek-Kopyra A., Lošák T., Wagentristl H., 2021. A low nitrogen fertiliser rate in oat–pea intercrops does not impair N₂ fixation. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science* 71 (3), 182–190. (Anmerkung: Der Beitrag basiert auf diesem Artikel.)

Einfluss von Saatzeitpunkt und Art verschiedener Futterleguminosen auf den Besatz mit Ampfer im ökologischen Landbau

Urbatzka P.¹ und Salzeder G.²

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau, Freising; ²LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising.
E-Mail: Peer.Urbatzka@LfL.Bayern.de

Einleitung

Im ökologischen Pflanzenbau sind perennierende Wurzelunkräuter wie der Ampfer nur schwer bekämpfbar. Die Bekämpfung erfolgt Großteils über die angebauten Kulturen, die Bodenbearbeitung und die Saatzeitpunkte. In diesem Beitrag wird die kurzfristige Wirkung verschiedener feinsamiger Leguminosen und ihrer Saatzeitpunkte auf das Auftreten des Stumpfbältrigen Ampfers (*Rumex obtusifolius*) dargestellt.

Material und Methoden

Der zweifaktorielle Feldversuch wurde zur Ernte 2010 auf dem Standort Viehhausen (Technischen Universität München, Lkr. Freising in Oberbayern, uL, Bodenzahl 61, langjähriges Mittel 786 mm und 7,8 °C) angelegt. Erster Faktor war die Saatzeit (Untersaat und Stoppelsaat). Die Untersaat wurde Ende April nach dem letzten Striegelarbeitsgang in vorlaufende Wintertriticale gesät, die Stoppelsaat nach dem Korndrusch und einer Bodenbearbeitung mit Fräse und Kreiselegge Mitte August. Die Untersaat wurde Mitte August geschröpft und Ende September genutzt, da im Gegensatz zur Stoppelsaat bereits ein vollwertiger Aufwuchs gewachsen war. Zweiter Faktor war die Art/Mischung der Futterleguminosen (Luzerne und Rotklee je in Reinsaat, eine Mischung aus Gelb- und Weißklee, Klee gras mit Luzerne, Rot- und Weißklee sowie verschiedenen Gräsern). Details finden sich in Urbatzka et al. (2017). Der Besatz mit stumpfbältrigem Ampfer (*Rumex obtusifolius*) wurde am 25.3.2010 je Parzelle gezählt. Anlageform war eine Spaltanlage mit drei Wiederholungen, Großteilstückfaktor war die Saatzeit, Kleinteilstückfaktor die Leguminosen. Die Auswertung erfolgte mit SAS 9.3 proc glimmex.

Ergebnisse und Diskussion

In der statistischen Analyse ergab sich keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Saatzeit und Art. Obwohl zwischen den feinsamigen Leguminosen Unterschiede bzgl. der Konkurrenzkraft in der Anfangsentwicklung vorliegen (z. B. Rotklee größer Luzerne), lag im Ampferbesatz kein signifikanter Unterschied vor (Abb. 1). Dagegen war die Anzahl Ampferpflanzen nach Stoppelsaat signifikant geringer als nach Untersaat. Dies ist mit der Möglichkeit der Unkrautbekämpfung über die Bodenbearbeitung nach dem Korndrusch bei Stoppelsaat zu begründen, welche bei Untersaat nicht durchgeführt wurde. Daher konnten sich im Getreide vorhandene Ampferpflanzen in Untersaat weiter etablieren. In Stoppelsaat konnten die Ampferpflanzen in Übereinstimmung zu Urbatzka et al. (2021) durch die Bodenbearbeitung geschädigt oder eliminiert werden.

Demnach ist bei Ampfer im ökologischen Landbau die Bekämpfung über die Bodenbearbeitung zwischen zwei Früchten von großer Bedeutung. Anders ist dies beim Problemunkraut Ackerkratzdistel, welche in der gleichen Versuchsreihe in

einem anderen Jahr bonitiert werden konnte: hier ist bei längeren Standzeit des Kleeegrases die Bekämpfung effektiver und die Bodenbearbeitung hat dagegen einen geringen Einfluss (Urbatzka und Salzeder 2019).

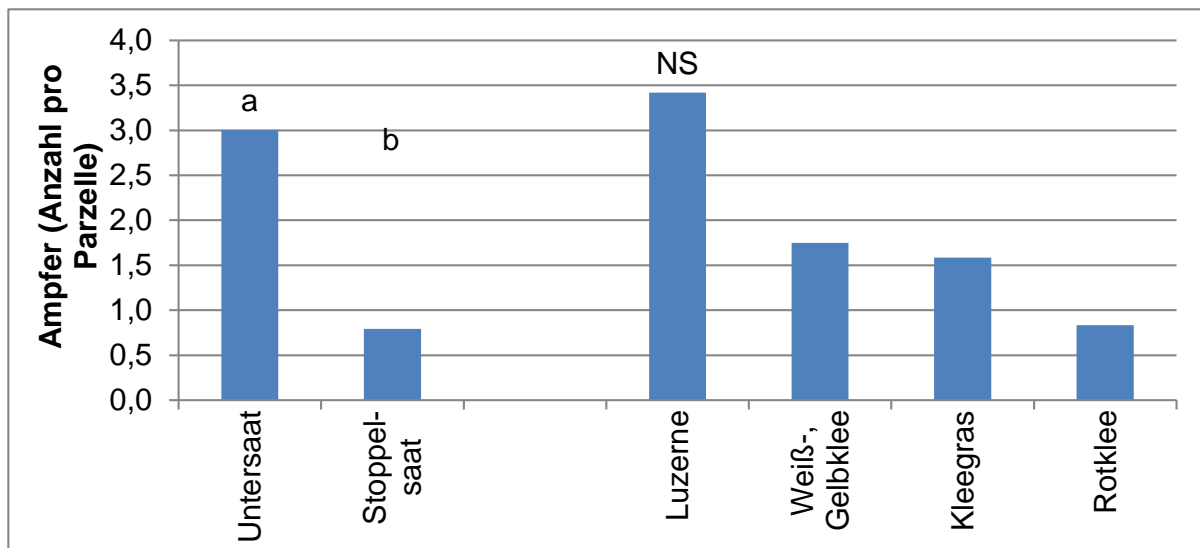


Abb. 1: Anzahl Ampferpflanzen in Abhängigkeit der Saatzeit und der Leguminosenart; verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, Tukey-Kramer-Test)

Literatur

- Urbatzka, P.; Rehm, A.; Eckl, T.; Salzeder, G. (2017) Vergleich verschiedener Arten und Saatzeiten bei Futterleguminosen. Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 40-43
- Urbatzka, P.; Salzeder, G. (2019) Auftreten der Ackerkratzdistel in Abhängigkeit der Standzeit und der Nutzung von Klee gras und Klee in Reinsaat. Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 146-147
- Urbatzka, P.; Heiles, E.; Schneider, R. (2021) Einfluss der Fruchtfolge auf den Besatz mit Ampfer in einem Dauerfeldversuch im ökologischen Landbau. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 32, 120-121

Einfluss diverser Mischungen und reduzierter Nutzungstermine auf den Kleeertrag im ökologischen Landbau

Urbatzka P.¹, Polkowski C.², Tanz J.¹, Weiher N.¹ und Döring T.F.²

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau, Freising; ² Universität Bonn, INRES, Agrarökologie und Organischer Landbau, Bonn.
E-Mail: Peer.Urbatzka@LfL.Bayern.de

Einleitung

Im ökologischen Landbau hat das Kleeertrag auf vieharmen Betrieben vielfältige Funktionen. Neben beispielsweise N₂-Fixierung und Unkrautbekämpfung kann es als Ökosystemleistung auch die Nahrungsgrundlage für verschiedene bestäubende Insekten darstellen. Diesen Ansatz verfolgt das hier vorgestellte Projekt FINDIG (Details siehe Polkowski et al. 2023). Praxisübliche Kleeertrag-Mischungen mit Rotklee, Weißklee und Luzerne werden durch Ergänzung anderer Klee- aber auch Kräuterarten diversifiziert, mit dem Ziel, ein längeres und diverseres Nahrungsangebot für unterschiedliche bestäubende Insekten zu liefern, ohne dabei die Vorfruchtwirkung zu reduzieren.

Material und Methoden

An den drei Standorten Haus Holte bei Dortmund, Wiesengut bei Hennef und Neuhofer bei Kaisheim wurde zur Ernte 2022 ein zweifaktorieller Feldversuch im Kleeertrag angelegt. Die Saat erfolgte im September 2021. Erster Faktor war der Nutzungstermin (übliche dreischürige Nutzung mit Mulchen, Frühjahrsblüte mit Mulchen zum zweiten und dritten Termin, Sommerblüte mit Mulchen zum ersten und dritten Termin und Cut&Carry mit Abfuhr zum ersten und dritten Termin). Zweiter Faktor waren die Artenzusammensetzung der Mischungen mit den vier Varianten ‚Kontrolle‘ aus üblichem Kleeertrag (Luzerne, Rot-, Weißklee und Gräser), ‚Leguminosen‘ (Kontrolle plus Gelb- und Inkarnatklee), ‚Kräuter‘ (Leguminosen plus Gemeine Schafgarbe, Kümmel, Echtes Johanniskraut) und ‚Vielfalt‘ (Kräuter plus Horn-, Schwedenklee, Kleine Braunelle, Kleiner Wiesenknopf, Taubenkropf-Leimkraut).

Ergebnisse und Diskussion

In der statistischen Auswertung lag keine signifikante Wechselwirkung der beiden Faktoren Nutzungstermin und Artenzusammensetzung vor. Die übliche Kleeertragnutzung erzielte aufgrund der höchsten Anzahl der Nutzungen den höchsten Gesamtertrag (Abb. 1). Dabei fiel der Ertrag der zweiten und dritten Nutzung immer dann geringer aus, wenn in den anderen Varianten auf die vorige Nutzung verzichtet wurde. Dies gilt auch für die zweite Nutzung, bei der die Frühjahrsblüte einen höheren Ertrag als die übliche Nutzung erzielte (Statistik in Abb. 1 aufgrund signifikanter Interaktion nicht dargestellt). Der Gesamtertrag fiel nochmals beim Verzicht auf die erste Nutzung im Vergleich zum Verzicht auf die zweite Nutzung aus.

Die vier verschiedenen Artenmischungen unterschieden sich nicht signifikant im Gesamtertrag (Abb. 1). Allerdings war der Ertrag der ersten Nutzung in der praxisüblichen Kontrolle (ohne Inkarnatklee) geringer als in den anderen drei Mischungen, da der Inkarnatklee diese Mischungen dominierte (Tab. 1 beispielhaft

für zwei Mischungen auf dem Wiesengut). Nach dem ersten Mulchen oder Schneiden war der Inkarnatklee erwartungsgemäß nicht mehr vorhanden. Wie auch in der Praxis häufig zu sehen, war der Anteil Unkraut vor der ersten Nutzung bei einer Saat nach dem Korndrusch in Übereinstimmung zu Urbatzka et al. (2023) hoch. Dabei fiel der Anteil Unkraut in der Mischung Leguminosen vermutlich aufgrund der Dominanz des Inkarnatklees geringer aus. Nach der ersten Nutzung wurde der Anteil Unkraut auf geringfügige Werte reduziert und die Leguminosen insbesondere Rotklee dominierte die Mischungen (Tab. 1; vgl. Urbatzka et al. 2023).

Insgesamt liegt zumindest für das Erntejahr 2022 kein Nachteil diverser Mischungen vor.

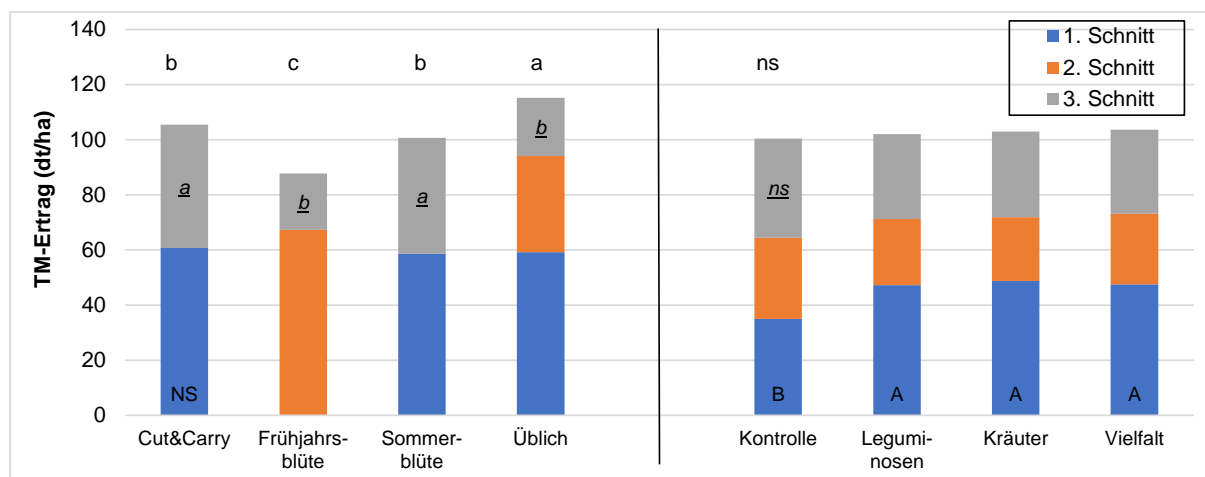


Abb. 1: Trockenmasseertrag in Abhängigkeit des Nutzungstermins und der Mischung im Mittel der drei Orte; verschiedene Buchstaben= signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, Tukey-Kramer-Test), kleine oberhalb für Gesamtertrag; beim zweiten Schnitt signifikante Interaktion der beiden Faktoren.

Tab. 1: Anteile (%) der Leguminosenarten der Mischungen Kontrolle und Leguminosen bei üblicher Nutzung auf dem Wiesengut

		Rotklee	Weißklee	Luzerne	Inkarnatklee	Gelbklee	Gras	Unkraut	Rest
1. Schnitt	Kontrolle	19,5	2,6	3,4	0,0	0,0	44,3	28,8	1,3
	Legumin.	4,1	0,6	2,2	47,9	0,4	24,8	19,0	1,0
3. Schnitt	Kontrolle	64,8	1,0	8,5	0,0	0,0	4,8	0,0	20,9
	Legumin.	69,3	1,2	6,2	0,0	0,1	10,2	0,1	13,0

Legumin. = Leguminosen, Bestimmung der Arten erfolgte nicht beim zweiten Schnitt, Rest = nicht bestimmbarer Anteil

Das Projekt wurde aufgrund eines Beschlusses des Bundestages vom BMEL gefördert.

Literatur

Polkowski C, Weiher N, Urbatzka P, Döring TF (2023): Förderung von Bestäubern durch Erhöhung der Biodiversität im Klee gras. Beiträge zur 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 387-390

Urbatzka P, Salzeder G, Eckl T (2023): Einfluss einer Untersaat verschiedener feinsamiger Leguminosen auf Ertrag und Qualität der Deckfrucht. Beiträge zur 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 242-243

Zeitlicher Verlauf der Biomasse-Bildung von Hanf als Winterzwischenfrucht und der N_{\min} -Gehalte auf heterogenen Standorten in Mecklenburg-Vorpommern im Anbaujahr 2022/2023

Linda Lechner und Eike Stefan Dobers

Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg. E-Mail: lechner@hs-nb.de

Einleitung

Hanf (*Cannabis sativa* L.) eignet sich, aufgrund rascher Beschattung, tiefer Durchwurzelung und hohem Stickstoff-Bedarf, als Zwischenfrucht (Dickeduisberg, 2021). Das Wachstum und die Entwicklung der Art ist stark von Standort- und Witterungseinflüssen abhängig (Hammami et al., 2022). Aus diesem Grund beschäftigt sich die operationelle Gruppe „ZwiHanf“ im Rahmen des EIP Agri Projekts in den Jahren 2022/2023 und 2023/2024 mit den Zwischenfrucht-Leistungen von Hanf in Abhängigkeit des Standortes. Erste Ergebnisse aus dem Versuchsjahr 2022/2023 werden berichtet.

Material und Methoden

Die Praxisflächen Kieve und Carlstein liegen etwa 80 km voneinander entfernt im südlichen Mecklenburg-Vorpommern. Die ungewöhnlich späte Aussaat des Hanfes erfolgte in Kieve am 22.08.2022 nach der Vorfrucht Inkarnatklée und in Carlstein am 02.09.2022 nach der Vorfrucht Winterweizen. Insgesamt wurden 20 standortspezifische Beobachtungspunkte eingerichtet. Im Vorfeld wurde das Biomasse-Wachstumspotenzial der Flächen mithilfe von Fernerkundungsdaten und Expertenwissen eingeschätzt. Daraufhin wurden Zonen mit den Standortgütern „gut“, „mittel“ und „schlecht“ unterschieden. Zusätzlich konnte auf der Fläche Carlstein eine an den Teilschlag mit Hanf angrenzende Standard-Zwischenfrucht untersucht werden. Vegetationsbegleitend wurden wöchentlich Pflanzenhöhen und Entwicklungsstadien ermittelt. Daten zur Trockenmasse (TM) wurden an drei Terminen erhoben, wobei zum letzten Termin eine Unterscheidung zwischen Zwischenfrucht-Pflanzen und Unkraut vorgenommen wurde. Nach Tsaliki et al. (2021) wurden N-Gehalte der TM von 2,5 % unterstellt. Boden-Beprobungen für N_{\min} -Analysen fanden vor der Aussaat und zu den jeweiligen TM-Erhebungen in den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm statt. Anfang März 2023 konnte zusätzlich eine Tiefe von 90-120 cm beprobt werden.

Ergebnisse und Diskussion

Die TM von Hanf lag durchschnittlich zwischen $7.1 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ in Carlstein und $14.4 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ in Kieve. Die Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut war am Standort Kieve ausgeprägter. Die Standard-Zwischenfrucht in Carlstein bildete verglichen mit dem Hanf weniger TM. Innerhalb der Flächen ließen sich Wachstumsunterschiede auf die Standortgüte zurückführen, was durch die deutliche Spanne der beobachteten Werte innerhalb eines Termins ersichtlich wird. Die N_{\min} -Werte zeigten je nach Feld Unterschiede in der nachgewiesenen Menge und schwankten, vor allem in Carlstein, auch innerhalb der Fläche und von Termin zu Termin stark. In Kieve nahm Hanf bis zum Vegetationsende am guten Standort ca. $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ und am schlechten Standort etwa $22 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ auf (Abb. 1). Während des Hanfwachstums war eine Verringerung der N_{\min} -Menge, besonders in der Bodentiefe 0-30 cm zu beobachten.

Tab. 1: TM von Zwischenfrucht-Hanf auf zwei Flächen verglichen mit einer Standard-Zwischenfrucht („ZwiFru“) sowie N_{\min} Mengen an fünf Terminen

			Trockenmasse in dt*ha ⁻¹					Nmin 0-90 in kg*ha ⁻¹				
			T2	T3	T4 _{Hanf}	T4 _{ZwiFru}	T4 _{Unkr.}	T1	T2	T3	T4	T5
Kieve	Hanf	Ø	5.3	13.9	14.4	-	1.0	89.7	64	47	45.1	28.8
		Spanne	4.7-6.4	10.9-18.2	9.6-19.8	-	0.6-1.5	75-112	60-67	43-52	35-58	25-31
Carlstein	Hanf	Ø	4.3	9.7	7.1	-	2.5	64.3	72.0	76.0	60.2	72.1
		Spanne	4.1-4.5	7.9-12.6	5.7-8.3	-	1.5-3.2	19-154	38-13	32-153	36-104	46-119
Carlstein	ZwiFru	Ø	3.8	8.7	-	6.7	2.5	-	92.3	79.5	96.6	129
		Spanne	3.5-4.3	6.0-13.7	-	4.4-9.1	0.0-7.0	-	28-208	24-179	22-216	33-308

Im Gegensatz zu den N-Mengen im Pflanzenmaterial waren die N_{\min} -Mengen nicht eindeutig nach Standortgüten differenzierbar. Insgesamt war unter den Bedingungen 2022 das N-Angebot aus dem Bodenvorrat kein limitierender Faktor für das Pflanzenwachstum, während Saattermin, Vorfrucht und Standortunterschiede deutlicheren Einfluss auf die Biomassebildung von Hanf als Zwischenfrucht hatten.

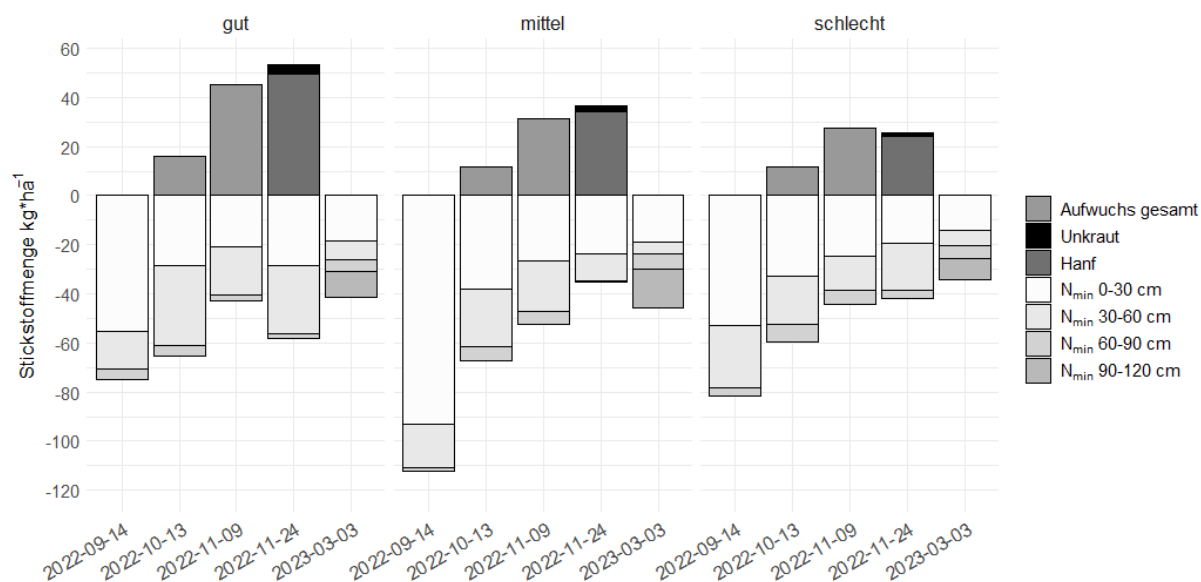


Abb. 1: Geschätzte N-Mengen in der TM von Zwischenfrucht-Hanf und gemessene N_{\min} -Mengen auf dem Feld Kieve nach Standortgüte im Anbaujahr 2022/2023.

Literatur:

Dickeduisberg, M. (2021). Nebenbei auch noch Futterfläche für Vögel: Winterhanf - Zwischenfrucht mit Bioökonomie. Landwirtschaftliches Wochenblatt Hessen (LW 31/2021).

Hammami, N.; Privé, J.-P.; Moreau, G. (2022). Spatiotemporal variability and sensitivity of industrial hemp cultivars under variable field conditions. European Journal of Agronomy, 138, 126549.

Tsaliki, E.; Kalivas, A.; Jankauskiene, Z.; Irakli, M.; Cook, C.; Grigoriadis, I.; Dhima, K. (2021). Fibre and Seed Productivity of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Varieties under Mediterranean Conditions. Agronomy, 11 (1), 171.

Agroforst: Kornertrag und Bestandesentwicklung von Sommerweizen in einem Agroforst-System mit Weiden im Kurzumtrieb

Lena Voßkuhl^{1,2*}, Michel Müller^{1,2}, Miriam Athmann² und Rüdiger Graß¹

¹Universität Kassel, FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen, E-Mail: l.vosskuhl@uni-kassel.de

²Universität Kassel, FG Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen

Einleitung

Agroforstsysteme (AFS) werden als multifunktionale Systeme beschrieben, die vielfältige ökologische und ökonomische Ökosystemleistungen fördern können. Durch einen gekoppelten Anbau von Bäumen und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen können Synergieeffekte für ein verbessertes Pflanzenwachstum und ggf. eine erhöhte Rentabilität sowie eine erhöhte Artenvielfalt erzielt werden.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse sind Teil eines 5-jährigen Forschungsprojekts (Nachhaltige Anbausysteme – Agroforst Kassel, 2021-2025). Ziel ist eine agronomische und ökologische Bewertung eines silvoarablen AFS aus einer annuellen Ackerkultur und Weiden als schnellwachsende Gehölze im Kurzumtrieb (KUP). Dabei werden die Auswirkung zweier unterschiedlicher Bodenbearbeitungsvarianten untersucht. Dargestellt wird der Einfluss einer Fräs- und einer Pflugbodenbearbeitung auf den Kornertrag eines Sommerweizens und dessen Pflanzenentwicklung in Abhängigkeit der Entfernung zu den Baumreihen für das Untersuchungsjahr 2022.

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden in einem im März 2011 angelegten Agroforstsystem in Reiffenhausen, Landkreis Göttingen durchgeführt (Graß et al. 2020). Das Alley-Cropping-System besteht aus alternierenden 80 m langen Reihen von Weiden ((*Salix viminalis* x *Salix Schwerinii*) x *Salix viminalis* = Züchtung Tora x Z. Ulv) und einer Ackerkultur in dreifacher Wiederholung. Die Breite der Gehölzstreifen beträgt 7 m und die der Ackerstreifen 9 m, Ausrichtung Südwest nach Nordost. Die Gehölze der KUP befinden sich in der 4. Rotation mit letztmaliger Ernte im Februar 2021. Der ursprüngliche Grünlandbestand (2011-2021) mit Ackerstatus wurde in der 4. Rotation im Herbst 2021 umgebrochen. Im folgenden Frühjahr erfolgten zwei unterschiedliche Bodenbearbeitungen (Fräse/Pflug) und die Einsaat eines Sommerweizens (Sorte *Quintus*).

Die Erhebung der Ertragsdaten, sowie die Bonitur der Entwicklungsstadien des Weizens (BBCH-Stadien im 14-tägigen Rhythmus) erfolgte in Abhängigkeit von der Distanz zu den Bäumen entlang eines Transekts in den Ackerstreifen mit ursprünglich 5 gleichmäßig verteilten Transektpunkten (TP). Für die vorgestellten Untersuchungen wurden Daten an den TP 1 und 5 in den Randbereichen des Weizenbestands jeweils in 1m Entfernung zu den KUP-Streifen sowie an TP 3 (Mitte des Ackerstreifens) erhoben. Vergleichend wurde als Referenz auf einer benachbarten Ackerfläche der standortübliche Ertrag des Weizens und dessen Entwicklung erhoben.

Ergebnisse und Diskussion

Am 26.07.2022 wurde der Weizen geerntet. Dabei wurden in den Randbereichen (TP 1 und 5) geringere Erträge verzeichnet als im mittleren Bereich (TP 3, der am wenigsten von den Bäumen beeinflusst war (Abb. 1).

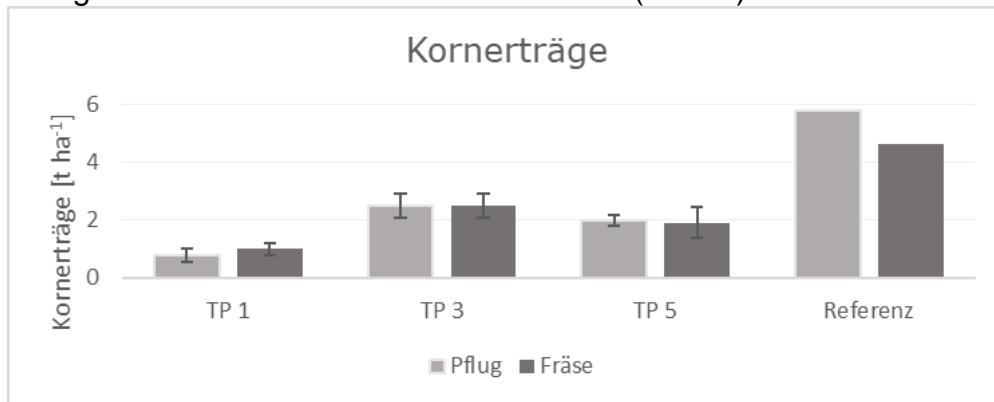


Abb. 1: Kornerträge [t ha⁻¹] des Sommerweizens unter Einfluss der Bodenbearbeitungsvarianten Pflug, Fräse vor Weizen an den Transektpunkten (TP) 1, 3, 5 und der Referenzflächen ohne Agroforst, Reiffenhausen 2022.

An TP 5 lagen die Erträge höher als an TP 1. Der im süd-westlichen Bereich liegende TP 1 ist im Tagesverlauf am längsten einer Beschattung ausgesetzt, was vermutlich zu geringeren Erträgen führte. Auch wenn das Jahr 2022 von sehr starker Trockenheit geprägt war, schien die im Boden gespeicherte Winterfeuchtigkeit ausgereicht zu haben, damit sich an den TP 3 und 5, trotz stärkerer Sonneneinstrahlung als an TP 1, kräftigere Bestände entwickeln konnten. Die potenziell positive Wirkung einer stärkeren Beschattung hinsichtlich einer verbesserten Feuchtigkeitskonservierung im Boden kam hier nicht zum Tragen, sondern diese wirkte sich negativ aus. Auf den Vergleichsflächen (Referenz) wurden deutlich höhere Weizenerträge als im Agroforstsystem erzielt, allerdings befinden sich diese Flächen außerhalb der Agroforstfläche, haben eine bessere Bodenqualität und eine andere Bewirtschaftungshistorie, so dass ein Vergleich nur bedingt zulässig ist und diese Werte eher einer Orientierung für ein standorttypisches Ertragspotenzial dienen.

Bei den Bearbeitungsvarianten Pflug versus Fräse, die sich ggf. auf das Wurzelwachstum der Bäume im Ackerstreifen des Agroforstsystems auswirken könnten, führte zu keiner klaren Auswirkung. Auf der Referenzfläche waren die Erträge der Pflugvariante höher. Die Entwicklung des Weizens (BBCH-Stadien) erfolgte am TP 1 zunächst verzögert im Vergleich zu TP 3 und 5. Ebenso wurde an TP 1 eine geringere Bestandesdichte ermittelt. Ende Mai/Anfang Juni hatten die Bestände an TP 1 diese Entwicklung aufgeholt, allerdings blieben sie ertraglich deutlich schwächer als an TP 3, so dass dies wohl eher ein Effekt der schnelleren Abreife evtl. sogar der Notreife war. Ein Unterschied in der Entwicklung konnte zwischen Fräs- und Pflugvariante nicht beobachtet werden.

Literatur

Graß, R., Malec, S., Wachendorf, M. (2020): Biomass Performance and Competition Effects in an Established Temperate Agroforestry System of Willow and Grassland—Results of the 2nd Rotation. *Agronomy* 10, (11), 1819.

Agroforst: Neuanlage eines Agroforstexperiments - Alley-Cropping mit Walnuss, Haselnuss und Johannisbeere

Lena Voßkuhl^{1,2,3}, Michel Müller^{1,2,3}, Wanda Burzik^{2,3}, Rüdiger Graß^{1,3}
und Miriam Athmann^{2,3}

¹Universität Kassel, FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen, E-Mail: l.vosskuhi@uni-kassel.de

²Universität Kassel, FG Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen

³Hessische Staatsdomäne Frankenhausen, Grebenstein

Einleitung

Das Potenzial zu Klimawandelanpassung, Klimaschutz und Biodiversitätssteigerung durch Agroforstsystemen (AFS) ist international in vielen Studien nachgewiesen, allerdings sind die Standortbedingungen hier von entscheidender Bedeutung. In der gemäßigten Klimazone ist speziell der Anbau von Wert- und Fruchtgehölzen in AFS bisher kaum erforscht (Lovell et al. 2018), gerade an der Untersuchung des ökologischen und ökonomischen Potenzials solcher neuen, multifunktionalen Betriebszweige besteht in Praxis und Forschung aber großes Interesse. Die Etablierung eines AFS beinhaltet hohe Investitionen, so dass interessierte Landwirt:innen Erkenntnisse aus Forschung und Praxis benötigen, um die langfristigen Auswirkungen auf Erträge, Boden und Umwelt und damit die ökologische und ökonomische Entwicklung des eigenen Betriebs abschätzen zu können.

Deshalb wurde im November 2022 ein AFS-Experiment mit Ackerkulturen, Walnuss (*Juglans regia* L.), Baumhasel (*Corylus colurna* L.) und Schwarzer Johannisbeere (*Ribes nigrum* L.) auf dem Lehr-, Forschungs- und Transferzentrum für Ökologischen Landbau Hessische Staatsdomäne Frankenhausen auf einer Parabraunerde aus Löss über Röt angelegt. Mit dem Experiment sollen folgende Fragestellungen untersucht werden:

1. Ökologische und ökonomische Effekte von AFS im Vergleich zu Ackerbau und Plantagenwirtschaft: Walnuss und Ackerkulturen im Alley-Cropping im Vergleich zu Ackerkulturen ohne Einfluss von Gehölzen und Walnuss im Plantagenanbau
2. Ökologische und ökonomische Effekte zunehmender Diversität in AFS: Alley-Cropping mit Walnuss im Vergleich zu Alley-Cropping mit Walnuss und Haselnuss sowie mit Walnuss, Baumhasel und Johannisbeere.

Beide Fragen werden jeweils für zwei unterschiedliche Walnusssorten (cv. *Moselaner 120* und cv. *Franquette*) untersucht.

Vorhabenbeschreibung

Das Experiment wurde als randomisierte Blockanlage mit insgesamt drei (2+1) Feldwiederholungen auf zwei räumlich nahe gelegenen Schlägen (10 + 7 ha) etabliert. Die Parzellengröße beträgt 3.200 m² (40x80 m) mit 36 m breiten Ackerstreifen und 4 m breiten Baumstreifen sowie 15 m Abstand zwischen den Walnussbäumen in der Reihe in den Alley-Cropping-Varianten. In der Plantagenvariante beträgt der Einzelbaumabstand 15 m in der Reihe und 13 m zwischen den Reihen. Baumhasel stehen mit jeweils 7,5 m Abstand zwischen den Walnussbäumen, Johannisbeeren mit je 3 Pflanzen auf 7,5 m zwischen Walnuss und Baumhasel. Die Baumstreifen und das Grünland in der Plantagenvariante sind mit

einer Glatthaferwiesenmischung eingesät. Auf den Ackerflächen ist eine betriebsübliche Fruchtfolge aus Getreide und Leguminosen-Gras-Gemengen geplant. Das Experiment wird weitgehend pfluglos ökologisch bewirtschaftet. In Abb. 1 ist der Versuchsplan der ersten beiden Feldwiederholungen auf dem 10 ha großen Schlag „Obere Kiebitzbreite“ abgebildet.

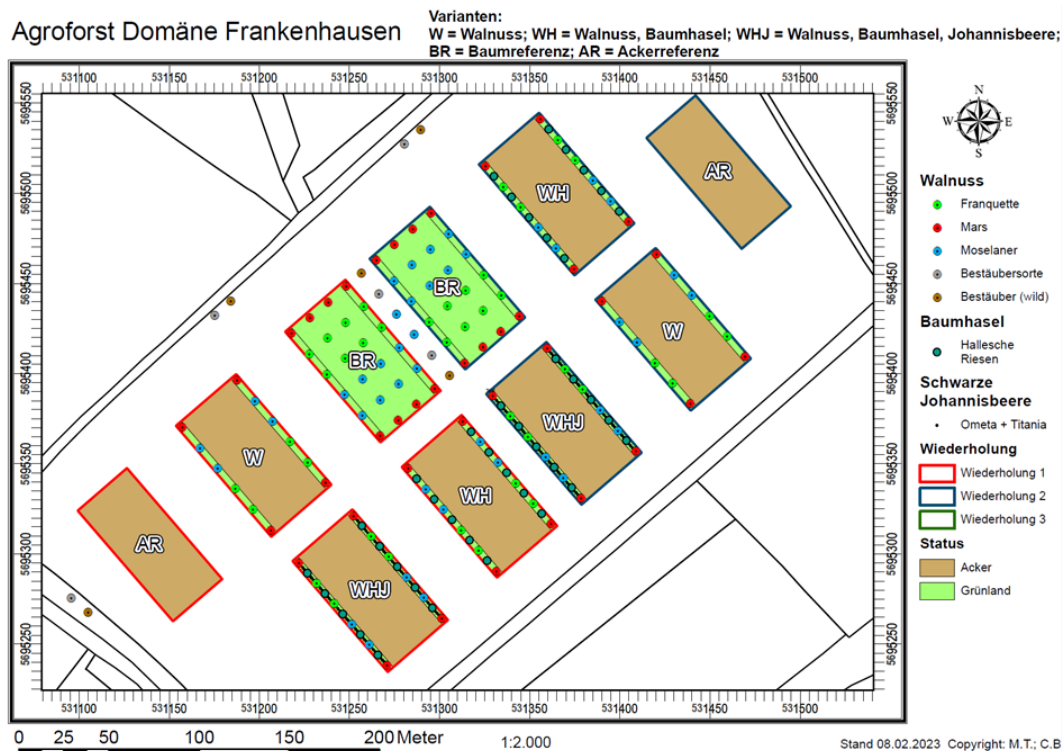


Abb. 1: Versuchsplan Feldwiederholung 1 + 2 des Agroforstexperiments auf der Domäne Frankenhausen.

In den ersten Jahren wird der Ausgangszustand mit den Schwerpunkten Bodenbiologie, -physik und -chemie sowie Biodiversität erfasst. Die vor Anlage des Experiments auf beiden Versuchsflächen durchgeführte Penetrometerkartierung wird im Frühjahr 2023 durch Erhebung weiterer bodenphysikalischer, -chemischer und -biologischer Parameter ergänzt. Auf und rund um die beiden Versuchsflächen wurden Insekten (Malaisefallen), Tagfalter (Sichtung) und Brutvögelreviere kartiert. Ab 2023 werden jährlich Wachstum und Erträge der Ackerkulturen (Transekt quer zu den Baumstreifen) und Gehölze erfasst, geplant sind sukzessive auch Untersuchungen von Bodenwasser- und -nährstoffgehalten, weiteren Bodenparametern sowie des Mikroklimas im Transekt sowie ein kontinuierliches Biodiversitätsmonitoring mit den Schwerpunkten Bodenmikrobiologie, Insekten, Tagfalter und Vögel.

Das Projekt wird vom Land Hessen vertreten durch das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Rahmen des Ökoaktionsplans gefördert.

Literatur

Lovell S.T., Dupraz C., Gold M., Jose S., Revord R., Stanek E., Wolz K.J. (2018) Temperate agroforestry research: considering multifunctional woody polycultures and the design of long-term field trials. *Agroforestry Systems*, 92, 1397-1415. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0087-4>

Entwicklung eines schlagspezifischen Entscheidungsunterstützungssystems für Agroforstsysteme zur Bewertung und Erschließung von Klimaschutzpotentialen

Ahmed Kheir¹, Maren Langhof², Jörg-Michael Greef², Anto Raja Dominic¹,
Jörn Strassemeier¹ und Til Feike¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

²Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig

E-Mail: til.feike@julius-kuehn.de

Einleitung

Zur Erreichung der angestrebten Klimaneutralität Deutschlands bis 2045 sind substantielle Anstrengungen besonders auch im landwirtschaftlichen Sektor notwendig. Agroforstsysteme (AFS), d.h., die gleichzeitige Kultivierung von mehrjährigen Gehölzpflanzen und meist einjährigen Ackerfrüchten oder Grünland auf derselben Fläche, können helfen die Klimaschutzziele im landwirtschaftlichen Sektor zu erreichen. In Deutschland hat sich vor allem die Anlage von Gehölzstreifen als vielversprechendes AFS etabliert. AFS können als Kohlenstoffsenken fungieren und Kohlenstoff im Gehölzstreifen direkt in der Biomasse als auch durch die Erhöhung des Humusgehalts im Boden binden. Laut Beillouin et al. (2023) sind AFS auf die Fläche bezogen die effektivste Anbaumaßnahme zur Erhöhung des organischen Bodenkohlenstoffgehalts. Gleichzeitig wird durch die Gehölzstreifen produktive Fläche für den Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln entzogen. Weiterhin fallen für die Etablierung, Pflege und Ernte der Gehölzstreifen zusätzliche Kosten sowie Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) an. Im Vergleich zu reinen Ackerbausysteme zeichnen sich Agroforstsysteme durch verringerte Windgeschwindigkeiten sowie veränderte Einstrahlungs- und Evapotranspirationsdynamik aus (Jacobs et al., 2022; Markwitz et al., 2020). Die Effekte der Gehölzstreifen, v.a., Beschattung, auf die benachbarte Ackerkultur können je nach Standort, Witterung und Artenwahl positiv wie negativ ausfallen.

Die Einschätzungen über das Potential von AFS als grundsätzlich nachhaltiges und klimaschonendes Anbausystem bauen auf Erfahrungen und Messergebnissen einzelner Systeme auf. Für die Anbauberatung und Abschätzung des tatsächlichen Klimaschutzpotentials fehlt es bisher jedoch an Entscheidungshilfen. Die Entwicklung eines schlagspezifischen modelgestützten Entscheidungsunterstützungssystems (EUS) für AFS zur Bewertung des Anbau- und Klimaschutzpotentials verschiedener Systeme soll helfen diese Lücke zu schließen.

Material und Methoden

Im Projekt KlimAF wird ein EUS entwickelt, das deutschlandweite flächenspezifische Bodendaten der BÜK200, Wetterdaten des DWD in 1km² Auflösung sowie hochaufgelöste Daten zur Hangneigung und Exposition nutzt. Es wird ein Bauminventar entwickelt, das für relevante Baumarten wichtige Parameter wie Zielhöhe und -durchmesser, Kronenform und Licht-Extinktion sowie Belaubungs- und Entlaubungszeiträume beinhaltet. Zudem werden Daten zu jährlichen Zuwachsraten und Kohlenstoffeinlagerung zusammengetragen, u.a., aus vorhandenen Versuchsdaten.

Für verschiedene Gehölzstrukturen wird ein Modell zur Abschätzung der mikroklimatischen Effekte entwickelt, das die veränderte Einstrahlung (Beschattung),

Temperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Distanz zum Gehölzstreifen und Streifenausrichtung, sowie Breite, Höhe, und Dichte (Extinktion) des Gehölzstreifens in täglichen Zeitschritten simuliert. Darauf aufbauend werden mittels prozess-basierter Agrarökosystemmodelle (AÖM; z.B., Jones et al., 2003) die Effekte auf Wachstum, Entwicklung und Ertrag der benachbarten Kulturpflanzen in Abhängigkeit der Distanz zum Gehölz simuliert. Dabei wird auch die mögliche Konkurrenz um Wasser- und Nährstoffe, die entsprechenden Ertragseffekte sowie Stickstoffaufnahme, -auswaschung, -vergasung, und -nutzungseffizienz simuliert. Durch die Integration der Modelle mit Lebenszyklusanalyse wird eine ganzheitliche Standort- und AFS-System-spezifische Klimabilanzierung ermöglicht. Diese „Cradle-to-Farm gate LCA“ berücksichtigt die mit sämtlichen stofflichen und energetischen Inputs verbundenen THG-Emissionen, die mit dem AÖM simulierten Lachgasemissionen mit einem Tier 3 Ansatz sowie die Outputs des Gehölzstreifens sowie des Ackerstreifens unter verschiedenen Fruchtfolgen. Zur Etablierung der Modelkette stehen langjährige Ertragsdaten von Ackerstreifen sowie Daten zum Zuwachs der Gehölzstreifen zur Verfügung. Zusätzliche Daten zum Mikroklima werden zur präzisen Parametrisierung der klimatischen Effekte in Agroforstsystemen erhoben.

Ausblick

Das EUS soll Landwirten und Beratern deutschlandweit schlagspezifisch ermöglichen verschiedenste Agroforstsysteme auf Ihren Flächen virtuell zu etablieren, und die geeignetsten Standorte und passenden Systeme zur Optimierung der Produktivität und Klimaschutzleistung zu identifizieren. Zudem werden Hinweise auf das Klimaschutzpotential durch eine großflächige Umsetzung von AFS in Deutschland unter Berücksichtigung möglicher Verlagerungseffekte durch indirekte Landnutzungs-änderung aufgrund reduzierter Flächenproduktivität generiert.

Literatur

- Beillouin, D., Corbeels, M., Demenois, J. Berre, D., Boyer, A., Fallot, A., Feder, F., Cardinael, R. (2023) A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene. *Nat Commun* 14, 3700. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39338-z>
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Sing, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T. (2003) The DSSAT Cropping System Model. *Eur J Agron* 18: 235-265. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)
- Jacobs, S.R., Webber, H., Niether, W., Grahmann, K., Lüttschwager, D., Schwartz, C., Breuer, L., Bellingrath-Kimura, S.D. (2022) Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into temperate cropping systems. *Ag For Meteor*, 323, 109065. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109065>
- Markwitz, C., Knohl, A., Siebicke, L. (2020) Evapotranspiration over agroforestry sites in Germany. *Biogeosciences*, 17, 5183-5208. <https://doi.org/10.5194/bg-17-5183-2020>

Ackerflächen als Sekundärhabitat für bedrohte endemische Pflanzenarten in Zentralasien?

Maximilian Altstadt¹, Aibek Upenov², Ermek Baibagyshov³, Dieter Trautz⁴,
Thomas Jarmer⁵, Henning Kage¹ und Insa Kühling¹

¹Acker- & Pflanzenbau, Uni Kiel; ²Talas State University, Kirgistan; ³Naryn State University, Kirgistan;
⁴Agrarökologie und umweltschonende Landwirtschaft, Hochschule Osnabrück; ⁵Fernerkundung
und Digitale Bildverarbeitung, Universität Osnabrück E-Mail: altstadt@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Biodiversitätsverlust steht in starker Interaktion mit der Intensität der agrarischen Landnutzung und stellt eine gewaltige Herausforderung unserer Zeit dar. Der Biodiversitätshotspot „Mountains of Central Asia“ ist erheblich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen (Bohovic et al. 2017; Mustaeva et al. 2019). Im Unterschied zu Deutschland ist der Anteil endemischer Arten an der Segetalflora in Zentralasien bedeutend größer (Buttler et al. 2018; Gottwald und Stein-Bachinger 2017; Nowak A et al. 2014a). Infolge des Klimawandels werden die natürlichen Habitats vieler endemischer Pflanzenarten verschoben oder gehen ganz verloren (Raduła et al. 2021). Manche dieser Arten finden jedoch auf extensiv genutzten Ackerflächen ein Sekundärhabitat (Nowak A et al. 2014a). Im Rahmen des dreijährigen Projektes „Sustainable Silk Road 4.0“ sollen Konzepte für eine biodiversitäts-basierte Pflanzenproduktion in Zentralasien am Beispiel Kirgistans entwickelt werden. Das Ziel ist es zu prüfen, inwieweit sich die Produktivität und der Artenschutz auf Ackerflächen in Einklang bringen lassen.

Material und Methoden

Zunächst wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt und geographisch auf den Biodiversitätshotspot „Mountains of Central Asia“ sowie thematisch auf die Pflanzenvielfalt auf Ackerflächen eingegrenzt. Dabei standen die Länder Kirgistan und Tadschikistan im Fokus, da sie fast vollständig innerhalb des Hotspots liegen. Durch Transektkartierungen mit Klima- und Höhengradienten an drei ausgewählten Untersuchungsregionen in Kirgistan (Bischkek, Talas und Naryn) soll in diesem sowie den beiden Folgejahren untersucht werden, ob sich seltene Pflanzenarten auf Ackerflächen befinden und wie sich die Landnutzungsintensität über die Zeit verändert hat (Satellitenbildanalysen).

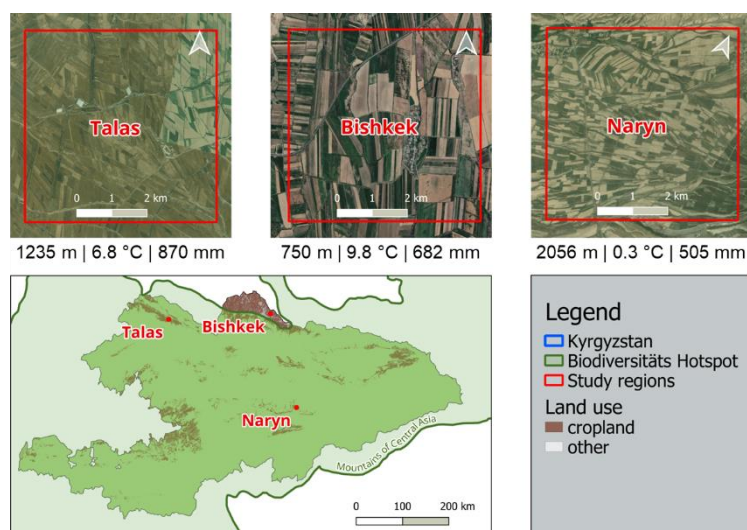


Abb. 1:

Testgebiete (5 x 5 km) mit überwiegend ackerbaulicher Nutzung in den 3 Untersuchungsregionen Talas, Bishkek und Naryn entlang eines Klima-, Höhen- und Nutzungsintensitätsgradienten. Transekte werden von benachbarten Höhenzügen/Nationalparks in die Ackerflächen der Testgebiete kartiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Gebirge Zentralasiens bieten eine Vielzahl an Mikrohabitaten; insbesondere die Geröllvegetation ist sehr artenreich (Nowak A et al. 2014b). Infolge des Klimawandels sind Primärhabitats vieler dieser Arten bedroht (Raduła et al. 2021). Die Vertikalverschiebung von Habitats hat zur Folge, dass manche Arten auf Ackerflächen gelangen und dort ein Sekundärhabitat finden (Nowak A et al. 2014a). Dieses Phänomen wurde in Tadschikistan beschrieben, jedoch gibt es bisher fast keine Studien, die Aufschluss über die Anzahl und Abundanz von Pflanzenarten auf Ackerflächen in Kirgistan liefern (Nowak S et al. 2014). Ground-truth-Untersuchungen in Kirgistan sind daher von hoher Bedeutung. Die zahlreichen Untersuchungen aus Tadschikistan lassen sich nämlich nur bedingt auf Kirgistan übertragen, da trotz des Biodiversitätshotspots, in dem sich beide Länder befinden, erhebliche Unterschiede in den Floren zu erkennen sind (Zhang et al. 2020).

Der Anteil endemischer Gefäßpflanzenarten an der Gesamtfloora des Biodiversitätshotspots weist auch auf nationaler Ebene Unterschiede auf. So finden sich in der Region Talas bedeutend mehr endemische Gefäßpflanzenarten als in der Region Naryn (Tojibaev et al. 2020). Des Weiteren liegt die Region Bischkek außerhalb des Biodiversitätshotspots, weshalb eine Ansiedelung endemischer Arten auf Ackerflächen in dieser Region unwahrscheinlich ist. Inwiefern die Gesamtanzahl an endemischen Arten einer Region Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Segetalfloora hat, muss noch geprüft werden.

Literatur

- Bohovic R, Dobrovolny P, Klein D (2016) The spatial and temporal dynamics of remotely-sensed vegetation phenology in central Asia in the 1982-2011 period. *European Journal of Remote Sensing* 49:279–299. doi:10.5721/EuJRS20164916
- Buttler KP, May R, Metzger D (2018) Liste der Gefäßpflanzen Deutschlands. Florensynopse und Synonyme. *BfN-Skripten* 519:1–286. doi:10.19217/skr519
- Gottwald F, Stein-Bachinger K (2017) Berichte aus dem Projekt ‚Landwirtschaft für Artenvielfalt‘ - Zwischenergebnisse Segetalfloora 2016. WWF-Deutschland. https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publicationen-PDF/Monitoring_und_Evaluation_der_Segetalfloora.pdf
- Mustaeva N, Kartayeva S (2019) Status of Climate Change Adaptation in Central Asian Region. In: Alam M, Lee J, Sawhney P (eds) *Status of Climate Change Adaptation in Asia and the Pacific*. Springer Nature, pp 41–68
- Nowak A, Nowak S, Nobis M, Nobis A (2014a) A report on the conservation status of segetal weeds in Tajikistan. *Weed Research* 54:635–648. doi:10.1111/wre.12103
- Nowak A, Nowak S, Nobis M, Nobis A (2014b) Vegetation of rock clefts and ledges in the Pamir Alai Mts, Tajikistan (Middle Asia). *Cent. Eur. J. Biol.* 9(4):444-460. doi:10.2478/s11535-013-0274-x
- Nowak S, Nowak A, Nobis M, Nobis A (2014) *Caucalido platycarpi*-*Vicietum michauxii* – a new weed association from crop fields of Kyrgyzstan (Middle Asia). *Cent. Eur. J. Biol.* 9(2):189-199. doi:10.2478/s11535-013-0256-z
- Raduła M, Świercz S, Nobis M, Nowak S, Nobis A, Nowak A (2021) Palaeoclimate has a major effect on the diversity of endemic species in the hotspot of mountain biodiversity in Tajikistan. *Scientific Reports* 11:18684. doi:10.1038/s41598-021-98027-3
- Tojibaev KS, Jang CG, Lazkov GA, Chang KS, Sitpayeva GT, Safarov N, Beshko NY, Muktubaeyeva SK, Vesselova PV, Turakulov I, Abdurakhmanova YY, Na N, Park MS, Choi K, Choi HJ, Oh BU, Oh SH (2020) An Annotated Checklist of Endemic Vascular Plants of the Tian-Shan Mountains in Central Asian Countries. *Phytotaxa* 464(2):117–158. doi:10.11646/phytotaxa.464.2.1
- Zhang Y, Zhang D, Li W, Li Y, Zhang C, Guan K, Pan B (2020) Characteristics and utilization of plant diversity and resources in Central Asia. *Regional Sustainability* 1:1-10. doi:10.1016/j.regsus.2020.08.001

MULTIpurpose-Pflanze Hanf: GEwinnung von BioMasse, Lignin und Plattformchemikalien zur Herstellung biopolymerer Werkstoffe (MULTIHEMP)

Lisa Lesser und Simone Graeff-Hönninger

Universität Hohenheim/Institut für Kulturpflanzenwissenschaften/Allgemeiner Pflanzenbau, Stuttgart.
E-Mail: lisa.burgel@uni-hohenheim.de, graeff@uni-hohenheim.de

Einleitung

Hanf ist ein Paradebeispiel für eine „Multipurpose-Pflanze“ und eignet sich aufgrund seiner Vielseitigkeit und der Möglichkeit, die ganze Pflanze (Körner, Blätter, Blüten, Stängel, Wurzel) zu nutzen, hervorragend für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft im Kontext der Bioökonomie. Das Interesse an Hanf für eine Reihe von industriellen Anwendungen hat in den letzten Jahren aufgrund der überlegenen Qualität seiner Fasern in einer Reihe von industriellen Anwendungen zugenommen (Dhakal and Zhang, 2015). Zusätzlich zu den Fasern liefert Hanf hochwertige Samen und Phytocannabinoide mit sich entwickelnden Märkten für Öle und pflanzliche Proteine (Rehman et al., 2021). Im Rahmen dieser Prozesse fallen Nebenprodukte an, die bislang keiner Verwertung zugeführt werden. Im Rahmen von MULITHEMP werden Hanf und Nebenprodukte der Hanf-Faser-Herstellung als Ausgangsmaterial im Kontext einer Bioraffinerie genutzt. Ziel ist es in einem ersten Schritt, Biomasseerträge zugelassener Industriehanfsorten zu evaluieren um Sortenempfehlungen entsprechend der verschiedenen Verwendungszweige zu geben und in einem zweiten Schritt die lokal erzeugte Biomasse durch eine landwirtschaftliche Bioraffinerie in Plattformchemikalien, Lignin, Cellulose, Phytocannabinoide, Öle und Proteine umzuwandeln um somit die vollumfängliche Nutzung der Hanfpflanze zu demonstrieren.

Material und Methoden

Am 10. Mai 2022 wurde ein Versuchsfeld mit 19 Industriehanfsorten (Finola, Féedora17, Santhica27, Santhica70, Eletta Campana, USO31, Futura75, Futura85 etc.) auf der Versuchsstation der Universität Hohenheim, Ihinger Hof, Renningen ausgesät. Für einen statistischen Vergleich der Wachstumsparameter und Biomasseschnitte wurde der Versuch als α -Design mit vier echten Wiederholungen und einer Plotgröße von 8 qm angelegt. Die Aussaatstärke betrug 120 Pflanzen pro qm bei einem Reihenabstand von 15 cm. Zur Samenreife wurden Blüten repräsentativer Pflanzen von allen Sorten geerntet, die Körner ausgedroschen und eine Cannabinoidanalyse der Druschrückstände und Blätter mittels HPLC durchgeführt, um die bei der Stängelnutzung anfallenden Reststoffe wie Blatt und Druschrückstand für eine Gewinnung an Cannabinoiden zu evaluieren. Des Weiteren wurde entsprechend der sortenspezifischen Samenreife 10 repräsentative Pflanzen pro Sorte und Wiederholung geschnitten, die Pflanzen fraktioniert in Stängel, Blätter, Körner und Druschrückstände und das Trockengewicht der einzelnen Fraktionen zu Ertragsfassung erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Ein Sortenvergleich verschiedener zugelassener Hanfsorten zeigte, dass die Stängelerträge der im Feld getesteten Industriehanfsorten zwischen 462,12 g 10 Pflanzen⁻¹ (CS) und 90,67 g 10 Pflanzen⁻¹ (Finola) Trockenmasse schwankte.

Ausgewählte Sorten, wie CS, Dioica88, Muka76, Tiborszallasi etc., welche im Vergleich die höchsten Stängelträge produzierten (Abb. 1), können sich als Ausgangsmaterial im Kontext einer Bio Raffinerie zur Herstellung von Plattformchemikalien, Lignin und Cellulose eignen. Es konnten Körnererträge zwischen $62,52 \text{ g } 10 \text{ Pflanzen}^{-1}$ (Finola) und $20,72 \text{ g } 10 \text{ Pflanzen}^{-1}$ (Muka76) erzielt werden. Zusätzlich können Abfallprodukte wie Blätter und Druschrückstände zur Extraktion von Phytocannabinoiden verwendet werden. Die durchgeführte Cannabinoidanalyse zeigte, dass die anfallenden Reststoffe, wie Hanfblätter ein Cannabidiol (CBDA) Gehalt zwischen $1,24 \text{ }_{[m/m]}$ und $0,06 \text{ }_{[m/m]}$ aufwiesen. Anhand der Ergebnisse eignen sich ausgewählte Industriehansorten für eine mögliche Kaskadennutzung.

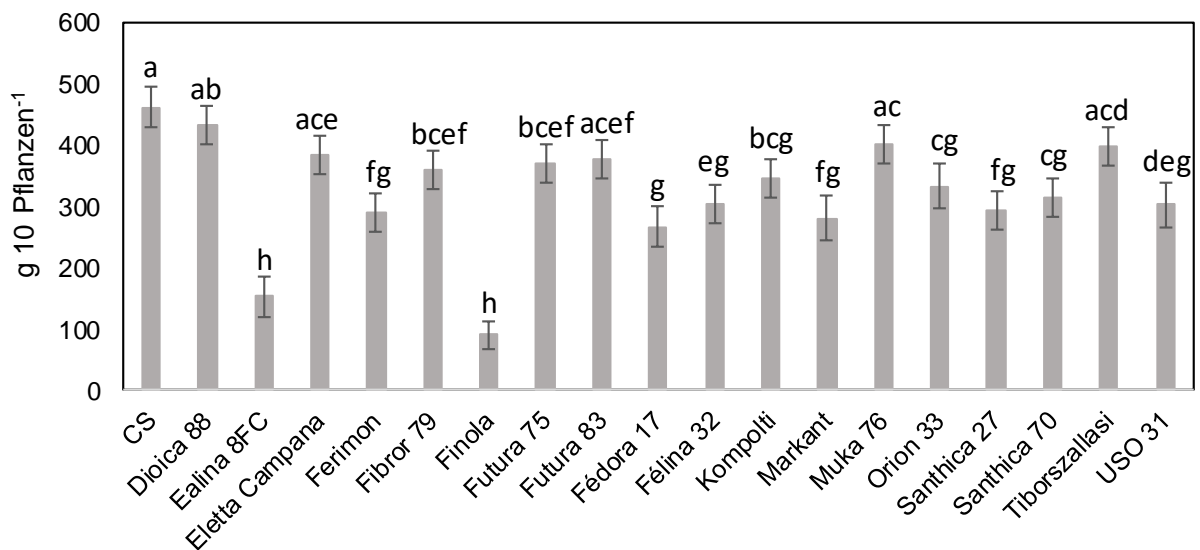


Abb. 1: Stängel trockenmasseertrag verschiedener Industriehansorten in g pro 10 Pflanzen. Mittelwerte mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander bei einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,5\%$.

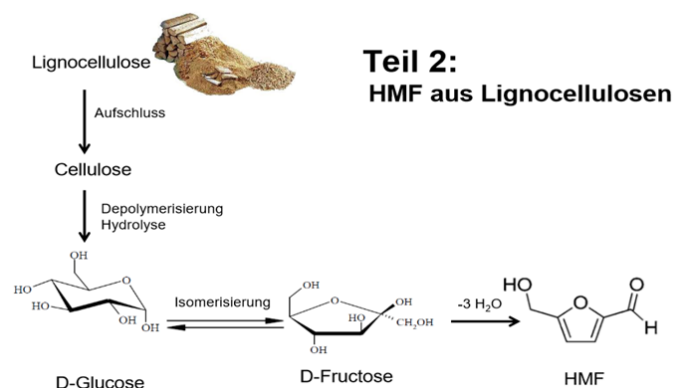


Abb. 2: Weiterverarbeitung der lignocellulosehaltigen Biomasse in Plattformchemikalien wie Hydroxymethylfurfural (HMF).

Literatur

Rehman, M.; Fahad, S.; Du, G.; Yang, Y.; Tang, K.; Liu, L.; Liu, F-H.; Deng, G. 2021: Evaluation of hemp (*Cannabis sativa* L.) as an industrial crop: a review. Environmental Science and Pollution Research 28: 52832-52743.

Dhakar, HN. And Zhang, Z. 2015: Biofiber reinforcements in composite materials, pp 86-103, doi: 10.1533/9781782421276.

Gemengeanbau von Mais und Andenlupine für die Bioenergieerzeugung

H. Böhm¹, F. Höppner², H. Holzgreve¹, D. Wiedow³ und S. Roux⁴

¹Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Westerau; ²Julius Kühn-Institut, Braunschweig;
³Universität Rostock; ⁴Julius Kühn-Institut, Groß Lüsewitz. E-Mail: herwart.boehm@thuenen.de

Einleitung

Die Integration von Andenlupinen (*Lupinus mutabilis* Sweet.) mit hohem Biomassepotenzial in neue Gemengeanbausysteme mit Mais steht im Mittelpunkt des vom BMEL/FNR geförderten vierjährigen Verbundprojektes „LuMi-opt“. Die ersten Ergebnisse zeigten, dass Andenlupinen erfolgreich im Gemenge mit Mais für die Biomasseerzeugung angebaut werden können (Roux et al. 2021).

Ziel der standortübergreifenden Feldversuche ist die Integration neuer Leguminosen wie der Andenlupine zur Förderung der biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft und anderer positiver Eigenschaften, die zu den Ökosystemdienstleistungen gehören, bei gleichbleibend hohen Erträgen für die Biogaserzeugung.

Material und Methoden

Auf Basis der Ergebnisse aus den Jahren 2019 und 2020 erfolgte eine Auswahl von sieben Andenlupinenlinien- und Maissorten-Kombinationen, die als sehr geeignet für den Gemengeanbau identifiziert werden konnten. Diese wurden in insgesamt neun Umwelten mit je zwei Feldwiederholungen geprüft, d.h. im Jahr 2021 an den beiden konventionell bewirtschafteten Standorten Groß Lüsewitz und Braunschweig sowie am ökologisch bewirtschafteten Standort Trenthorst, in 2022 zusätzlich an zwei ökologisch bewirtschafteten Standorten in Groß Lüsewitz und Braunschweig und dem konventionell bewirtschafteten Standort Triesdorf. Vergleichend wurden die Maissorten und Andenlupinenlinien (LUA) in Reinsaat angebaut. Der Gemengeanbau erfolgte in alternierenden Reihen der beiden Gemengepartner. Örtliche Vorgaben hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Aussaattechnik und Vorgaben im Bereich der Unkrautregulierung führten teilweise zu abweichende Reihenabstände von knapp 40 bis 50 cm. Während die LUA-Mais-Gemenge mit einer Saatstärke von 16/8 keimfähigen Körnern (KK) je m² angelegt wurden, kamen in den Reinsaat bei LUA 40 bzw. Mais 10 KK m⁻² zur Aussaat. Als Parameter wurden vegetationsbegleitend Wuchshöhen, BBCH-Stadien sowie zur Ernte die Gesamt-Trockenmasseerträge und die Ertragsanteile von Andenlupinen und Mais erhoben. In Batch-Versuchen wurden zudem die Biogas- und Methanerträge von dem Standort Groß Lüsewitz untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigen deutliche, statistisch abgesicherte Umwelteffekte, die sowohl auf die Witterung bzw. auf die klimatisch unterschiedlichen Gegebenheiten zurückzuführen sind. Im Mittel wurden bei den LUA-Mais-Gemengen 151 dt ha⁻¹ geerntet. Die abnehmende Leistungsfähigkeit der Andenlupine in südlicheren Anbaugebieten des Mais wurde durch eine deutlich geringe Ertragsleistung in der dort gelegenen Umwelt (99 dt ha⁻¹) bestätigt. Der Gemengeertrag lag signifikant unterhalb des mittleren Mais-Reinsaatsertrages (187 dt ha⁻¹).

Bei den geprüften Gemengevarianten zeigten die Varianten mit den Andenlupinenlinien LUA1, LUA2 und LUA24 die höchsten Erträge (Tab. 1), wobei die LUA-Ertragsanteile in den Gemengen mit LUA1 und LUA2 am höchsten und mit LUA24 am niedrigsten ausfielen (Tab. 1).

Tab. 1: Trockenmasseerträge [TME] der Andenlupinen-Maisgemenge [GM], Mais- und Andenlupinen-Reinsaaten im Mittel der Jahre 2021 und 2022 sowie der 9 Umwelten

	GM-TME [dt ha ⁻¹]		LUA-Anteil [%]		Mais-TME [dt ha ⁻¹]		LUA-TME [dt ha ⁻¹]	
LUA1-M1	154,00	b	31,88	d	M1	187,71	LUA1	94,74
LUA1-M5	156,95	b	29,85	d	M2	184,84	LUA2	81,54
LUA2-M2	148,83	ab	23,96	bc	M5	188,94	LUA3	66,31
LUA2-M6	148,86	ab	27,86	cd	M6	186,56	LUA24	62,07
LUA3-M1	138,60	a	22,09	b				
LUA3-M5	148,82	ab	22,11	b				
LUA24-M2	158,67	b	14,38	a				

Tab. 2: Biogasausbeute [$I_N \cdot kg^{-1}$ oS] und Methananteil im Biogas [Vol.% Methan] für die Andenlupinen-Maisgemenge sowie der Reinsaaten von Andenlupine bzw. Mais am Standort Groß Lüsewitz im Mittel der Jahre 2021 und 2022

	$I_N \cdot kg^{-1}$ oS	Vol.% Methan
LUA1-M1	460,96 ab	53,44 bcd
LUA1-M5	522,42 cd	51,76 ab
LUA2-M2	515,03 bc	50,90 a
LUA2-M6	505,01 bc	50,83 a
LUA3-M1	518,43 bc	50,63 a
LUA3-M5	528,27 cd	52,05 abc
LUA24-M2	580,17 d	51,74 ab
LUA1	461,33 ab	54,11 cd
LUA2	431,19 a	55,11 d
LUA3	424,89 a	57,76 e
LUA24	431,84 a	55,10 d
M1	578,60 d	51,79 abc
M2	563,48 cd	51,08 a

Die Biogasausbeute, die von den Ernteproben des konventionell bewirtschafteten Standortes Groß Lüsewitz ermittelt wurde, zeigte die niedrigsten Werte für die LUA-Reinsaaten, die gleichzeitig jedoch die höchsten Methananteile aufwiesen (Tab. 2). Die Biogasausbeute der Gemengevarianten variierte deutlich mit der niedrigsten Ausbeute für das Gemenge LUA1-M1 und der höchsten bei der Variante LUA24-M2, die auf gleichem Niveau mit den Mais-Reinsaaten lag. Auch zeigte am Standort Groß Lüsewitz das Gemenge LUA24-M2 mit 17 % den geringsten LUA-Ertragsanteil im

Vergleich zu den höchsten LUA-Anteilen in den Gemengen mit LUA1 und LUA2 (49 bzw. 43 %).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Andenlupine im Gemengeanbau mit Mais neue Perspektiven für den Energiepflanzenanbau eröffnet. Dabei sollten moderate Ertragsanteile von 20-30 % Andenlupinen angestrebt werden, damit die Ertragsleistung als auch die Gasausbeute nicht negativ beeinflusst wird.

Literatur

Roux S, Höppner F, Holzgreve H, Wiedow D, Böhm H (2021) Andenlupine und Mais – gezielt kombiniert, im Gemenge ein starkes Team. In: Stützel H, Fricke A (eds) 63. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 32, Rostock, pp 20-21

Effekt von erhöhten CO₂-Konzentrationen auf morphologische Merkmale verschiedener Winterweizengenotypen

Lars Kretschmer, Jörg-Michael Greef und Lorenz Kottmann

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig.

E-Mail: lars.kretschmer@julius-kuehn.de

Einleitung

Die globale CO₂-Konzentration wird bis zum Ende des 21. Jahrhunderts voraussichtlich auf 550 - 1000 ppm (SSP 4.5 – 8.5) ansteigen (Riahi et al. 2017). In Anbetracht dieser stetig steigenden CO₂-Konzentration und der damit verbundenen Klimaveränderungen (vermehrte Trockenperioden, Temperaturanstieg) wird es immer wichtiger, wie Kulturpflanzen mit diesen zukünftigen Klimabedingungen zurechtkommt. Da Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) eine der wichtigsten Kulturpflanzen für die menschliche Ernährung ist, ist es besonders wichtig, seine Produktionsfähigkeit zu erhalten. Erhöhte CO₂-Konzentrationen haben das Potenzial, die Ernteerträge zu steigern und die negativen Auswirkungen des Klimawandels wie Trockenheit und Hitzestress abzumildern. Die erhöhten Konzentrationen an CO₂ wirken sich auf diverse Merkmale des Winterweizens aus (Ainsworth und Long 2020). Der „CO₂-Düngeeffekt“ (CFE) beeinflusst verschiedene Eigenschaften von Winterweizen und unterscheidet sich in der Ausprägung für verschiedene Genotypen. Neben den morphologischen Anpassungen variieren auch die Ertragssteigerungen, diese liegen bei C3-Pflanzen zwischen 10-30% (Kimball et al. 2002). Besonders interessant sind die intraspezifischen Variationen der Reaktion auf erhöhte CO₂-Konzentrationen.

Material und Methoden

Im Rahmen des Projektes WheatFACE⁴ untersuchen wir den Einfluss erhöhter CO₂-Konzentrationen (e[CO₂] = 600 ppm) auf 12 Winterweizengenotypen mithilfe einer „Free Air Carbon Dioxide Enrichment“ (FACE) Anlage. Eine Kontrolle ohne erhöhte CO₂-Bedingungen (a[CO₂] = 420 ppm) dient dabei als Referenz.

Im Jahr 2022 haben wir einen FACE-Vorversuch mit 12 Genotypen durchgeführt, und Merkmale wie die phänologische Entwicklung (BBCH), morphologische Merkmale (LAI, Blattfläche der Fahnenblätter), physiologische Merkmale (stomatäre Leitfähigkeit) und agronomische Merkmale (Ertrag und Ertragskomponenten) untersucht. Die Ergebnisse aus diesem Versuch sind nachfolgend dargestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Wir konnten unter e[CO₂] einen signifikant höheren Blattflächenindex, höhere Biomasse sowie einen höheren Ertrag feststellen. Die stomatäre Leitfähigkeit war bei guter Wasserversorgung unter e[CO₂] geringer als unter a[CO₂], wie auch bei Caine et al. 2023 beobachtet wurde. Während die Leitfähigkeit bei abnehmender Bodenfeuchte unter a[CO₂] fast zum Erliegen kam, konnten die Pflanzen unter e[CO₂] deutlich länger eine höhere Leitfähigkeit aufweisen. Dies lässt auf eine verbesserte Wassernutzungseffizienz schließen.

Innerhalb der 12 untersuchten Sorten konnten wir deutliche Unterschiede in der CO₂-Reaktion feststellen. So haben wir Steigerungen im Kornertrag unter eCO₂ zwischen

⁴ Phänotypische und genetische Determinanten für die Anpassung von Winterweizen an steigende CO₂-Konzentrationen am Beispiel von Braunrost- und Ährenfusariumresistenz

23% (KWS Donovan) bis 56 % (Tobak) beobachtet (Abb. 1). Diese Steigerung ist höher als die Werte, die in der Literatur beschrieben werden, dies liegt möglicherweise an einer Interaktion zwischen $e[\text{CO}_2]$ und Trockenheit während des Versuchs. Welche Merkmale für die Unterschiede in den Erträgen zwischen den Genotypen verantwortlich sind, untersuchen wir aktuell.

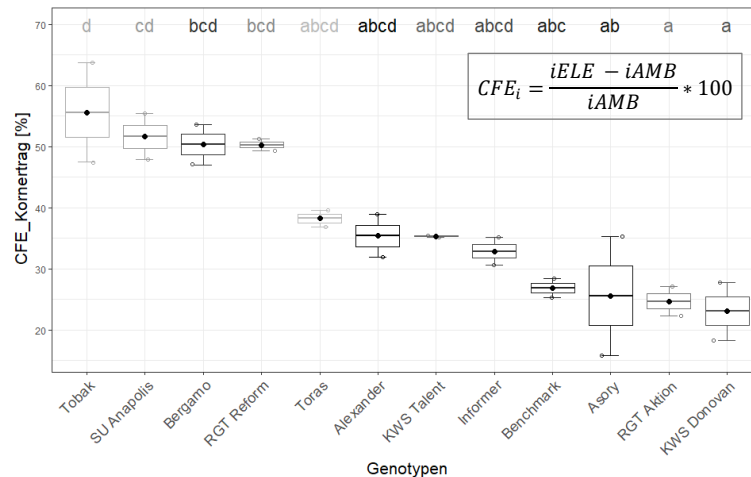


Abb. 1.: Der CFE für den Kornertrag (Versuchsjahr 2022) der verschiedenen Genotypen unterscheidet sich stark. Gruppen mit dem demselben Buchstaben sind nicht unterschiedlich (Tukey-Test, $\alpha=0,05$)

Ausblick

In den Jahren 2023 und 2024 werden weitere Feldversuche mit der FACE-Anlage durchgeführt. Dabei sollen Merkmale identifiziert werden, welche für die Unterschiede im Ertrag und CFE der untersuchten Genotypen verantwortlich sind. Mithilfe dieser Merkmale könnten Genotypen identifiziert werden, die durch die veränderten CO_2 -Bedingungen besonders profitieren und nicht stärker durch Pathogene beeinflusst werden.

In den Versuchen wird zudem eine Inokulation mit Braunrost (*Puccinia triticina*) und Fusarium (*Fusarium graminearum*) durchgeführt. Wir wollen der Frage nachgehen, ob die Anpassung der Genotypen an $e[\text{CO}_2]$ den Befall mit Braunrost oder Fusarium verändert, sowie neue Erkenntnisse für die Interaktion zwischen Genotypen, CO_2 -Behandlung und den Pathogenen schaffen.

Literatur

- Ainsworth, Elizabeth A.; Long, Stephen P. (2020): 30 years of free-air carbon dioxide enrichment (FACE): What have we learned about future crop productivity and its potential for adaptation? In: *Glob. Change Biol.* 27 (1), S. 1–23. DOI: 10.1111/gcb.15375.
- Caine, Robert S.; Harrison, Emily L.; Sloan, Jen; Flis, Paulina M.; Fischer, Sina; Khan, Muhammad S. et al. (2023): The influences of stomatal size and density on rice abiotic stress resilience. In: *The New phytologist*. DOI: 10.1111/nph.18704.
- Kimball, B. A.; Kobayashi, K.; Bindi, M. (2002): Responses of Agricultural Crops to Free-Air CO_2 Enrichment. In: Bd. 77: Elsevier (Advances in Agronomy), S. 293–368.
- Riahi, Keywan; van Vuuren, Detlef P.; Kriegler, Elmar; Edmonds, Jae; O'Neill, Brian C.; Fujimori, Shinichiro et al. (2017): The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. In: *Global Environmental Change* 42, S. 153–168. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.

Vergleich elf verschiedener Möhrensorten hinsichtlich ihres marktfähigen Ertrages und ihrer BRIX-Werte

Marlene Fuchs und Simone Graeff-Hönninger

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Pflanzenbau (340a)/Universität Hohenheim, Stuttgart;
E-Mail: *Marlene.Fuchs@Uni-Hohenheim.de*

Einleitung

Möhren sind für den Frischmarkt und die industrielle Verarbeitung ein bedeutendes Feldgemüse. Im Jahr 2021 wurden in Deutschland 14,7 % von insgesamt 1,1 Millionen t Möhren unter ökologischen Bedingungen angebaut (DESTATIS, 2021a, 2021b). Für den ökologischen Landbau sind samenfeste Sorten von Bedeutung, da diese den Landwirten ermöglichen eigenes Saatgut zu produzieren. Jedoch sind nur 24 von insgesamt 460 in der EU zugelassenen Möhrensorten samenfest (Europäische Kommission, 2017).

Das Ziel dieser Studie ist es, Empfehlungen für Möhrensorten im ökologischen Landbau hinsichtlich ihrer agronomischen Eigenschaften sowie ihres Gehalts an wertgebenden Inhaltsstoffen (hier Zucker) zu treffen.

Material und Methoden

In einem zweijährigen Feldversuch (2020 und 2021) wurden am Standort Kleinhohenheim (Stuttgart, BW, Deutschland) elf Möhrensorten in dreifacher Wiederholung im ökologischen Landbau untersucht. Der Anbau erfolgte auf Dämmen mit 75 cm Reihenabstand. Die Versuche wurden als randomisierte Zeilen-Spalten-Pläne angelegt. Die Aussaatstärke betrug im ersten Jahr 900.000 und im zweiten Versuchsjahr 1.1 Millionen Korn ha⁻¹. Dabei wurden agronomische Eigenschaften und wertgebende Inhaltsstoffe analysiert, wovon hier exemplarisch der marktfähige Ertrag und der Zuckergehalt dargestellt werden. Die Sorten umfassten drei Hybride, fünf samenfeste Sorten und drei Zuchtlinien in verschiedenen Farbvarianten. Der marktfähige Ertrag wurde durch die manuelle Ernte von zwei m² ermittelt, während der Zuckergehalt (in °BRIX) mit einem Handrefraktometer gemessen wurde.

Ergebnisse und Diskussion

Der Möhrenertrag variierte signifikant zwischen den Sorten, von 27,7 ± 4,3 (Purple Sun F1) bis 65,0 ± 3,7 t ha⁻¹ (Solvita). Purple Sun F1 zeigte niedrigere Erträge aufgrund eines hohen Anteils nicht marktfähiger Möhren. Solvita hingegen erzielte hohe Erträge (65,0 t) und wird bereits erfolgreich zur Saftproduktion genutzt. Der durchschnittliche Möhrenertrag im ökologischen Landbau in Deutschland lag 2021 bei 50,61 t ha⁻¹ (DESTATIS, 2021a). Der marktfähige Ertrag wurde nicht signifikant vom Anbaujahr beeinflusst, was auf eine Ertragsstabilität der untersuchten Sorten unter verschiedenen Witterungsbedingungen hindeutet.

Für den BRIX-Wert wurde eine signifikante Sorte*Jahr-Interaktion festgestellt. Im ersten Anbaujahr lagen die BRIX-Werte zwischen 10,99 ± 0,39 (Deep Purple F1) und 9,59 ± 0,38 °BRIX (KS-MOG-CHE-HKÖ). Im feuchteren zweiten Anbaujahr variierten die Werte zwischen 8,72 ± 0,33 (Kyttiger) und 10,75 ± 0,24 °BRIX (KS-MOG-CHE-HKÖ). Fünf Sorten reagierten sensibel auf die Witterungsbedingungen, mit niedrigeren BRIX-Werten im zweiten Anbaujahr. Hierbei könnte es sich um einen Verdünnungseffekt durch erhöhte Wassereinsparung handeln. Bei KS-MOG-CHE-HKÖ wurde ein umgekehrter Effekt beobachtet.

Es gibt Hinweise darauf, dass die untersuchten Möhrensorten in ihren Erträgen über die Jahre stabil sind aber in ihren Gehalten an wertgebenden Inhaltsstoffen auf unterschiedliche Witterungsbedingungen unterschiedlich sensibel reagieren. Um eine abschließende Aussage über die Stabilität der untersuchten Möhrensorten treffen, und somit eine Sortenempfehlung aussprechen zu können, sollten weitere Standorte und insbesondere auch weitere Merkmale (zB. Laubstabilität, Resistenzen gegen Blattkrankheiten, Homogenität der Möhren), sowie weitere wertgebende Inhaltsstoffe wie Phenolgehalte, Carotenoidgehalt und Antioxidatives Potenzial untersucht und in die Bewertung miteingeschlossen werden.

Literatur

DESTATIS (2021a): Anbauflächen und Erntemengen von ökologisch angebautem Gemüse. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Obst-Gemuese-Gartenbau/Tabellen/oekologisches-gemuese.html>, zuletzt geprüft am 13.09.2022.

DESTATIS (2021b): Betriebe, Anbauflächen, Erträge und Erntemengen von Gemüse. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Obst-Gemuese-Gartenbau/Tabellen/betriebe-anbau-erntemenge-gemuese.html>, zuletzt geprüft am 13.09.2022.

Europäische Kommission, 2017. Gemeinsamer Sortenkatalog für Gemüsearten — 3. Ergänzung zur 35. Gesamtausgabe: C/2017/2273\$. Amtsblatt der Europäischen Union.

Phänotypische und genetische Determinanten für die Anpassung von Winterweizen an steigenden CO₂-Konzentrationen am Beispiel von Braunrost und Ährenfusarium (WheatFACE)

Lars Kretschmer¹, Lisa Waßmann², Jasper Krößmann³, Bernd Rodemann², Albrecht Serfling³ und Lorenz Kottmann¹

¹Julius Kühn-Institut / Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig; ²Julius Kühn-Institut / Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Braunschweig; ³Julius Kühn-Institut, Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, Quedlinburg. E-Mail: lars.kretschmer@julius-kuehn.de

Einleitung

Die atmosphärische CO₂-Konzentration steigt seit der vorindustriellen Zeit auf derzeit etwa 420 ppm stetig an und wird sich auch in Zukunft weiter erhöhen (Le Quéré et al. 2018). Bei Pflanzen zeigt sich durch die erhöhte atmosphärische CO₂-Konzentration (e[CO₂]) ein Düngeneffekt, welcher zu einer Zunahme der Biomasse und Ertragssteigerungen führt. Jedoch bietet die vergrößerte Blattfläche auch eine größere potentielle Angriffsfläche für Pathogene (Chakraborty et al. 2011; MELLOY et al. 2010). Auch die Resistenz gegen nekrotrophe Pathogene, die über den Jasmonat-Ethylen-Weg vermittelt wird, scheint bei e[CO₂] durch eine Unterdrückung der Stress-induzierte Jasmonat-Biosynthese verringert zu sein (Bazinet et al. 2022; Martinez Henao et al. 2020; Paudel et al. 2016).

Das interne Verbundprojekt des Julius Kühn-Instituts „WheatFACE“ mit Beteiligung der Institute „Pflanzenbau und Bodenkunde“, „Resistenzforschung und Stresstoleranz“ sowie „Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland“ untersucht den Einfluss von e[CO₂] auf die Pflanzen- und Resistenzentwicklung von Winterweizen sowie auf das Infektionsverhalten von Braunrost (*Puccinia triticina*) und Ährenfusarium (*Fusarium graminearum*). Neben Gewächshausversuchen wird ein ausgewähltes Genotypen-Set mit Hilfe einer „Free Air Carbon dioxide Enrichment“ (FACE)-Anlage unter Freilandbedingungen mit künstlicher Inokulation untersucht.

Material und Methoden

Auf Grundlage von Gewächshausversuchen und der Einstufung in der „Beschreibenden Sortenliste“ des Bundessortenamts, wurden zwölf Winterweizensorten ausgewählt. Hierbei sollte ein möglichst breites Spektrum an verschiedenen Winterweizensorten im Hinblick auf Anfälligkeit für Braunrost und Ährenfusarium, sowie pflanzenbaulichen Parametern abgedeckt werden.

Die Untersuchungen erfolgten im Freiland mit Hilfe einer „Free Air Carbon dioxide Enrichment“ (FACE)-Anlage. Ein ringförmiges Rohrsystem um die Testparzellen ermöglicht hierbei eine kontrollierbare Anreicherung der CO₂-Konzentration tagsüber auf 600 ppm. Als Referenz dient dabei eine Kontrolle im selben Umfang die unter normalen atmosphärischen CO₂-Bedingungen (a[CO₂] = 420 ppm) wachsen.

Die stark Braunrostanfällige Winterweizensorte Borenos wurde als Infektionsstreifen um die Versuchspartellen ausgesät und kurz vor Ende des Schossens (BBCH 37-39) mittels künstlicher Inokulation mit Braunrostsporen infiziert um eine Ausbreitung des Pilzes in die Versuchspartellen beobachten zu können. Im Entwicklungsstadium BBCH 61-69 wurde mit einer *Fusarium graminearum*-Konidien suspension von 3x10⁴ Konidien/mL mittels dreimaliger Sprühinokulation künstlich infiziert. Nach zwei Wochen, als erste Befallssymptome sichtbar wurden, wurde die Befallsstärke der befallenen Ähren und die Befallshäufigkeit an mehreren Zeitpunkten erfasst. Nach

der Ernte wurde der Gehalt an dem Mykotoxin Deoxynivalenol in den Körnern mittels ELISA bestimmt.

Erste Ergebnisse und Diskussion

Das Projekt ist derzeit im zweiten Feldversuchsjahr. Im letztem Jahr wurde die FACE-Anlage zum ersten Mal in Betrieb genommen und erste Untersuchungen durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass die Zunahme der Biomasse und des Ertrags mit den Genotypen variiert. Die Ertragssteigerungen unter e[CO₂] lagen dabei bei 20-60%. Morphologische Anpassungen waren durch eine größere Blattfläche der Pflanzen charakterisiert. Physiologische Veränderungen konnten durch eine veränderte stomatäre Leitfähigkeit (g_s) beobachtet werden. Die Pflanzen unter e[CO₂] zeigten unter trockenen Bedingungen höhere Werte für g_s, was auf eine bessere Wassernutzungseffizienz schließen lässt. Zudem zeigten die verschiedenen Winterweizensorten unter Kontrollbedingungen unterschiedliche Anfälligkeit für *Fusarium graminearum*, in Übereinstimmung mit ihrer Einstufung laut „Beschreibender Sortenliste“. Bei e[CO₂] reagierten die Sorten KWS Donovan und Tobak verglichen mit den Beobachtungen bei a[CO₂] mit erhöhter Anfälligkeit.

Ausblick

In den Jahren 2023 und 2024 werden weitere Feldversuche mit der FACE-Anlage und im Gewächshaus durchgeführt. Dabei sollen die Ergebnisse aus dem Jahr 2022 verifiziert und neue Erkenntnisse für die Interaktion zwischen Genotypen, CO₂-Behandlung und Interaktion mit den Pathogenen geschaffen werden.

Literatur

- Bazinet, Quinn; Tang, Lawrence; Bede, Jacqueline C. (2022): Impact of Future Elevated Carbon Dioxide on C3 Plant Resistance to Biotic Stresses. In: *Molecular plant-microbe interactions* : MPMI 35 (7), S. 527–539. DOI: 10.1094/MPMI-07-21-0189-FI.
- Chakraborty, Sukumar; Luck, Jo; Hollaway, Grant; Fitzgerald, Glenn; White, Neil (2011): Rust-proofing wheat for a changing climate. In: *Euphytica* 179 (1), S. 19–32. DOI: 10.1007/s10681-010-0324-7.
- Le Quéré, Corinne; Andrew, Robbie M.; Friedlingstein, Pierre; Sitch, Stephen; Pongratz, Julia; Manning, Andrew C. et al. (2018): Global Carbon Budget 2017. In: *Earth Syst. Sci. Data* 10 (1), S. 405–448. DOI: 10.5194/essd-10-405-2018.
- Martinez Henao, Julian; Demers, Louis Erik; Grosser, Katharina; Schedl, Andreas; van Dam, Nicole M.; Bede, Jacqueline C. (2020): Fertilizer Rate-Associated Increase in Foliar Jasmonate Burst Observed in Wounded *Arabidopsis thaliana* Leaves is Attenuated at eCO₂. In: *Front. Plant Sci.* 10, S. 1636. DOI: 10.3389/fpls.2019.01636.
- MELLOY, PAUL; Hollaway, Grant; LUCK, J. O.; NORTON, R. O.B.; AITKEN, ELIZABETH; Chakraborty, Sukumar (2010): Production and fitness of *Fusarium pseudograminearum* inoculum at elevated carbon dioxide in FACE. In: *Global change biology* 16 (12), S. 3363–3373. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02178.x.
- Paudel, Jamuna Risal; Amirizian, Alexandre; Krosse, Sebastian; Giddings, Jessica; Ismail, Shoieb Akaram Arief; Xia, Jianguo et al. (2016): Effect of atmospheric carbon dioxide levels and nitrate fertilization on glucosinolate biosynthesis in mechanically damaged *Arabidopsis* plants. In: *BMC Plant Biol* 16 (1), S. 1–12. DOI: 10.1186/s12870-016-0752-1.

Steckbrief zum Sommerkürbis Cucurbita pepo „Tondo chiaro di Nizza“

Elisabeth Abele und Simone Graeff-Hönninger

Universität Hohenheim - Institut für Kulturpflanzenwissenschaften - Pflanzenbau (340a),
E-Mail: graeff@uni-hohenheim.de

Einleitung

Sommerkürbisse sind die essbaren, unreifen Früchte von *Cucurbita pepo* L., einer sehr vielfältigen Art aus der Familie der Kürbisgewächse (Cucurbitaceae) [1]. Von den Sommerkürbissen ist die Zucchini, *C. pepo* subsp. *pepo* – Morphotyp Zucchini, die bei weitem verbreitetste. Die Zucchini lässt sich leicht von anderen Sommerkürbissen durch ihre einheitlich zylindrische Form und ihre intensive Farbe unterscheiden [2] sowie durch ein Verhältnis von Länge zu Breite, das im Allgemeinen zwischen 3,5 und 4,5 liegt [3]. Neben der Zucchini-Gruppe gibt es verschiedene weitere Morphotypen, darunter den hier dargestellten europäischen Kürbis „Tondo chiaro di Nizza“ (kurz: „Tondo“). Dieser Morphotyp ist grün, rund, hat kleine, glatte Früchte mit dünner, verholzter Schale, die an Buschpflanzen wachsen. Es handelt sich um einen Sommerkürbis Morphotyp, der ausschließlich für den Verzehr seiner unreifen Früchte angebaut wird [5]. Ziel der Untersuchung war es zum einen für den Kürbis „Tondo“ ein sortenspezifisches Profil zu erstellen und zum anderen zu verdeutlichen, dass es sich hierbei nicht (wie die in deutschen Supermärkten gehandelten Früchte oft deklariert werden) um eine Zucchini handelt. Als Vergleichssorte diente hierzu die grüne Zuchhinisorte „Black Beauty“ (kurz: „BB“).

Material und Methoden

Die beiden samenfesten Morphotypen wurden innerhalb von drei Versuchsjahren (2017, 2018, 2019) unter ökologischen Anbaubedingungen an der Forschungsstation für ökologischen Landbau Kleinhohenheim der Universität Hohenheim, Baden-Württemberg, auf ihre agronomische Leistung geprüft. Bei dem Feldversuch handelte es sich um ein vollständig randomisiertes Blockdesign mit je drei Wiederholungen (Parzellen) und jeweils sechs Pflanzen pro Parzelle. Die Ernte startete ca. drei Wochen nach Aussaat und erfolgte etwa alle zwei Tage durch das Abdrehen der reifen Früchte. Erfasst wurde der marktfähige Ertrag in g/Pflanze (kumuliert kg/Pflanze) und Ernte innerhalb des gängigen Erntefensters, hier die Ernten vier bis 15. Außerdem wurden drei marktfähige Früchte aus jeder Parzelle einzeln gewogen und ihre Länge (ohne Stiel) und Breite (an der dicksten Stelle) gemessen (beides in cm). Einmal pro Anbausatz wurden weitere detaillierte Untersuchungen zu den agronomisch wichtigen Parametern Fruchtmerkmale (Fruchtform, Fruchtfarbe, Farbnuance in 1=sehr hell bis 9=sehr dunkel, Fruchtlänge in cm, Fruchtdicke in cm, Fruchthalsfarbe, Fruchthalslänge in cm, Fruchtnote in 1=schlecht bis 9=sehr gut) und Wuchstyp (definiert durch „Grad an Verzweigung“ mit 1=unverzweigt bis 9=sehr verzweigt und „Offenheit/Zugänglichkeit“ mit 1=völlig unzugänglich bis 9=ganz offen) dokumentiert.

Ergebnisse und Diskussion

„Tondo chiaro di Nizza“ – Eine Zucchini?

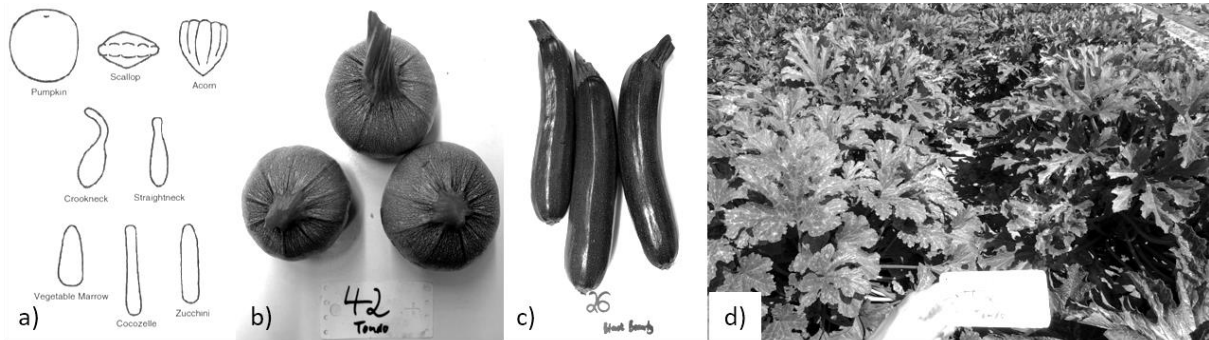


Abb. 1a) Schematische Darstellung der Früchte der acht verschiedenen Morphotyp-Gruppen von *Cucurbita pepo*⁵, **1b)** Der Kürbis „Tondo“, **1c)** Die Zucchini „BB“, jeweils im Anbaujahr 2018, **1d)** Parzelle Nr. 42 im Anbaujahr 2018 mit dem Kürbis „Tondo“.

Abb. 1a) zeigt das gängige Schema zur Einteilung und Bestimmung der verschiedenen Morphotypen von *Cucurbita pepo* L. [5]. Abb. 1b) zeigt ein Foto des Kürbisses „Tondo“ und 1c) ist die Zucchini „BB“. Anhand dieser Einteilung geht klar hervor: „Tondo chiaro di Nizza“ ist (im Gegensatz zur „BB“) keine Zucchini, sondern ein „Pumpkin“ – Kürbis!

Weitere Unterschiede zwischen den Morphotypen konnten bei den Farbnuancen („BB“ ist mit durchschnittlich 8,33 viel dunkler als „Tondo“ mit 5,46), den Fruchthalslängen (der Fruchthals von „Tondo“ ist mit durchschnittlich 4,92 cm im Vergleich zu 2,49 cm deutlich länger) und der Gesamtnote (die Fruchtqualität von „Tondo“ liegt mit einer Durchschnittsnote von 7,17 deutlich höher als „BB“ mit 5,50) gefunden werden. Ob diese Differenzen damit zusammenhängen, dass es sich um zwei verschiedene Morphotypen handelt bedarf weiterer Untersuchungen.

„Tondo chiaro di Nizza“ – Sortenspezifisches Profil:

Marktfähige Erträge: Es konnte statistisch (F-Test) festgestellt werden, dass das Anbaujahr keinen signifikanten Einfluss auf die Höhe der marktfähigen Erträge hatte. Der Kürbis-Morphotyp „Tondo“ erreichte durchschnittlich 3,6 kg marktfähigen Ertrag pro Pflanze innerhalb des definierten Erntefensters über die drei Anbaujahre 2017, 2018 und 2019.

Wuchstyp: Der Grad an Verzweigung einer Zucchini-pflanze und ein offener Pflanzenwuchs ist bei Sommerkürbissen ein wesentliches agronomisches Merkmal. Die Parameter ermöglichen die Einschätzung ob eine gute Zugänglichkeit und Sichtung der Früchte bei der Ernte gegeben ist. Die Abb. 1d) zeigt den Wuchstyp des Sommerkürbisses „Tondo“. Über die drei Anbaujahre zeigte die Kürbissorte mit durchschnittlich 7,9 eine hohe Verzweigung und mit durchschnittlich 2,3 ein niedriges Maß an Offenheit/Zugänglichkeit.

Literatur

- [1] Paris HS. 2008. Summer Squash. In Jaime Prohens, Fernando Nuez (Eds.): Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae. New York, NY: Springer New York, pp. 351–379.
- [2] Lust, Teresa A.; Paris, HS. (2016): Italian horticultural and culinary records of summer squash (*Cucurbita pepo*, Cucurbitaceae) and emergence of the zucchini in 19th-century Milan. In *Annals of botany* 118 (1), pp. 53–69. DOI: 10.1093/aob/mcw080.
- [3] Paris, HS. (2000): History of the Cultivar-Groups of *Cucurbita pepo*. In Jules Janick (Ed.): *Horticultural Reviews*. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Inc, pp. 71–170.
- [4] Paris, HS. (2000): History of the Cultivar-Groups of *Cucurbita pepo*. In Jules Janick (Ed.): *Horticultural Reviews*. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Inc, pp. 87-94.
- [5] Paris HS. 1986. A proposed subspecific classification for *Cucurbita pepo*. *Phytologia* 61: 133-138.

Intercropping as a way of agricultural intensification maximizes productivity and land use efficiency

Salama, H.S.A. and Abdel-Moneim, M.H.

Crop Science Dept., Faculty of Agriculture, Alexandria University, Alexandria, Egypt.
E-Mail: heba.salama@alexu.edu.eg

Introduction

The incorporation of both food and forage crops in an intercropping system is receiving increasing attention, especially in developing countries with increasing populations and limited resources. Intercropping soybean (*Glycine max* [L.] Merr.), as a prominent oil crop, with fodder maize (*Zea mays* L.), as principle forage crop, increases the overall benefit from the farming practice, especially in the low input agricultural systems (Du et al., 2018). Achieving the maximum benefit from the soybean-maize intercropping system would be feasible only with the proper management practices, especially sowing and harvesting adjustment, which would minimize competition and ensure complementarity in resources' utilization (Belel et al., 2014). Main goal of the study was to develop practical recommendations about the appropriate sowing schedule for both crops in combination with the best harvest regime for fodder maize in order to achieve optimum balance between soybean yield on the one hand and maize herbage productivity on the other hand, with maximum land use efficiency.

Materials and Methods

In a two-year (2019–2020) field trial, conducted in Northern Egypt, productivity of soybean fresh biological yield (FBY) and fodder maize herbage dry yield (HDY) were investigated under three sowing schedules; soybean and maize sown together (SS1), and maize sown 15 (SS2) and 30 (SS3) days after soybean, in addition to soybean and fodder maize sown in pure stands, with maize harvested at green fodder maturity (GFM), and silage maturity (SM). Land use efficiency and yield gain were also evaluated using the dry matter equivalent ratio (DMER), compared to the traditional land equivalent ratio (LER). A split-plot experimental design with four replications was employed, with the main plots assigned to the sowing schedule and the sub-plots were dedicated to maize harvest regime.

Results and Discussion

Harvesting maize at SM resulted in higher HDY than harvesting it at GFM, yet it negatively affected the soybean FBY. However, this negative impact was offset when maize sowing was delayed to 30 days after soybean sowing (Table1). This was probably because harvesting maize at SM acquired longer existence of maize crop neighbouring soybean than harvesting it at GFM, which entailed longer period of interspecific competition between both crops. The critical period of pod development and seed setting in soybean occurs between R4 and R7, which usually lasts for around 42 days in average approaching the end of the crop's growth cycle (Fehr and Caviness, 1977). Therefore, early harvesting of maize at GFM terminates the competition between both crops before the beginning of the critical reproductive period of soybean. In addition, harvesting maize long before the canopy of the soybean matures permits light and air through the understory, which will be reflected on a healthier soybean canopy (Dowling et al., 2021). On the other hand, late

harvesting of maize at SM provides a longer period of competition between both crops during the soybean's critical period of development, which will not be in favor of the legume crop. Cereals are generally characterized by vigorous plants with higher growth rates than legumes, thus, they often suppress the growth of accompanying legumes when intercropped together (Belel et al., 2014).

The LER demonstrated yield advantage with the delayed sowing of maize (LER > 1), while the DMER associated the yield advantage with the late harvesting of maize at SM (DMER > 1), across all sowing schedules, which was more realistic for an additive intercropping model where the dry matter is the economic component (Nawar et al., 2018). In a soybean-fodder maize intercropping system, whether fodder maize will be cultivated for green feeding or for silage production, it is recommended to sow it 30 days after soybean, in order to maximize yield advantage and land use efficiency.

Table 1: Variations of the soybean fresh biological yield (FBY) and maize herbage dry yield, as affected by the interaction between sowing schedule (SS) and maize harvest regime (GFM and SM).

Treatment	Soybean FBY (t/ha)		Maize HDY (t/ha)	
	GFM	SM	GFM	SM
SS1	21.49 aC	14.48 bD	1.01 bA	17.12 aC
SS2	32.24 aB	19.31 bC	1.20 bA	17.63 aC
SS3	33.10 aB	31.09 aB	1.01 bA	28.07 aB
Pure	41.94 A	41.94 A	2.28 bA	32.17 aA

Different small letter(s) within the same row, and different capital letter(s) within the same column, denotes significant difference according to the L.S.D. test at 0.05 level of probability.

Table 2: Land equivalent ratio (LER), and dry matter equivalent ratio (DMER) for the tested sowing schedules (SS) and maize harvest regimes (GFM and SM).

Sowing Schedule	Maize Harvest Regime	LER	DMER
SS1	GFM	0.96	0.51
	SM	0.92	1.15
SS2	GFM	1.31	0.83
	SM	1.00	1.31
SS3	GFM	1.27	0.84
	SM	1.49	2.06

References

- Belel, M.D., Halim, R.A., Rafii, M.Y., Saud, H.M. **2014**. Intercropping of corn with some selected legumes for improved forage production: A review. *J. Agric. Sci.* 6, 48
- Dowling, A., Sadras, V.O., Roberts, P., Doolette, A., Zhou, Y., Denton, M.D. **2021**. Legume-oilseed intercropping in mechanised broadacre agriculture—A review. *Field Crops Res.*, 260
- Du, J.B., Han, T.F., Gai, J.Y., Yong, T.W., Xin, S.U.N., Wang, X.C., Feng, Y., Jiang, L., Kai, S., Liu, W.G., et al. **2018**. Maize-soybean strip intercropping: Achieved a balance between high productivity and sustainability. *J. Integr. Agric.*, 17, 747–754
- Fehr, W.R., Caviness, C.E. **1977**. *Stages of Soybean Development*. Iowa Cooperative Extension Service, Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station Special Report Nr 80; Iowa State University: Ames, IA, USA.
- Nawar, A.I., Salama, H.S.A., Shaalan, A.M., Khalil, H.E. **2018**. Land Equivalent Ratio Versus Dry Matter Equivalent Ratio: Adequacy for additive intercropping. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 30, 217-218.

Flower Power am Feld: Käferbohne, Mais und Buchweizen – ein Ensemble mit Mehrwert für den Pflanzenbau

Johannes Kemetter¹, Helmut Wagentristl¹, Hans-Peter Kaul²
und Reinhard Neugschwandtner²

¹Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Schloßhofer Straße 31, A-2301 Groß-Enzersdorf;
E-Mail: johannes.kemetter@boku.ac.at

²Institut Pflanzenbau, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad-Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln

Einleitung

Hülsenfrüchte haben in den letzten Jahren ernährungsphysiologisch zunehmend an Bedeutung gewonnen. Der Anbau von Käferbohnen im Gemenge mit Mais kann einen Mehrwert im Pflanzenbau haben und zur Erhöhung der Biodiversität beitragen. Diese hoch produktive Kultivierungsform wird als Milpa-System bezeichnet und ist heute noch in Regionen Lateinamerikas verbreitet. Das Versuchsziel war die Prüfung der Gemengepartner Käferbohnen und Mais in einer Mischkultur mit sowie ohne Buchweizen als Untersaat im Vergleich zu den Reinsaaten hinsichtlich Bodenbedeckung, Strahlungsaufnahme, Biomasse- und Ertragsbildung sowie Stickstoffaufnahme.

Material und Methoden

Der Versuch wurde in Raasdorf auf den Flächen der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf der Universität für Bodenkultur Wien im Jahr 2019 durchgeführt. Die Fläche liegt 156 m über den Meeresspiegel auf der Praterterrasse des Marchfeldes (Koordinaten: 48°23'20"N 16°59'15"E).

Das Experiment wurde als randomisierte Blockanlage in dreifacher Wiederholung angelegt. Die Saatstärke betrug in den Reinsaaten sowie in den additiven Gemengen bei der Käferbohne 3 Pflanzen m⁻², beim Mais 6 Pflanzen m⁻² und beim Buchweizen 3 g m⁻². Käferbohne wurde in der Reinsaat mithilfe eines Stützgerüsts kultiviert.

Die Aussaat der Käferbohnen und des Mais erfolgte am 30.4.2019 mit einer Einzelkornsämaschine. Für das Gemenge Käferbohne und Mais waren zwei Überfahrten notwendig, wobei Käferbohne in der ersten Überfahrt mit einer Ablagetiefe von 6 cm und Mais in der zweiten Überfahrt in 4 cm Tiefe gesät wurden. Der Abstand zwischen den Reihen betrug 100 cm. Die Untersaat Buchweizen wurde am 14.6.2019 nach dem Hackvorgang kurz vor dem Reihenschluss bzw. vor dem Ranken der Käferbohne händisch gesät und eingearbeitet. Die Ernte erfolgte am 11.11.2019.

Ergebnisse und Diskussion

Die Erträge der oberirdischen Biomasse, von Korn, Hülsenwänden und Trieben der Käferbohne sowie die Hülsendichte, die Hülsen Pflanze⁻¹, der Kornertrag Pflanze⁻¹ und die Anzahl der Körner Pflanze⁻¹ wurden im Vergleich zur Reinsaat im Gemenge mit Mais sowohl mit als auch ohne Untersaat reduziert, wobei es keine Unterschiede zwischen dem Gemenge von Käferbohne und Mais mit oder ohne Untersaat gab. Die alleinige Untersaat von Buchweizen in die Käferbohne reduzierte zudem den Kornertrag der Käferbohne, sowie den Kornertrag Pflanze⁻¹ und die Anzahl der Körner Pflanze⁻¹ (Tabelle 1).

Tab. 1: Ertrag und Ertragsstruktur von Käferbohne in den Käferbohnen-Mais-Gemengen in Abhängigkeit des Pflanzenbestandes

Pflanzen- bestand	OBM	Korn	Hülsen- wände	Triebe	Hülsen- dichte	Hülsen	Kornertrag	Körner
		(g m ⁻²)			(m ⁻²)	(Pflanze ⁻¹)	(g Pflanze ⁻¹)	(Pflanze ⁻¹)
K	1191 ^a	340 ^a	95 ^a	756 ^a	120,5 ^a	40,2 ^a	113,5 ^a	75,3 ^a
K+B	1015 ^a	268 ^b	86 ^a	661 ^a	99,8 ^a	33,3 ^a	89,3 ^b	58,8 ^b
K+M	240 ^b	89 ^c	12 ^b	139 ^b	35,0 ^b	11,7 ^b	29,7 ^c	19,7 ^c
K+M+B	252 ^b	93 ^c	15 ^b	144 ^b	36,5 ^b	12,2 ^b	31,1 ^c	20,3 ^c
ANOVA	***	***	***	***	***	***	***	***

Signifikanzniveaus: $p < 0,001$ (***), **K**: Käferbohne; **K+B**: Käferbohne + Buchweizen; **K+M**: Käferbohne + Mais; **K+M+B**: Käferbohne + Mais + Buchweizen, OBM: Oberirdische Biomasse

Die Erträge der oberirdischen Biomasse, von Korn, Spindel und Stroh des Maises sowie der Kornertrag Kolben⁻¹ und die Anzahl der Körner Kolben⁻¹ wurden im Vergleich zur Reinsaat weder durch die Einsaat von Käferbohnen noch von der Einsaat von Käferbohne und Buchweizen beeinflusst. Nur die Anzahl der Körnerreihen Kolben⁻¹ sowie die Kolbenlänge von Mais wurde im Gemenge reduziert, wobei es keine Unterschiede zwischen dem Gemenge von Käferbohne und Mais mit oder ohne Untersaat gab (Tabelle 2).

Tab. 2: Ertrag und Ertragsstruktur von Mais in den Käferbohnen-Mais-Gemengen in Abhängigkeit des Pflanzenbestandes

Pflanzen- bestand	OBM	Korn	Spindel	Stroh	Korn- ertrag	Körner	Korn- reihen	Kolben- länge
		(g m ⁻²)			(g Kolben ⁻¹)	(Kolben ⁻¹)	(Kolben ⁻¹)	(cm)
M	2121	789	147	1185	139	355	12,4 ^a	22,1 ^a
K+M	1814	701	127	986	124	320	11,7 ^b	20,2 ^b
K+M+B	1975	677	134	1164	116	299	11,9 ^b	20,7 ^b
ANOVA							*	*

Signifikanzniveaus: $p < 0,05$ (*), **M**: Mais; **K+M** Käferbohne + Mais; **K+M+B** Käferbohne + Mais + Buchweizen, OBM: Oberirdische Biomasse

Im additiven Gemenge von Käferbohne und Mais blieben die Erträge sowie Ertragskomponenten von Mais relativ unbeeinflusst, während jene der Käferbohne eine große Abnahme verzeichneten.

Evaluierung des Blütenertrags zweier Phytocannabinoid-reicher Cannabis-Genotypen unter Freilandbedingungen und des Potenzials schrittweiser Gewinnung von Terpenen und CBD mittels Mikrowellen-unterstützter Hydrodestillation

Achim Präger und Simone Graeff-Hönninger

Fachgebiet Pflanzenbau/Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: achim.praeger@uni-hohenheim.de

Einleitung

Cannabis (*Cannabis sativa* L.) ist eine multifunktional nutzbare Pflanze, die unter anderem zur Fasergewinnung, zur Ernährung (hohe Proteinkonzentration und Ölqualität), sowie für kosmetische und medizinische Zwecke angebaut wird. Für die therapeutische Wirkung von Cannabis sind hauptsächlich die beiden Cannabinoide Δ^9 -Tetrahydrocannabinol (THC) und Cannabidiol (CBD) verantwortlich (1). Im Pflanzenmaterial liegen zunächst die pharmakologisch inaktiven Cannabinoid-carbonsäuren (z.B. THC/A, CBD/A) vor, die durch gezielte Erhitzung (< 100°C) decarboxyliert werden. Hierbei gehen jedoch flüchtige Mono- und Sesquiterpene verloren (2). Die schrittweise Gewinnung von terpen-reichem ätherischem Öl mit anschließender Isolation der Cannabinoide erscheint daher als ein möglicher Ansatz um qualitativ hochwertige, Terpen- und Cannabinoid-reiche Produkte zu gewinnen (2). Ziel der Studie war der Einsatz einer Mikrowellen-unterstützten Hydrodestillation (MUH) zur schrittweisen Gewinnung von Terpenen und CBD unter Verwendung von Blütenmaterial (BM) zweier im Feld angebaute Cannabis-Genotypen.

Material und Methoden

Der einfaktorielle Versuch wurde am 20.07.2022 auf einem Schlag (toniger Schluff) der Versuchsstation „Ihinger Hof“ der Universität Hohenheim in vierfacher Wiederholung angelegt. Gepflanzt wurden Jungpflanzen aus Stecklingsanzucht. Die Pflanzdichte betrug dabei 4 Pflanzen m⁻². Je Parzelle fand die Ernte von 6-7 Ganzpflanzen der Genotypen cv. Kanada und cv. Pure CBG am 25.10.2022 statt. Alle Blütenstände der Ernte-Pflanzen wurden separiert, getrimmt und deren pflanzenspezifische Frischmasse (FM) bestimmt. Das BM innerhalb eines Genotyps wurde zu einer Mischprobe vermengt und zerkleinert (> 1,5 cm). Daraus wurde jeweils eine Teilprobe von 25 g FM entnommen. Danach erfolgte die MUH von jeweils 525 g Blüten-FM mit dem Mikrowellen (MW) - System ETHOS X-TE (MLS Mikrowellen-Labor-Systeme GmbH, Leutkirch, Deutschland). Vor dem Start des Extraktions-Prozesses wurde das in einen Glasreaktor gefüllte Material zu ca. 95% mit Wasser bedeckt. Die MW-Leistung während der Extraktionen wurde wie folgt eingestellt: 0 W für 1 min, 1600 W für 12 min (Aufheizphase) und schließlich 1400 W für 25 min (Haltephase). Die angestrebte Zieltemperatur während der Aufheiz- bzw. Haltephase lag bei 110 °C. Aus dem aufgeschlossenen BM wurde jeweils eine Teilprobe von 100 g entnommen. Die frischen und aufgeschlossen Teilproben wurden bei 30 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, gemahlen und via Extraktion für die CBD-Analytik mittels HPLC aufbereitet.

Ergebnisse und Diskussion

Beide Genotypen zeigten mit einer Blüten-TM von 128,3 bzw. 143,8 g m⁻² einen ähnlichen Ertrag (Tab. 1), der Verglichen mit dem üblichen Innen-Anbau (Blüten-TM bis zu 600 g m²) als gering einzustufen war (1). Begründbar ist dies insbesondere mit der nicht vorhandenen Kontrolle klimatischer Gegebenheiten. Dennoch kann der Feldanbau eine kosteneffektive Alternative für die Produktion großer Mengen an Ausgangsmaterial zur Herstellung von Extrakten oder zur Isolierung von Reinsubstanzen darstellen (3). Der Ertrag an ätherischem Öl unterschied sich zwischen beiden Genotypen ebenfalls nicht signifikant, wobei cv. Kanada mit 23,3 L ha⁻¹ tendenziell einen größeres Ertragspotenzial aufwies (Tab. 1). Die CBD-Analytik des aufgeschlossenen BM zeigte bei beiden Genotypen, dass während der MUH eine signifikante Decarboxylierung einsetzte. Dementsprechend lag CBD danach

größtenteils in seiner aktiven Form vor, wohingegen im unbehandelten BM CBD/A dominierte (Abb. 1[A], 1[B]). Somit lieferte die geprüfte Extraktionsmethode gegenüber gängigen Extraktionsmethode, u.a. den Vorteil einer zeitgleich stattfindenden Decarboxylierung, die jedoch unvollständig war. Um eine vollständige Decarboxylierung zu erreichen, sollten versch. Variationen der Extraktionsparameter geprüft werden (2).

Tab. 1: Blüten-Trockenmasse (TM) und Öl-Ertrag (\pm Standardfehler) zweier im Freiland angebaute Cannabis-Genotypen. Werte in einer Zeile, welche denselben Kleinbuchstaben teilen unterscheiden sich nicht signifikant.

Parameter	Genotyp	
	Kanada	Pure CBG
Blüten-TM (g m^{-2})	128,3 ^a ($\pm 5,4$)	143,8 ^a ($\pm 6,1$)
Öl-Ertrag (L ha^{-1})	23,3 ^a ($\pm 2,6$)	15,9 ^a ($\pm 1,8$)

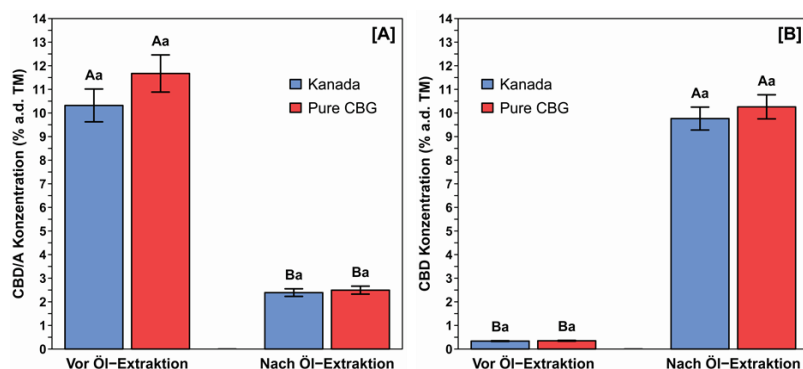


Abb. 1: CBD/A [A] und CBD Konzentration (C) [B] in der Blüten-TM zweier im Freiland angebaute Cannabis-Genotypen vor und nach der Öl-Extraktion. Säulen, welche denselben Großbuchstaben bzw. Kleinbuchstaben teilen unterscheiden sich nicht signifikant: Großbuchstaben vergleichen die C in frischem bzw. aufgeschlossenem BM innerhalb eines Genotyps; Kleinbuchstaben vergleichen die C von frischem bzw. aufgeschlossenem BM zwischen den Genotypen. Fehlerbalken: Standardfehler.

Da der Extraktionsprozess zu einer Aufkonzentration bzgl. der gesamten CBD Konzentration im aufgeschlossenen BM führte (Tab. 2), war nicht von CBD Verlusten auszugehen. Neben der Extraktion von Öl war die Aufkonzentration u.a. auf das Anreichern von Polyphenolen in der Wasser Fraktion zurückzuführen (2). Generell war die im Mittel beider Genotypen erfasste CBD Gesamtkonzentration vergleichbar mit Analysen anderer Feldversuche (3). In einem Nächsten Schritt sollte die Quantität bzw. Qualität des im Öl enthaltenen Terpen-Spektrums geprüft werden um die Eignung der Extraktionsmethode zu verifizieren.

Tab. 2: Genotyp-Mittel der gesamten CBD Konzentration im BM vor und nach der Öl-Extraktion. Werte einer Zeile, welche denselben Kleinbuchstaben teilen unterscheiden sich nicht signifikant.

Parameter	Analyse-Zeitpunkt	
	Vor Öl-Extraktion	Nach Öl-Extraktion
CBD-Konzentration total (% a.d. TM) [\pm CBD + CBD/A in CBD-Äquivalente]	9,98 ^b ($\pm 0,47$)	12,16 ^a ($\pm 0,47$)

Literatur

- 1) Backer, R., Schwinghamer, T., Rosenbaum, P., McCarty, V., Eichhorn Bilodeau, S., Lyu, D., Smith, D.L., 2019. Closing the Yield Gap for Cannabis: A Meta-Analysis of Factors Determining Cannabis Yield. *Frontiers in plant science* 10, 495.
- 2) Gunjevic, V., Grillo, G., Carnaroglio, D., Binello, A., Barge, A., Lyu, D., Gravatto, G., 2021. Selective recovery of terpenes, polyphenols and cannabinoids from Cannabis sativa L. inflorescences under microwaves. *Industrial Crops and Products* 162, 113247.
- 3) Chandra, S., Lata, H., ElSohly, M.A., P., Walker, L.A., Potter, D., 2017. Cannabis cultivation: Methodological issues for obtaining medical-grade product. *Epilepsy & Behavior* 70, 302-312.

Gemengeanbau von Mais mit Andenlupine – Ganzpflanzensilierung und Biogasausbeute

Frank Höppner¹ Denny Wiedow² und Steffen Roux³

¹Julius Kühn-Institut/Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig; ²Universität Rostock;

³Julius Kühn-Institut, Groß Lüsewitz. E-Mail: frank.hoepfner@julius-kuehn.de

Einleitung

Der Gemengeanbau von Mais mit Andenlupine (*L. mutabilis*) kann einen wertvollen Beitrag zur Anbaudiversifizierung leisten und vielfältige ökosystemare Leistungen beisteuern. Die beim Aufwuchs sich bildende Biomasse bietet sich als siliertes Material zur Energiegewinnung in Biogasanlagen an. Kenntnisse zur Siliereignung unter Prüfung des Einsatzes von Siliermitteln als auch zur Biogasausbeute wurden in dem BMEL/FNR-geförderten Verbundprojekt LuMi-opt mit Erntematerial vom Braunschweiger Versuchsanbau ermittelt.

Material und Methoden

Auf dem Versuchsfeld in Braunschweig-Völkenrode wurde in den Jahren 2021 und 2022 eine Andenlupine im Gemenge mit einer Maishybriden (LUA-2/M2) als auch beide in Reinsaat (LUA-2, M2) angebaut, Anbauhinweise vgl. Höppner (2021). Zur Silierreife erfolgte mit dem Erntegut eine Befüllung von Silos im Labormaßstab (Weckgläser, 1,5 l, verdichtet). Ergänzend zu den unbehandelten Kontrollen wurden Varianten mit 2 biologischen Siliermitteln (ausschließlich homofermentative Milchsäurebakterien (MSB), Zusatz biol. 1, homo- u. heterofermentative MSB, Zusatz biol. 2) und einem chemischen Siliermittel (Wirksamkeit gegen Hefen und Schimmel, Zusatz chem.) angesetzt. Nach mindestens 90 Tagen wurden die fertigen Silagen geöffnet, qualitativ bewertet, deren aerobe Stabilität (ASTA) über einen Zeitraum von 7 Tagen geprüft sowie in Batch-Versuchen die Biogas- und Methanerträge untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Das Erntegut der Reinsaat- und Gemengevarianten erfüllte in beiden Jahren nicht immer die Richtwerte für eine gute Gärfähigkeit (Tab. 1, grau hinterlegt). Zumindest

Tab. 1: Kennwerte zur Silierfähigkeit des Ernteguts des Gemengeanbaus und der Reinsaat

Prüfglied	TM	Z/PK	VK	Hefen	Schimmel	MSB Kontrolle	MSB Zusatz biol. 1	MSB Zusatz biol. 2
				[KbE g FM ⁻¹]	[KbE g FM ⁻¹]	+ Zusatz chem. [KbE g FM ⁻¹]		
2021								
LUA-2/M2	33,3	2,8	51	1,1E+05	7,7E+03	1,5E+05	9,7E+04	9,1E+05
M2	34,7	2,6	51	3,3E+06	1,0E+04	2,1E+06	2,0E+06	2,2E+06
LUA-2	19,4	1,0	20	4,0E+03	<1,0E+03	3,4E+05	1,2E+06	1,9E+06
2022								
LUA-2/M2	37,7	1,3	49	9,0E+04	2,2E+03	4,4E+05	8,7E+05	1,2E+06
M2	46,0	1,7	60	2,9E+05	2,3E+03	3,4E+05	4,7E+05	2,6E+06
LUA-2	21,5	0,3	24	1,0E+05	3,0E+03	4,2E+05	3,7E+05	8,3E+05

KbE = Koloniebildende Einheiten, TM = Trockenmasse, FM = Frischmasse

Richtwerte (Jänicke 2011)

Z (Zucker)/PK (Pufferkapazität) Quotient: mind. 2 Hefen: <1,0E+05
VK = Vergärbarkeitskoeffizient: mind. 45 Schimmel: <1,0E+04

lagen die Vergärbarkeitskoeffizienten (VK) von ≥ 45 des Gemenges und der Reinsaat Mais genügend hoch. Insofern hatten die vorwiegend unterhalb des Richtwertes von 2,0 liegenden Werte des Z/PK-Quotienten hinsichtlich der Einschätzung des Gärverlaufes nur eine noch untergeordnete Aussagekraft. Die Keimbelastung insbesondere des Gärschädlinge Hefen war als hoch einzustufen. Deren negative Aktivität bezüglich der Auswirkungen auf Gärverluste kann während des Gärprozesses bei schneller Ansäuerung allerdings ausgeschaltet werden. Bei Zugabe der biologischen Siliermittel war ein Anstieg der Milchsäurebakterien (MSB) nachweisbar.

Nach Öffnung der Silagen lagen die pH-Werte aller Prüfglieder mit ± 4 im sauren Milieu. Nur bei LUA-2/Zusatz biol. 2 fiel die Absenkung mit maximal 4,9 (2021) und 4,8 (2022) durch eine bei der Silierung höhere Alkoholproduktion geringer aus. Die Gärschädlinge Hefen und Schimmel wurden in allen Silagen an sich gut unterdrückt. Allerdings bei dem Gemenge, Kontrolle (2021+2022) u. Zusatz biol. 1 (2021) waren noch Hefen festzustellen. Der Anteil dieser untersuchter Silagen mit einem Hefenbesatz $>1,0E+03$ KbE g^{-1} FM lag bei 100% in 2021 und 66% in 2022. Gärverluste wiesen eine Spannweite von 3,2 bis 8,2% auf. Wie erwartet waren dabei die höheren Werte bei der Reinsaat Lupine und durchweg bei Einsatz des Zusatzes biol. 2 bedingt durch heterofermentative Gärung vertreten. Die aerobe Stabilität von 7 Tagen konnte von jenen Silagevarianten mit noch nachweisbarem Hefenbesatz gegenüber allen anderen Varianten nicht geleistet werden. Schon nach 1,4 bis 5,0 Tagen kam es zu einer Erwärmung, welches folglich zu einem Wiederanstieg der pH-Werte auf 4,7 bis 6,6 führte und auch mit höheren TM-Verlusten nach ASTA verbunden war. Bei der Reinsaat Lupine waren dabei leicht höher auftretende TM-Verluste ausschließlich durch entstandenes Silierwasser während des Silierprozesses verursacht.

Höchste Biogas- und Methanausbeuten erzielte in beiden Jahren der Mais gefolgt von der Gemengevariante und der Andenlupine, vorwiegend die Silagen bei Zusatz biol. 2 (Tab. 2). LUA-2 wies gegenüber den anderen Prüfgliedern meist deutlich höhere Methangehalte aus.

Tab. 2: Biogas- und Methanausbeuten sowie der Methananteil von Silagen des Gemengeanbaus und der Reinsaaten

Prüfglied	Biogas Methan Methan			Biogas Methan Methan			Biogas Methan Methan		
	[l _N kg ⁻¹ oS]	[Vol %]	[Vol %]	[l _N kg ⁻¹ oS]	[Vol %]	[Vol %]	[l _N kg ⁻¹ oS]	[Vol %]	[Vol %]
	Erntegut			Kontrolle			Zusatz biol. 2		
2021									
LUA-2/M2	599,0	328,5	54,9	564,3	292,4	51,8	595,0	324,9	54,6
M2	619,1	339,5	54,8	631,1	344,8	54,6	614,7	333,5	54,2
LUA-2	451,3	257,2	57,0	437,2	252,3	57,7	463,8	288,3	62,2
2022									
LUA-2/M2	533,0	292,2	54,8	552,3	307,4	55,7	540,3	330,2	61,1
M2	566,5	308,0	54,4	569,2	304,9	53,6	652,7	359,0	55,0
LUA-2	410,7	227,2	55,3	426,9	237,1	55,6	418,2	246,4	58,9

Literatur

- Höppner F, Roux S (2021) Andenlupine mit Mais – Silierfähigkeit und Qualität. In: Stützel H, Fricke A (eds) 63. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 32, Rostock, pp 179-180
- Jänicke H (2011) Grobfutter- und Substraterzeugung. In: Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung, 8. Aufl., DLG, Frankfurt, pp 23-50

Influence of Pruning, Topping and Defoliation on Morphology of *Cannabis sativa* L.

Philipp Reichel, Sebastian Munz and Simone Graeff-Hönninger

Institute of Crop Science, Department of Agronomy, University of Hohenheim, 70599 Stuttgart.
Email: philipp.reichel@uni-hohenheim.de

Introduction

The cultivation of *Cannabis sativa* L. has a long history. Despite drug control regulations, cultivation practices have persisted, leading to the accumulation of knowledge, particularly on indoor cultivation methods. Pruning techniques play a crucial role in cannabis cultivation systems, offering potential benefits for plant design. However, scientific understanding of the effects of pruning on plant architecture remains limited. This study aims to investigate the effects of different pruning techniques on plant architecture in *Cannabis sativa* L.. The results of this study will contribute to the development of evidence-based cultivation practices and further research into the cultivation of *Cannabis sativa* L.

Material and Methods

A greenhouse experiment was conducted at the University of Hohenheim, Germany, from January to April 2022. *Cannabis sativa* L. strain Canada (KAN) was grown under a ceramic metal halide lamp (CHD Agro 400) with 500 PAR at canopy height. Five pruning treatments (C, P, P+T, DL, DH) were applied in three replicates. Plants were randomised within the tables and harvested at different times. 150 experimental plants were propagated from mother plants and planted in 4 L square pots. Five pruning treatments were applied: control (C), pruning (P), pruning + topping (P+T), low defoliation (DL) and high defoliation (DH). In the control treatment, no pruning was carried out. In P and P+T, the first 6 lateral shoots were removed at DAP 7 and in P+T, topping was performed at DAP 20 when a further 6 lateral shoots had developed. For DL and DH, main and secondary leaves were removed at DAP 20 and 55, without removing side shoots. The amount of defoliation was determined from the leaf area of the previous biomass cut. For DL, 105 cm² (0.35 g DM) of leaf area was removed at DAP 20 and 359 cm² (1.375 g DM) at DAP 55. For DH, 264 cm² (0.725g DM) leaf area was removed at DAP 20 and 843 cm² (3.143g DM) at DAP 55. Non-destructive measurements were taken every seven days, including plant height, number of nodes, length of internodes, length of branches, number of branches, number of main leaves and branch leaves. Main leaves were defined as leaves developing from the nodes of the main stem, while branch leaves included all remaining leaves.

Results and Discussion

Height response to different treatments is critical in indoor cultivation due to limited resources and the need for canopy uniformity. Controlling plant height is essential to avoid burning plants with grow lights and to ensure efficient light distribution (Figure 5a). Canopy uniformity plays an important role in indoor environments as it helps to prevent mutual shading and maintain uniform light exposure. Of the five treatments, control (C) plants had the tallest height, followed by low defoliation (DL) and high defoliation (DH), while pruning (P) and pruning with topping (P+T) resulted in progressively shorter heights (Figure 5a). Topping, in particular, proved to be highly

effective in reducing plant height while promoting the development of equally long branches (Ačko et al., 2019).

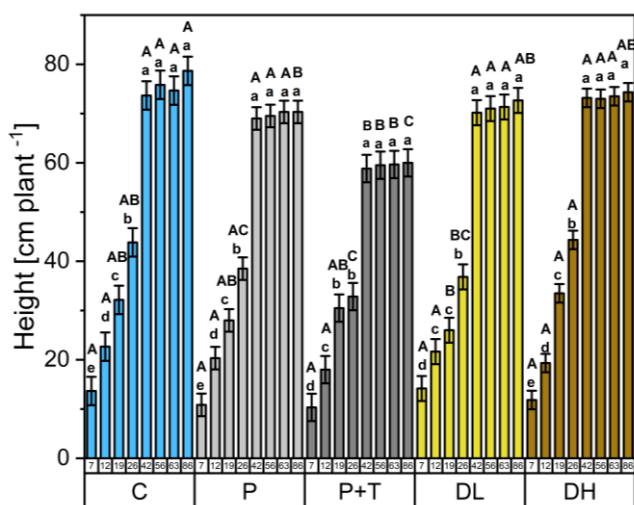


Figure 1: Plant height [cm] in dependence of the DAP and pruning technique with standard deviation. Values sharing the same letter do not differ significantly from each other ($\alpha=0.05$). Upper-case letters compare values of the pruning treatments at the same DAP. Lower-case letters compare values between different DAP within one treatment.

Previous studies on various crops, such as cotton and chickpea, have also demonstrated the efficacy of topping in reducing plant height and redistributing resources (Obasi and Msaakpa, 2005; Aslam et al., 2008). In our study, topping not only reduced plant height but also led to a substantial increase in mean branch length by nearly 100%. This observation aligns with the findings of Folina et al. (2020), who reported extensive stretching of primary branches as a result of resource reallocation after topping. The combination of reduced height and equally long branches makes topped plants an ideal choice for indoor growers, as they provide more well-positioned branches than untopped plants (Folina et al., 2020). Therefore, topping as a height control technique can contribute to achieving a more uniform canopy, optimise light distribution and ensure the overall success of indoor cultivation practices.

Literatur

- Ačko D.K., Marko Flajšman & Stanislav Trdan (2019) Apical bud removal increased seed yield in hemp (*Cannabis sativa* L.), *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 69:4, 317-323. DOI: 10.1080/09064710.2019.1568540
- Aslam M, Ahmad HK, Himayatullah, Ayaz M, Ahmad E, Arshad M (2008). Effect of available soil moisture depletion levels and topping treatments on crop growth rate and total dry biomass in chickpea. *Journal of Agricultural Research*, 46(3): 229-243.
- Obasi MO, Msaakpa TS (2005). Influence of topping, side branch pruning and hill spacing on growth and development of cotton (*Gossypium barbadense* L.) in the Southern Guinea Savanna location of Nigeria. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 106(2): 155-165.
- Folina, Antigolena & Kakabouki, Ioanna & Tourkochoriti, Evangelia & Roussis, Ioannis & Pateroulakis, Harry & Bilalis, D.. (2020). Evaluation of the Effect of Topping on Cannabidiol (CBD) Content in Two Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Cultivars. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*. 77. 46-52. 10.15835/buasvmcn-hort:2019.0021.

Einfluss des Mischungspartners auf Ertrag und Qualität von Wintererbsen im ökologischen Landbau

Urbatzka P.¹ und Salzeder G.²

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau, Freising; ²LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising.
E-Mail: Peer.Urbatzka@LfL.Bayern.de

Einleitung

Im ökologischen Pflanzenbau werden normalblättrige Wintererbsen üblicherweise im Gemenge angebaut, da die Erbsen- und Gesamterträge höher als in Reinsaat ausfallen und die Standfestigkeit erhöht wird (Urbatzka et al. 2011). Weitere Vorteile dieser Wintererbsen sind im Vergleich zu Sommererbsen ein besseres Ausnutzen der Winterfeuchte und ein hohes Potenzial zur Unkrautunterdrückung. Der Gemengeanbau mit den konkurrenzstarken Wintererbsen sollte möglichst optimal gestaltet werden. In Feldversuchen wurden bisher vor allem Wintertriticale als Mischungspartner in Süddeutschland untersucht. Daher wurden mehrere verschiedene Mischungspartner mit zwei unterschiedlichen Wintererbsen geprüft.

Material und Methoden

Die zweifaktoriellen Versuche wurden zur Ernte 2012 und 2013 in Hohenkammer (sL, Bodenzahl 55, langjährige Mittel: 7,8 °C, 816 mm) sowie zur Ernte 2014 und 2015 in Berglern (sL, Bodenzahl 61, langjährige Mittel: 7,8 °C, 804 mm) angelegt. Erster Faktor war die Wintererbsensorte (cvs. *EFB 33*, *Pandora*). *EFB 33* ist buntblühend, sehr langwüchsig und sehr konkurrenzstark, *Pandora* weißblühend, weniger langwüchsig und konkurrenzstark. Zweiter Faktor war der Mischungspartner; geprüft wurde Winterroggen (cv. *Conduct*), Winterrübe (cv. *Perko PVH*), Wintertriticale (cv. *Cosinus*) und Winterweizen (cv. *Meister*). Die gewählten Sorten bei Winterroggen und Wintertriticale sind lang, bei Winterweizen kurz.

Die Gemenge wurden als substitutive Muster bei der Erbse *EFB 33* mit je 50 % der Reinsaatstärke und als additive Muster bei *Pandora* mit 75 % der Reinsaatstärke der Erbse und 50 % der Reinsaatstärke beim Mischungspartner gewählt. Die Reinsaatstärke der Erbse lag bei 80 keimfähigen Körnern je m², bei Roggen und Triticale bei 320, beim Weizen bei 400 und bei Rüben bei 200 keimfähigen Körnern je m². Gesät wurde Ende September nach Vorfrucht Wintergetreide. Versuchsanlage war ein Lateinisches Rechteck mit vier Wiederholungen. Die statistische Auswertung erfolgte mit SAS 9.3. Der Rohproteingehalt wurde nach Kjehldahl bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Bei den Erbsen erzielte *EFB 33* trotz der geringeren Saatstärke im Mittel einen über 50 % höheren Erbsenertrag als *Pandora* (Tab. 1). Andererseits fiel der Ertrag der Beisat bei *Pandora* mit 25,7 dt/ha höher aus, im Gesamtertrag unterschieden sich die beiden Sorten nicht. Dies unterstreicht die höhere Konkurrenzkraft von *EFB 33*. Der Erbsenanteil im Gemenge betrug bei *EFB 33* durchschnittlich 38,9 %, bei *Pandora* 26,1 %. Dieser Anteil ist bei *EFB 33* als zufriedenstellend zu bewerten. Höhere Anteile bergen ein erhöhtes Risiko von Lager (Urbatzka 2010). Bei *Pandora* dagegen fiel der Anteil zu gering aus. Hier sollte der Anteil von *Pandora* in der Saatmischung erhöht werden. Der Rohproteingehalt von *Pandora* fiel um 0,8 Prozentpunkte höher aus als bei *EFB 33* (Tab. 1).

Tab. 1: Ertrag und Rohproteingehalt in Abhängigkeit der Erbsensorte und des Mischungspartners

Sorte bzw. Beisaat	Ertrag (dt/ha)			RP-Gehalt (%)	
	Erbse	Beisaat	Summe	Erbse	Getreide
EFB 33	14,1 a	22,2 b	36,3 ns	24,3 b	10,3 ns
Pandora	9,1 b	25,7 a	34,8	25,1 a	9,6
Roggen	10,6 B	36,7 A	47,3 A	24,5 AB [°]	8,7 B
Rübse	12,8 A	2,2 C	15,0 C	25,7 A	*
Triticale	11,7 AB	32,6 A	44,3 A	24,8 AB	9,5 B
Weizen	11,6 AB	18,9 B	30,6 B	24,4 B	11,8 A

Mittel der Jahre 2012 bis 2015; verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede zwischen den Erbsensorten bzw. Gemengepartnern (Tukey, $p < 0,05$), ns = nicht signifikant, ° Tendenz ($0,05 < p < 0,01$) zur Rübse; * nicht festgestellt

Hinsichtlich des Gemengepartners war der Gesamtertrag mit Roggen und Triticale mit 47,3 und 44,3 dt/ha im Mittel höher als mit Weizen oder Rübse (Tab. 1). Die Rübse zeigten einen sehr geringen Ertrag mit 2,2 dt/ha aufgrund einer unzureichenden Pflanzenentwicklung. Die Vorwinterentwicklung war aufgrund der für Rübse späten Saat Ende September schon schwach. Anschließend fehlte den Rübse in der für Erbsen typischen Fruchtfolge die Stickstoff. Auch der Ertrag des Winterweizens fiel mit 19 dt/ha geringer aus als bei Roggen oder Triticale (Tab. 1). Vermutlich ist dies auf die geringere Konkurrenzkraft des Weizens zurückzuführen. Beim Erbsenertrag lag mit gut 10 dt/ha zwischen den Wintergetreiden als Mischungspartner kein Unterschied vor. Lediglich bei Winterrübse fiel der Erbsenertrag im Vergleich zum Roggen aufgrund der geringen Konkurrenz höher aus.

Für den Gesamtertrag war die Höhe des Beisaatertrags entscheidend, während der Erbsenertrag von der Konkurrenzkraft der Sorte, nicht aber vom Mischungspartner bestimmt wurde. Insgesamt haben sich Winterroggen und Wintertriticale als Gemengepartner bewährt.

Literatur

- Urbatzka P (2010): Anbauwürdigkeit von Wintererbsen - Ein Vergleich zu Sommererbsen in Rein- und Gemengesaat unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Dissertation Universität Kassel, Verlag Dr. Kovač, ISBN 978-3-8300-5034-6
- Urbatzka P, Groß R, Haase T, Schüler C, Trautz D, Heß J (2011): Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Organic Agric* 1(4), 187-202

BoniKI – KI-basiertes Bonitursystem für eine pflanzengenaue und autonome Bonitur

Markus Strathmann¹, Christian Bauer¹, Lennart Puck², Niklas Spielbauer²,
Georg Heppner², Robin Mink³, Moritz Roth³ und Kurt Möller¹

¹Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Rheinstetten-Forchheim;

²Forschungszentrum Informatik (FZI), Karlsruhe; ³SAM-Dimension GmbH, Stuttgart;

E-Mail: markus.strahmann@ltz.bwl.de

Einleitung

Bonituren sind in der Landwirtschaft ein wichtiger Baustein und kommen sowohl im Versuchswesen, als auch in der Praxis zum Einsatz. Um Maßnahmen wie Pflanzenschutz, Bewässerung oder Düngung zu den richtigen Zeitpunkten durchzuführen, ist ein möglichst umfassendes Wissen über den aktuellen Zustand des Pflanzenbestandes notwendig. Derzeit erheben Landwirte und Versuchsansteller den Zustand ihrer Pflanzen hauptsächlich über manuelle Bonituren. Diese können nur stichprobenartig durchgeführt werden und sind bekanntlich stark abhängig von der subjektiven Wahrnehmung der bonitierenden Person. Zudem erfordert die manuelle Bonitur des Bestandes viel Zeit und ist personalintensiv. Ziel des durch das BMEL geförderten Projektes BoniKI ist es, ein pflanzengenaues und autonomes Bonitursystem zu entwickeln. Hierbei werden hochaufgelöste Luftaufnahmen von unbemannten Flugsystemen (UAS) mit Hilfe von Verfahren der künstlichen Intelligenz (KI) ausgewertet, wodurch eine großflächige Bonitur mit geringerem Fehlerpotential ermöglicht werden soll. Zudem soll Domänenwissen, das bisher nur erfahrenen Anwendern zur Verfügung steht, an weniger erfahrene Boniteure und Landwirte weitergegeben werden können.

Material und Methoden

Die Grundlage für das pflanzengenaue und autonome Bonitursystem bilden UAS-Befliegungsdaten. Mit Hilfe eines speziellen Kamerasystems werden während der Befliegung Bilder mit einer räumlichen Auflösung von < 1mm aufgenommen. Im Rahmen des Projektes werden darauf aufbauend manuelle, bildbasierte und KI-gestützte Bonituren durchgeführt und miteinander verglichen.

Zunächst werden die verschiedenen Pflanzenparameter im Rahmen einer manuellen Bonitur entsprechend der jeweils vorgegebenen Boniturrichtlinien erhoben. Im Projekt BoniKI werden hierzu die Richtlinien der europäischen Union und des Bundessortenamtes umgesetzt. Ziel der manuellen Bonitur ist es, den aktuellen Stand der Technik abzubilden und eine Ausgangslage zu erstellen, mit der die bildbasierte und KI-gestützte Bonitur verglichen werden kann. Mit Hilfe der manuellen Bonitur können die anderen Verfahren hinsichtlich ihres Mehrwertes in der landwirtschaftlichen Praxis evaluiert werden. Die manuelle Bonitur beinhaltet auch explizit, dass Ausprägungen einiger Parameter klassisch in einem relativen Schema von „sehr gering“ bis „sehr stark“ erfasst werden, da dies in weiten Teilen der Praxis üblich ist.

Die bildbasierte Bonitur wird im Rahmen des Projektes in zwei Bereiche gegliedert. Zum einen werden Pflanzen stichprobenartig bonitiert, indem eine UAS-Aufnahme mit Hilfe von Fachwissen und einem geschulten Auge hinsichtlich relevanter Bonitурparameter analysiert wird. Dieses Verfahren ist nahe an einer klassischen manuellen Bonitur anzusiedeln. Es beinhaltet dabei zum einen die Möglichkeit, den

Bestand aus der Vogelperspektive zu betrachten, verwehrt zum anderen allerdings die haptische Bonitur und die Möglichkeit, den Bestand aus verschiedenen anderen Blickwinkeln wie zum Beispiel von unten aus zu betrachten.

Der zweite Bereich der bildbasierten Bonitur beinhaltet klassische Bildverarbeitungsverfahren wie Schwellwertfilter, Farbhistogramme oder Clustering, welche genutzt werden, um quantitative Parameter wie Bedeckungsgrad oder Einzelpflanzenanzahl auszuwerten.

Die Nutzung von Vegetationsindizes wie des NDVIs (Normalized Difference Vegetation Index) und EGIs (Excessive Green Index) zur Bonitur mittels geschultem Auge bilden dabei einen Übergang der zwei Bereiche der bildbasierten Bonitur.

Das KI-basierte Bonitursystem nutzt ebenfalls die räumlich sehr hochauflösenden Bilddaten der UAS-Überfliegung zusammen mit den Daten aus der manuellen, aber auch bildbasierten Bonitur, um damit neuronale Netze hinsichtlich verschiedener Boniturparameter zu trainieren. Erster Schritt der Verarbeitung ist dabei das Sampling von Bildausschnitten aus den Orthofotos der UAS-Bildaufnahmen. Dies ist notwendig um die Netzwerkgröße gering zu halten. Anschließend werden die Einzelbilder vereinzelt und segmentiert. Dabei werden Einzelpflanzen erkannt und vom Hintergrund getrennt. Diese Segmentierung kann sowohl für komplette Pflanzen aber auch nur für einzelne Bestandteile der Pflanze erfolgen.

Ein großer Vorteil von KI-Methoden ist das automatische Erlernen relevanter Bildmerkmale für das Klassifizieren einer bestimmten Situation, ohne die Parameter hierfür genauer spezifizieren zu müssen. Ziel der KI-basierten Bonitur ist es, ein neuronales Netz für die Bonitureinschätzung zu entwickeln, in dem die segmentierten Pflanzen als Eingabe und die Boniturergebnisse in aggregierter Form für das Training verwendet werden. Dadurch wird eine KI trainiert, die das Expertenwissen der Bonitur kodiert und generalisiert.

Ergebnisse und Diskussion

Erste Ergebnisse des Projektes zeigen, dass die vorgestellten Boniturarten für unterschiedliche Boniturparameter genutzt werden können.

Der Bodendeckungsgrad kann sehr gut mittels EGI und Schwellwertfilter als Teil der klassischen Bildverarbeitungsverfahren ermittelt werden. Durch den Einbezug der gesamten Parzelle und die Möglichkeit Pflanzen und Boden klar im Bild zu trennen, liegt hier die Genauigkeit über der Schätzung des Anwenders, der die Bonitur durchführt.

Die Ährenzahl pro m² lässt sich mittels KI-basierten Ansatz ebenfalls gut abschätzen. Hier haben bildbasierte Verfahren allerdings den Nachteil, dass tiefer liegende Ähren durch Verschattungseffekte oftmals nicht sichtbar sind, beziehungsweise nicht erkannt werden können.

Der Entfahnerfolg im Mais kann mit Hilfe von KI-gestützten Verfahren sehr gut ermittelt werden. Hier können Fahnen zuverlässig erkannt und lokalisiert werden. Da die Fahnen den höchsten Punkt der Pflanze bilden und Mais in der Regel weniger dicht gesät wird als Weizen, gibt es kaum Verschattungseffekte wie bei zum Beispiel der Ährenzahl pro m².

Mit Hilfe von KI-gestützten Verfahren kann auch eine Klassifizierung von Boden, Kulturpflanze und Unkraut vorgenommen werden. Der dadurch berechenbare Unkrautdeckungsgrad kann bei Gleichstandsart im Mais dabei pflanzengenau kartiert werden.

Weitere Boniturparameter sind vorgesehen und befinden sich in der Entwicklung. Dazu gehört die Erkennung des BBCH-Stadiums im Mais und die artenspezifische Klassifizierung von Unkräutern.

Flächeneinteilung von Maisflächen für den hybriden Einsatz von autonomen Feldrobotern und personengesteuerten Traktoren

Tobias Reuter¹, Christian Scholz² und Dieter Trautz¹

¹Hochschule Osnabrück University of Applied Sciences Faculty of Agricultural Sciences and Landscape Architecture, 49090 Osnabrück;

²Hochschule Osnabrück University of Applied Sciences Faculty of Engineering and Computer Science, 49076 Osnabrück;

Einleitung

Die Landwirtschaft steht vor verschiedenen Herausforderungen wie Rückgang der Biodiversität und Bodenverdichtung durch schwere Landmaschinen (Govers et al., 2017), sowie einen Mangel an qualifizierten Arbeitskräften (Sparrow and Howard, 2021). Eine Alternative zu Fahrer*innen können autonome Feldroboter darstellen, diese sind potentiell leichter und wendiger als herkömmliche Maschinen, wodurch Agrarflächen neu und diverser genutzt werden können (Sparrow and Howard, 2021). Dennoch haben herkömmliche Traktoren mit ihrer hohen Flächenleistung auch einen Vorteil. Die Kombinationen beider Systeme wurde 2023 in einem Praxisfeldversuch mit Mais im Raum Osnabrück getestet. Für die manuell gesteuerten Traktoren sind lange rechteckige Teilflächen ausgewählt worden. Die Bereiche für die Roboterbewirtschaftung sind solche mit Bodenverdichtungsgefahr, wie an Uferbereichen oder mit kurzen Fahrspuren, wie sie z.B. in Flächenkeilen zu finden sind. Ebenso war es Ziel 10 % der Gesamtfläche als Blühbereiche anzulegen.

Material und Methoden

Für die Jahre 2018 bis 2022 wurde je ein Termin ohne Wolkenbedeckung und während der Wachstumsphase der entsprechenden Kultur gewählt, um aus Sentinel-2-Daten den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) zu berechnen. Die Kalkulation erfolgte mit folgender Formel: $NDVI = \frac{[Nahes\ Infrarot\ (842\ nm) - Rot\ (665\ nm)]}{[Nahes\ Infrarot\ (842\ nm) + Rot\ (665\ nm)]}$. Aus den fünf NDVI-Karten wurde mittels einer k-Means-Clusteranalyse (10 Iterationen) eine Ertragspotentialkarte mit zwei Zonen erstellt. Diese Berechnungen erfolgten mit der Software Quantum GIS (Version 3.31 2023). In den dort identifizierten Niedrigertragsbereichen wurde 10 % der Gesamtfläche als Blühbereiche ausgewiesen. Diese vernetzen durch ihre Anordnung verschiedene Landschaftselemente wie Bäume, Feldränder und -Innenbereiche (Abb.). Auf der restlichen Fläche wurde Mais ausgesät. Im Niedrigertragsbereich befindet sich ein Flächenkeil, der ebenso wie ein 3 m Streifen am Bachlauf von einem Feldroboter mit kamerageführter Hacke (Dino Naïo Technologies) bearbeitet wurde. Dieser Feldroboter wurde für diese Bereiche ausgewählt, da dieser einen kleineren Wendekreis und ein geringeres Gewicht (1.250 kg) und damit verringertes Bodenverdichtungspotential aufweist. Ein personengesteuerter Traktor mit angebaute kameragesteuerter Hacke (Kombi-PP, Schmotzer) hackte die großen rechteckigen Teilflächen. Ebenso wurde in der gleichen Weise ein 6 m Streifen im Feldkeil bearbeitet, um einen direkten Vergleich zur Feldrobotik zu gewährleisten. Parallel zu den Hackmaßnahmen wurden Maispflanzenhöhe und -anzahl, Bodenfeuchte (TDR 350) sowie Beikrautbesatz (Anzahl und Bodenbedeckung) bonitiert. Mit ANOVA und anschließenden TUKEY-Test wurden die verschiedenen

Bearbeitungsarten und Ertragszonen miteinander verglichen (R Studio Version 4.2.2 2022).

Ergebnisse und Diskussion

Die Bodenkarten zeigen, dass der Niedrigertragsbereich durch lehmigen Sand, die Hohertragsbereiche hingegen durch sandigen Lehm (NIBIS® Map Server, 2023) charakterisiert sind. Die sandigen Bereiche wiesen eine geringere Bodenfeuchtigkeit (18,2 % VWC) auf als die anmoorigen (27,9 % VWC). Dadurch konnte sich der Boden schneller erwärmen, wodurch der Mais bis BBCH 16 13 cm höher aufwuchs. Die ausgewiesenen Ertragsbereiche unterscheiden sich, aufgrund des kühlen Frühjahrs hatte der sandige Niedrigertragsbereich jedoch eine schnellere Entwicklung.

Die Beikrautregulierung am Uferbereich war weniger erfolgreich was zu mehr Beikräutern (37 zu 3 Pflanzen/m²) bzw. zu einem höheren Deckungsgrad (45 zu 8 %) führte, verglichen mit den anderen Teilen des Feldes. Hier war der Boden feuchter und weniger eben. Der Bewuchs am Ufer wurde von den Sensoren des Feldroboters als Hindernisse erkannt, wodurch eine Bearbeitung direkt am Feldrand nicht möglich war. Es war daher nötig diesen zu mulchen.

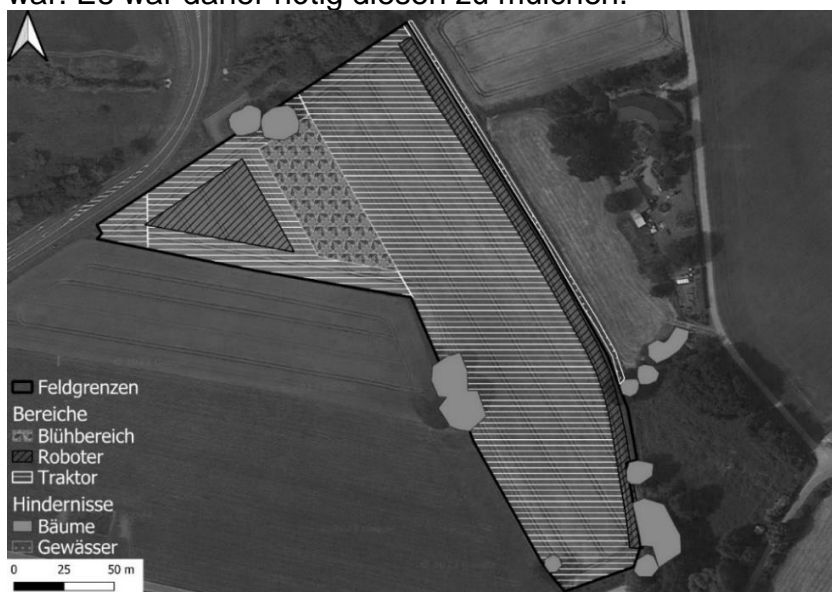


Abb. 1: Aufteilung der Versuchsfläche in Bearbeitungszonen für Feldroboter, personengesteuerter Traktoren und Blühbereich.

Entgegen der Ausgangshypothese, dass der Blühbereich im Niedrigertragsbereich sein sollte, wäre der Uferbereich ebenfalls ein geeigneter Ort. Alternativ müsste der Bewuchs an die Feldrobotik angepasst werden. Die Qualität der Beikrautregulierung beider Systeme war vergleichbar und führte im sandigen Bereich zu keinen signifikanten Unterschieden, auch die Bestandsdichte unterschied sich nicht.

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, Förderkennzeichen 28DE103B22.

Literatur

- Govers, G., Merckx, R., van Wesemael, B., Van Oost, K., 2017. Soil conservation in the 21st century: why we need smart agricultural intensification. *SOIL* 3, 45–59. <https://doi.org/10.5194/soil-3-45-2017>
- NIBIS® Map Server, 2023. Generalized soil map 1:50 000 [WWW Document]. Landesamt für Bergbau, Energ. und Geol. URL <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=uzSdD8x>
- Sparrow, R., Howard, M., 2021. Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *Precis. Agric.* 22, 818–833. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9>

Standortspezifische Aussaat von Mais mit Hilfe von Schrägluftbildern und der Integration des *Normalized Green Red Difference Index* (NGRDI)

Brit Kirsten Weier und Eike Stefan Dobers

Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg. E-Mail: weier@hs-nb.de

Einleitung

Bestandsbegründung und Ertragsbildung von Mais sind vor allem von der Bodenart des Saathorizontes sowie den Eigenschaften des Unterbodens im Wechselspiel mit der aktuellen Witterung abhängig. Fernerkundungsdaten können bei der Abgrenzung der räumlichen Ausprägung dieser Standorteigenschaften helfen. Die Ableitung von Vegetationsindizes erleichtert die Beurteilung von Vegetationszuständen. Einfache Farbluftbilder mit Rot-, Grün- und Blau-Kanälen sind aufgrund der Kamertechnik einfacher verfügbar als Infrarotdaten. Der *Normalized Green Red Difference Index* (NGRDI) verwendet nur den Rot- und Grün-Kanal und ermöglicht daher als Alternative zum *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) die Indexerstellung aus einfachen Farbbildern. Der Beitrag untersucht die Möglichkeit der Standortcharakterisierung auf Basis von Farbluftbildern zur Ableitung von angepassten Mais-Saatstärken.

Material und Methoden

Die Untersuchungen fanden 2022 im Rahmen des Projektes „AgriSensDEMMIN 4.0“ statt. Schrägluftbilder der Fläche aus 2021 (Weizen) wurden im GIS georeferenziert und zum *NGRDI* verrechnet [Formel: $(G-R)/(G+R)$]. Sie dienten zur Abschätzung der Ertragserwartung. Das Erfahrungswissen des Landwirts zur Oberbodentextur wurde mit einem Luftbild der unbedeckten Bodenoberfläche regionalisiert. Jeder Standort erhielt eine betriebsübliche sowie zusätzlich angepasste Saatstärken, mit denen die Effekte auf die Ertragsbildung untersucht werden sollten. Insgesamt wurden vier Standorte charakterisiert und fünf Aussaatstärken festgelegt (Tab.1).

Tab. 1: Ableitung von Standorten auf Basis von *NGRDI*-Werten, Charakterisierung der Standorte hinsichtlich des Ertragspotenzials und des vermuteten Verhaltens beim Feldaufgang sowie betriebsübliche und angepasste Saatstärken für Mais

Standort	<i>NGRDI</i> Weizen	Ertrags- erwartung	Feldaufgang	Saatstärke [K/ m ²]	
				betriebsüblich	angepasst
Kuppe	0,022	gering	vermindert	11	8,5 & 14
Durchschnitt	0,048	mittel	gut	8,5	9,5
Humos	0,074	hoch	gut	8,5	9,5
Ertragsstark	0,052	hoch	vermindert	8,5	10

Die Aussaat erfolgte am 14.04.2022. Am 10.05.2022 wurden Feldaufgang und Ablagetiefe ermittelt. Der Gesamtertrag und der Kolbenanteil wurde mit Hilfe von Handerntern (n=4) am 16.09.2022 in den einzelnen Aussaatzonen ermittelt. Zusätzlich lagen GPS-Ertragsdaten des Maishäckslers vor.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ablagetiefe variierte trotz einheitlicher Maschineneinstellung zwischen 4 und 7 cm. Die tiefere Ablage erfolgte bei sandiger Oberbodentextur. Die Feldaufgänge lagen zwischen 80-90 % aufgrund des ausreichend feuchten Frühjahrs. Es gab keine signifikanten Einflüsse der Standorte auf den Feldaufgang. Im Areal der Saatstärke

14 K*m⁻² wurden nur 12,2 Pfl*m⁻² gezählt. Zudem kam es, vermutlich aufgrund zu langsamer Reaktion der Säaggregate, zu Verschleppungen von Saatstärken zwischen den angepassten Arealen. Untersuchungen zu standortspezifischen Saatstärken bei Mais müssen daher die spezifischen Eigenschaften der verwendeten Sätechnik berücksichtigen, um die gewünschten Saatkarten praktisch umzusetzen. Ein Vergleich der Bestandsdichten von Mai und September ergab eine durchschnittliche Reduktion um 1,7 Pflanzen/m². Die Daten der ortsspezifischen Handernte und der GPS-Ertragskartierung des Maishäckslers korrelierten nicht miteinander.

Die Erträge der Handernten in den einzelnen Varianten variierten zwischen 20.7 und 31.7 t*ha⁻¹. Der Standort *Kuppe* zeigte signifikant höhere Erträge. Auf diesem Standort wurde zudem mit höherer Saatstärke signifikant mehr Biomasse entwickelt. Die höchste Saatstärke erreichte auf diesem Standort eine ca. 50% höhere Endbestandsdichte mit um ca. 25% reduzierten Einzelpflanzenenerträgen. Die vornehmlich lehmigen Kuppen, die ein hohes Risiko für einen verminderten Feldaufgang zeigen, waren aufgrund der Witterungsbedingungen im Versuchsjahr die ertragsstärksten Standorte. Dies weist auf die hohe Bedeutung einer optimalen Bestandsbegründung zur Realisierung von Ertragspotenzialen hin. Nur am Standort *Humos* fanden sich bei 9.5 K*m⁻² Zielsaatstärke signifikant niedrigere Kolbenanteile an der Gesamtpflanze bei ansonsten vergleichbaren Gesamterträgen.

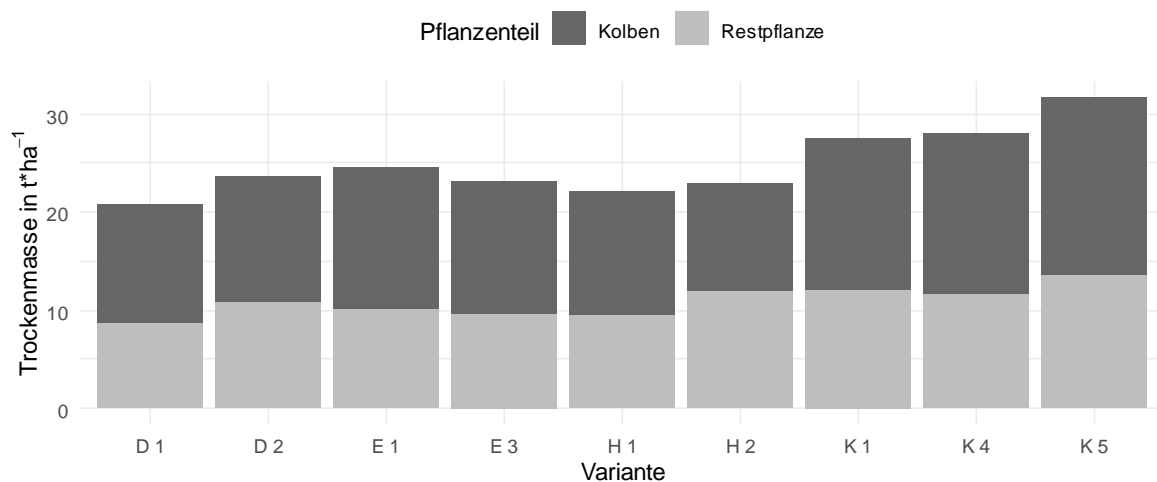


Abb. 1: Trockenmasseerträge der Kolben und Restpflanzen von Mais je Standort und Saatvariante, Handernten vom 16.09.2022 (Varianten: Standort: D: Durchschnitt, E: Ertragreich, H: Humos, K: Kuppe, Saatstärke [K*m⁻²] 1: 8.5, 2: 9.5, 3: 10, 4: 11, 5: 14)

Farbluftbilder und daraus abgeleitete Vegetationsindizes unterstützen bei der Abgrenzung und der Bewertung von Standorten auf Praxisfeldern. Die Integration von lokalem Erfahrungswissen ist auf dieser Basis grundsätzlich gut möglich. Es zeigte sich in dieser Untersuchung zudem, dass die Luftbilder dem Landwirt zusätzliche Standorteinblicke ermöglichten. Eine Validierung der Standortbewertungen erscheint derzeit noch notwendig, bevor Entscheidungen auf dieser Datengrundlage getroffen werden. Bei der Auswertung von Luftbildern kann der *NGRDI* zum Abschätzen von Biomassezuständen oder -entwicklungen unterstützen, da er grundsätzlich wie der *NDVI* auf Vegetationsunterschiede reagiert. Dies erhöht die Auswertungsmöglichkeiten von Farbluftbildern. Von großer Bedeutung ist die Berücksichtigung der Fruchtarten-spezifischen Ertragsphysiologie auf den unterschiedlichen Standorten.

Nachhaltigerer kleinstrukturierter Ackerbau durch Einsatz digitaler Entscheidungshilfen – Lektionen aus dem baden-württemberger Experimentierfeld „DiWenkLa“

Markus Frank, Thomas Koppenhagen, Rolf Weber und Jürgen Braun

Institut für Angewandte Agrarforschung, Hochschule für Wirtschaft & Umwelt Nürtingen-Geislingen, Neckarsteige 6-10, 72622 Nürtingen. E-Mail: markus.frank@hfwu.de

Während zunehmend Konsens zu den Potenzialen digital-unterstützter Entscheidungshilfen zur Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung landwirtschaftlicher Produktion besteht (Sharma et al. 2020), so herrscht bzgl. ihrer Effekte in einer kleinstrukturierten Landwirtschaft wie denjenigen Baden-Württembergs weitgehend Unklarheit. Ziel des vom BMEL finanzierten ‚Digitalen Experimentierfelds‘ DiWenkLA („Digitale Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige klein-strukturierte Landwirtschaft“) ist es, die Möglichkeiten und Bedingungen des Einsatzes digitaler Technologien in durch Kleinstrukturen geprägten Ackerbausystemen Baden-Württembergs zu untersuchen. In Praxisversuchen auf insgesamt acht Betrieben mit Wintergetreide, Soja und Mais werden die teilflächen-spezifische N-Düngung, der modell-gestützte Pflanzenschutz sowie die mechanische Unkrautregulierung mit optisch-geführten Hackgeräten im Vergleich zu betriebsüblichen Strategien angewandt. Als Werkzeug für die Analyse der ökonomischen und ökologischen Leistungen der Produktionssysteme wird die sog. Ökoeffizienzanalyse (Frank et al. 2012) herangezogen, welche eine intuitive Darstellung von Synergien bzw. Zielkonflikten zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen, Umwelt und Wirtschaft, über den gesamten Lebenszyklus des Produktionssystems erlaubt. Am Beispiel der teilflächen-spezifischen (TFS-) Düngung im Getreide sollte in dieser Studie untersucht werden, welchen Einfluss die Verwendung digitaler Entscheidungshilfen auf die Nachhaltigkeitsleistung der Wintergetreide-Produktion nehmen könnte.

Material und Methoden

Die insgesamt fünf *On-Farm*-Versuche in Wintergerste und Winterweizen wurden über drei Jahre als Streifenversuche mit zwei bzw. drei Wiederholungen in Praxisschlägen angelegt. Während die homogen gedüngten Streifen betriebsüblich bewirtschaftet wurden, wurden die TFS-gedüngten Streifen teilflächen-spezifisch mineralisch gedüngt. Die verwendete TFS-Düngetechnik bestand aus einem pneumatischen Düngerstreuer Axis H 50.2 EMC+W der Firma Rauch Landmaschinenfabrik (Sinzheim), die Streukarten wurden mithilfe verschiedener Softwarelösungen erstellt, u.a. xarvio Field Manager (BASF Digital Farming GmbH, Köln), Skyfld 1.0 (Helm AG, Hamburg) sowie NextFarming (Farmfacts GmbH) auf der Basis historischer Ertragspotenzial- sowie aktuellen Biomassenkarten. Jede Versuchsfläche erhielt drei N-Gaben, die Teilflächen wurden einzeln gedroschen und ausgewertet. Die Auswertung erfolgte mittels der Ökoeffizienzanalyse innerhalb der Systemgrenze „cradle to farm gate“.

Ergebnisse und Diskussion

Über zwei Versuchsjahre hinweg (Hagel zerstörte die 2021er Versuche) wurden im Mittel über die verschiedenen Wintergersten- und Winterweizen-Versuche Ertragssteigerungen bei gleicher Düngermenge im Mittel zwischen 5 und 10% erzielt. Die resultierenden Mehrerlöse durch die teilflächen-spezifische Düngung beliefen sich dementsprechend auf ca. 60-75 €/ha. Mittels der Ökoeffizienzanalyse wurde die ökologische Leistung der teilflächenspezifischen Düngung bewertet. Die höhere Ressourceneffizienz durch die teilflächenspezifische Düngung führte zu einer besseren Leistung der wichtigsten ökologischen Wirkkategorien, bspw. des Klimawandelpotenzials oder des Eutrophierungspotenzials. Aufgrund der höheren Ressourceneffizienz im Fall der TFS-Düngung reduzierten sich die Umweltbelastungen pro Tonne produziertem Getreide in allen relevanten ökologischen Wirkkategorien erzielt werden. Gleichzeitig verbesserte sich die Profitabilität des Anbaus im Mittel um 5-7 €/t.

Diese präliminären Daten deuten auf eine verbesserte ökologische und ökonomische Leistung des klein-strukturierten Wintergetreideanbaus durch die teilflächen-spezifische Düngung hin. Die Analyse weiterer mehrjähriger und mehrortiger Versuche ist notwendig, um die hier beobachteten Tendenzen zu überprüfen.

Literatur

- Frank, M., Schöneboom, J., Gipmans, M., & Saling, P. (2012). Holistic sustainability assessment of winter oilseed rape production using the AgBalance™ method—an example of 'sustainable intensification'. Proceedings of the 8th international conference on life cycle assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012)
- Sharma, R., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers & Operations Research* 119; 104926

Einteilung von Teilflächen der Nachkultur anhand von NDVI-Karten aus Klee grasbeständen für zwei ökologisch bewirtschaftete Flächen

Tobias Reuter¹, Konstantin Nahrstedt², Thomas Jarmer² und Dieter Trautz¹

¹Hochschule Osnabrück University of Applied Sciences Faculty of Agricultural Sciences and Landscape Architecture, 49090 Osnabrück; ²Universität Osnabrück, Institute of Computer Science, Remote Sensing Group, 49090 Osnabrück. E-Mail: tobias.reuter@hs-osnabrueck.de

Einleitung

Ein Großteil der landwirtschaftlichen Flächen ist durch heterogene Bodeneigenschaften geprägt. Zusätzlich ist die Bestandesentwicklung von den jährlichen Wetterbedingungen abhängig. Im konventionellen Ackerbau können diese Ungleichheiten durch teilflächenspezifische Düngung oder Aussaat ausgeglichen werden (Peralta et al., 2015). Der Mangel an schnellverfügbarem Dünger im ökologischen Landbau erfordert einen mittelfristigen Ausgleich durch die Fruchtfolge oder langsam wirkende organische Dünger (Fricke, 2012). Das Klee grasgemenge ist ein wichtiger Teil der Fruchtfolge, da dieses durch symbiotische Knöllchenbakterien Stickstoff (N) aus der Luft fixiert und Beikräuter unterdrückt werden (Rasmussen et al., 2012). Auf zwei ökologisch bewirtschafteten Klee grasflächen wurden Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)-Karten erstellt, um diese Flächen in Teilschläge einzuteilen. In der Nachfrucht Dinkel wurde anhand von Ertrags- und Qualitätsparametern geprüft, ob sich die Zonierung der Vorfrucht in der Nachfrucht widerspiegelt.

Material und Methoden

Auf einem ökologisch wirtschaftenden Betrieb im Raum Osnabrück wurden die Klee grasflächen „Power Weg“ (2020) bzw. „Kiesschacht“ (2021) untersucht. Auf Grundlage drohnengestützter Multispektralbilder der Klee grasbestände sind mittels der Software Quantum GIS (Version 3.31 2023) NDVI-Karten erstellt worden. Parallel dazu wurden im Feld anhand eines festgelegten Rasters an 48 Messstellen (Größe 1 m²) Klee grasertrag und Klee anteil bonitiert. Anschließend erfolgte mittels einer k-Means-Clusteranalyse (10 Iterationen) auf Basis der NDVI-Karten die Aufteilung in zwei bzw. drei Teilschläge je Standort. Vor dem Klee grasumbruch wurden an jeder Messstelle N_{min}-Bodenproben in drei Schichten (0 – 33, 33 – 66 und 66 – 99 cm) genommen. In der Nachfrucht Sommerdinkel (2021/2022) wurden an den gleichen Messstellen Ertrag, Tausendkornmasse (TKM) und Kornproteingehalt erfasst. Die Mittelwerte der Teilschläge wurden mittels T-Test (bei zwei Teilschlägen, $\alpha=0,05$) und ANOVA (bei drei Teilschlägen, $\alpha=0,05$) miteinander verglichen. Die Modellberechnungen erfolgten in der Entwicklungsumgebung R Studio (Version 4.2.2 2022).

Ergebnisse und Diskussion

Unabhängig vom Standort und der Anzahl an Teilschlägen konnte ein signifikanter Unterschied im NDVI zwischen den Teilschlägen festgestellt werden (Tabelle 1). Auch zeigten sich signifikante Unterschiede im Klee anteil und Klee grasertrag. Jedoch konnte bei drei Teilflächen auf den Standort „Kiesschacht“ keine Differenz im Klee grasertrag festgestellt werden. Dies zeigt, dass die Einteilung der Klee grasflächen in Teilflächen zielführend ist, da sich diese unterscheiden. Es gibt

einen schwach positiven Zusammenhang zwischen NDVI und Kleeanteil von $R^2=0,46$ (Power Weg) und $R^2=0,32$ (Kiesschacht). In der Nachfrucht konnten am Standort „Power Weg“ keine Unterschiede zwischen den (zwei oder drei) Teilschlägen festgestellt werden. Dies zeigte sich ebenso am Standort „Kiesschacht“ bei der Einteilung in drei Teilschläge. Bei der Einordnung in zwei Teilflächen war zu erkennen, dass Teilfläche 2 einen höheren Dinkelertrag aufwies.

Tab. 1: Signifikante Unterschiede zwischen zwei (T-Test) und drei Teilschläge (ANOVA) markiert mit „*“ (*= $p<0,05$; **= $p<0,005$; ***= $p<0,0005$). Die Standorte „Power Weg“ und „Kiesschacht“ wurden unabhängig voneinander untersucht.

Parameter	Power Weg		Kiesschacht	
	Zwei Teilschläge	Drei Teilschläge	Zwei Teilschläge	Drei Teilschläge
NDVI	1,27e-03**	6,56e-13***	1,24e-04***	4,53e-09***
Kleeanteil [%]	2,09e-02*	9,86e-04***	9,49e-03**	3,71e-02*
Kleegrasertrag [g/m ²]	6,71e-08***	7,81e-06***	1,50e-02*	3,77e-01
N _{min} (vor Umbruch) [kg/ha]	8,61e-01	4,78e-01	2,55e-03**	4,53e-01
Dinkelertrag [g/m ²]	7,39e-01	7,26e-01	3,77e-02*	8,75e-02
Kornproteingehalt [%]	7,39e-00	1,14e-01	2,68e-02	2,92e-01
TKG [g/1000 Körner]	7,06e-01	9,90e-01	6,24e-01	3,51e-01

In diesem Bereich konnte ein erhöhter Kleegrasertrag im Zusammenhang mit höheren Anteilen an Klee beobachtet werden, was wiederum zu signifikant höherem N_{min}-Gehalt vor Umbruch geführt hat. Drei Teilschläge sind als zu kleinmaschig einzuordnen, da keine signifikanten Unterschiede in den Boniturparametern zu beobachten waren. Zwei Teilflächen erwiesen sich dagegen am „Kiesschacht“ als eine sinnvolle Einteilung in homogene Managementzonen. Dieser Standort ist durch eine stärkere Heterogenität geprägt. So schwanken Hangneigung (0,9 – 8° zu 0,5 – 2,6°), Bodenzahl (30 – 40 zu 52 – 55) (NIBIS® Map Server, 2023) und Bodenart stärker als beim Standort „Power Weg“. Das Relief hat einen großen Einfluss auf das Ertragspotential (Peralta et al., 2015). Die homogenen Teilflächen im Kleegras spiegeln sich auf heterogenen Flächen auch in der Nachfrucht wieder und konnten durch NDVI-Daten abgeleitet werden.

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, Förderkennzeichen 28DE103B22 und 28DE103C18.

Literatur

- Fricke, T., 2012. Sensorische Erfassung von Grünlandbiomassen als Grundlage für ein teilflächenspezifisches Management im Ökologischen Landbau. Universität Kassel.
- NIBIS® Map Server, 2023. Generalized soil map 1:50 000 [WWW Document]. Landesamt für Bergbau, Energ. und Geol. URL <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=uzSdD8x>
- Peralta, N.R., Costa, J.L., Balzarini, M., Castro Franco, M., Córdoba, M., Bullock, D., 2015. Delineation of management zones to improve nitrogen management of wheat. *Comput. Electron. Agric.* 110, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.10.017>
- Rasmussen, J., Søgaard, K., Pirhofer-Walzl, K., Eriksen, J., 2012. N₂-fixation and residual N effect of four legume species and four companion grass species. *Eur. J. Agron.* 36, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.09.003>

Evaluierung der Hackeffizienz beim Sojaanbau anhand von UAV-RGB-Bildern

David Richard¹, Janis Bald¹, Robert Rettig², Christabel Ansah², Thomas Jarmer² und Dieter Trautz¹

¹Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Osnabrück;

²Universität Osnabrück, Institut für Informatik, Osnabrück.

E-Mail: d.richard-guionneau@hs-osnabrueck.de

Einleitung

Der Erfolg der mechanischen Beikrautbekämpfung ist entscheidend für das Wachstum und den Ertrag von Sojabohnen (*Glycine max* L. Merr.) (Richard, 2023). Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Bilder ermöglichen eine großflächige Bewertung der Kulturpflanze und des Beikrautbewuchses und stellen eine vielversprechende Datenquelle dar, um die Effizienz jeder Hackmaßnahme zu evaluieren (Perera et al., 2019). Besteht weiterhin die Möglichkeit des selektiven Hackens, können Beikräuter auf Grundlage von Entscheidungsregeln wie der z.B. Bodenbedeckung reguliert werden.

Material und Methoden

Im Jahr 2022 wurde in Belm, Deutschland, ein Soja- Hackversuch auf einem konventionellen Betrieb durchgeführt, bei dem eine Fläche unter Einsatz einer Hacke zur Beikrautbekämpfung mit einer nicht gehackten Fläche verglichen wurde (Kontrolle). Ground-Truth Daten, bzw. die Bedeckung von Unkräutern und Sojapflanzen, wurden vor der ersten (VOR_1), nach der ersten (NACH_1), vor der zweiten (VOR_2) und nach der zweiten (NACH_2) Hackmaßnahme visuell in festgelegten 48 Plots à 0,5 m² ermittelt. Zu diesen Zeitpunkten wurden mithilfe einer Drohne (DJI-Phantom 4) Bildern mit einer Bodenauflösung von ca. 3,6 mm per Pixel im Bereich Rot, Grün und Blau (RGB) aufgenommen. Ein georeferenziertes Orthomosaic-Bild von der Versuchsfläche wurde erstellt. Um eine Unterscheidung zwischen grüner Vegetation und Boden zu ermöglichen, wurde der Green Leaf Index (GLI) wie folgt berechnet: $(2 * G - R - B) / (2 * G + R + B)$ (Louhaichi et al., 2001). Für jeden Plot wurde ein Bild aus dem Orthomosaic-Bild extrahiert. Nach Anwendung eines 0,1-Threshold für den GLI, wurde die Anzahl der Pixel, die als "grün" eingestuft wurden, extrahiert und mit der Gesamtzahl der Pixel jedes Bildes verglichen, um den Prozentsatz der Grünbedeckung zu ermitteln. Zur Bewertung der Genauigkeit der Analyse wurden lineare Regressionen zwischen der aus RGB-Bildern ermittelten Grünbedeckung und den im Feld erhobenen Daten berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, war die Detektion von grünen Pixeln aus den Bildern erfolgreich. Die lineare Regression zwischen den im Feld erhobenen und den aus den RGB-Bildern extrahierten Daten weist ein R-Quadrat von 0,88 und einen RMSE von 18,17 % auf. Es wurde beobachtet, dass die Anzahl der erkannten Pixel meist größer war als die visuelle Schätzung der Vegetationsanteile.

Bei NACH_1 ist der Beikrautbewuchs im Vergleich zur Kontrolle in den gehackten Parzellen um 32 % reduziert worden. Bei NACH_2 wurde eine Verringerung um 28 % des Beikrautbewuchses im Vergleich zur Kontrolle in den gehackten Parzellen ermittelt.

Die Schätzung der Vegetationsbedeckung aus UAV-RGB-Bildern war sehr erfolgreich und ist vielversprechend für die Erkennung von Beikräutern. Um die Genauigkeit dieser Methode zu verbessern, z.B. um die Schäden an der Kultur zu quantifizieren oder Unkräuter genau zu lokalisieren, eine weitere Bearbeitung und Erweiterung der Methoden wird eingeführt. Eine pixelbasierte Segmentierung könnte die Sojapflanzen von den Beikräutern trennen, was die Bildanalyse präzisieren würde. Dies würde es ermöglichen, Applikationskarten der räumlichen Verbreitung der Beikräuter zu generieren und so die Effektivität des Hackens zu erhöhen.

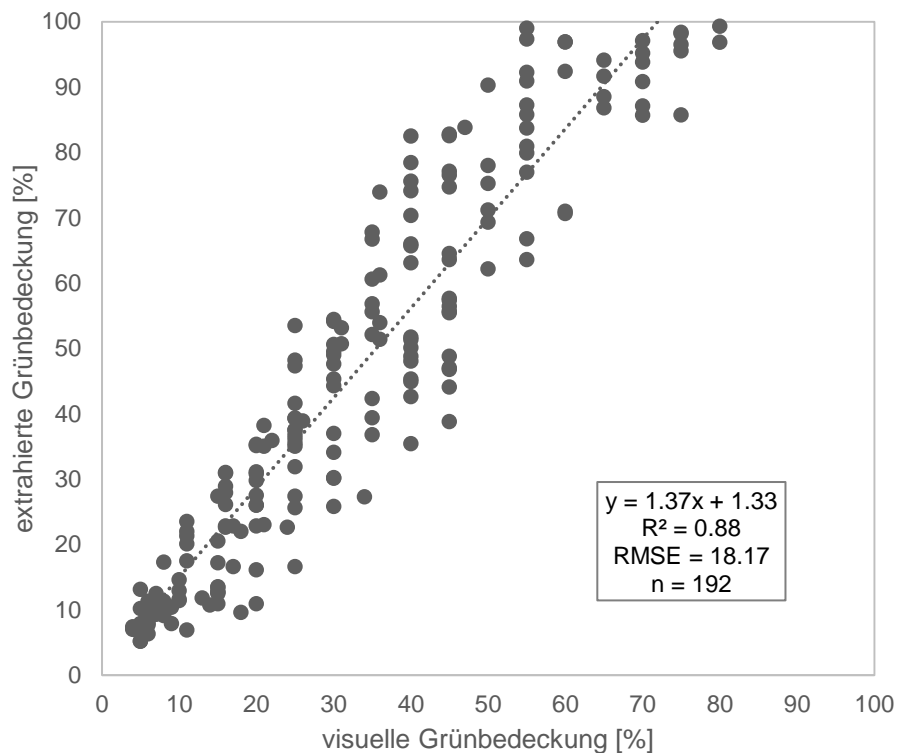


Abb. 1: Lineare Regression zwischen die visuelle- und die extrahierte Grünbedeckung dargestellt durch die gestrichelte Linie.

Literatur

Louhaichi, M., Borman, M.M., Johnson, D.E., 2001. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. *Geocarto International* 16, 65–70. <https://doi.org/10.1080/10106040108542184>

Perera, N., Priyankara, P., Jayasinghe, G., 2019. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Smart Agriculture: Trends, Benefits and Future Perspectives. URL <http://www.erepo.lib.uwu.ac.lk/handle/123456789/752>. Accessed 24.06.2023

Richard, D., Leimbrock-Rosch, L., Keßler, S., Stoll, E., Zimmer, S., 2023. Soybean yield response to different mechanical weed control methods in organic agriculture in Luxembourg. *European Journal of Agronomy* 147, 126842. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126842>

Diese Arbeit ist ein Teil des „Agri Gaia“ Projektes gefördert vom BMWi unter dem Förderkennzeichen: 01MK21004G.

Classical, audio- image- and video-based pollinator identification and quantification to evaluate biodiversity in agroecosystems

Phillip Nachtweide¹, Julian Bauer², Jana Kierdorf², Linn Chong³, Ribana Roscher⁴,
Rozhin Bayati¹, Frank Kurth⁶, Thomas F. Döring⁵, Andrée Hamm⁵
und Sabine J. Seidel¹

¹Crop science group, University of Bonn, Bonn; ²Remote sensing group, University of Bonn, Bonn;
³Photogrammetry and Robotics Group, University of Bonn, Bonn; ⁴Institute of Bio- and Geosciences,
Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich; ⁵Agroecology and Organic Farming Group, University of
Bonn, Bonn; ⁶Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE),
Wachtberg; E-Mail: phillip.nachtweide@uni-bonn.de

Introduction

The loss of insect diversity and abundance is expected to trigger cascading effects on food webs and threaten ecosystem services (Hallmann et al. 2017). The alarming widespread insect biomass decline may be caused by multiple factors, including temporal changes in climatic variables (e.g. prolonged droughts) and agricultural intensification including pesticide usage, tillage, and increased frequency of agronomic measures (Hallmann et al. 2017). Field margins, floral plantings such as flower strips, crops offering nectar and pollen to insects or diverse cropping systems (e.g. intercropping) may contribute to ecosystem service delivery (pollination) and ecological intensification of agriculture. To monitor the success of such measures, various methods are available. For quantifying insect biomass and to determine the number of insect species in such systems, often catching with nets or traps is applied. The application of machine learning on data collected using low cost microphones and cameras represents a new opportunity to investigate, evaluate and optimize the attractiveness of such cropping systems to beneficial insects.

Our objective was twofold: We applied an innovative technology (a) to detect and identify pollinators (focus: bumble bees, wild bees and honey bees) in the field and (b) to automatize the detection and quantification of pollinators in analogy to classical measurements (catching, traps, visual counting). Furthermore, we developed and tested a new cropping system that includes phacelia or a commercial flowering strip mixture in a maize field (intercropping) to allow for a large area of connected fodder supply to pollinators with no or an acceptable maize yield loss due to potential competition for resources.

Material and Methods

We established a maize-based intercropping field experiment (plots with maize only, phacelia only, commercial flowering strip mixture only, and maize intercropped either with phacelia or the flowering mixture in an additive design, Fig.1). We collected data from these fields on several days in 2021, 2022 and 2023. Specifically, we installed microphones in the field to record audio data in 2021 and 2022. We also installed RGB cameras in 2022 and 2023. In all years, we measured agronomic field data (plant height, shading, biomass, yield, etc.) and insect data (net catching, visual counting on a defined area). In 2023, installed malaise traps were installed.

For the image-based bee detection, we applied machine learning to detect and identify bumble bees and honey bees in the RGB images captured in the fields in 2022. In total, we labelled 2561 images containing almost 1000 bees. Using the labelled images, we trained the Neural Network YOLOv5 (Jocher et al., 2020) that outputs the location and size of the bumble bees and honey bees in a given image.

For the video-based bee tracking project, the YOLOv5-CNN pipeline was extended with a StrongSORT tracking algorithm. The data for this project was collected in the above mentioned trial and also labelled with the offline CVAT tool. For acoustic bee detection in the field, we propose first steps towards novel end-to-end audio classification approach using a one-dimensional convolutional neural network with a two-block architecture. The feature extraction block is pre-trained using transfer learning and an autoencoder, while the classification block is trained and validated on labeled audio data through k-fold cross-validation. The audio data is preprocessed and segmented to enable accurate identification of bee acoustic signals.

Results and Discussion

The presented new maize-based intercropping system significantly increased insect abundance as compared to maize only, and could potentially connect isolated areas, while providing maize yield. In 2021, no significant maize yield difference was observed between sole maize and maize intercropped with phacelia or then flower mixture. In 2022, which was characterized by very low rainfall in spring and summer, significantly lower maize yield in the mixtures was observed. In the visual bee and bumble bee counting by humans in the field, about 75% of bees and 50% of bumble bees were detected in maize-phacelia as compared to phacelia only. Also for the ongoing trial with maize intercropped either with phacelia or the flower mixture (2023), we observe an increased pollinator and insect abundance for maize intercropped with phacelia or the flower mixture as compared to maize only.

Based on videos, a model was trained that could successfully track bees within same-day recordings. The results on the basis of flight patterns have provided insights into the flowering preferences and foraging behaviour of the bees. Our acoustic bee detection approach achieved promising results, with an impressive 98% accuracy across the five cross-validated classification models. However, the limited labeled data raises concerns about potential overfitting. Techniques such as regularization and data augmentation should be explored to enhance the robustness of the classification models and mitigate the risk of overfitting.

To evaluate this or other cropping systems, new audio-, image- and video-based technologies combined with machine learning approaches with potential for automatization need to be further tested along with classical methods.



Fig.1: First image: Two plots in 2023, maize only and intercropped with flowers; second: Malaise trap in intercrop (2023); third: predicted location for bumble bee by YOLOv5; fourth: section of plotted trackings annotated with track ID and length of track.

References

- Hallmann et al. (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLoS ONE 12 (10)
- Jocher et al. (2020). ultralytics/yolov5: v3.1 - Bug Fixes and Performance Improvements (v3.1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4154370>

Schonstreifen für Pflanzenvielfalt

Mona Wölfinger¹, Peter Ströde¹, Till Kleinebecker² und Andreas Gattinger¹

¹Professur für Ökologischen Landbau mit dem Schwerpunkt nachhaltige Bodennutzung, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II, Justus-Liebig-Universität Gießen; ²Professur für Landschaftsökologie und Landschaftsplanung, Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement, Justus-Liebig-Universität Gießen, E-Mail: Mona.J.Woelfinger@ag.uni-giessen.de

Einleitung

Dauergrünland ist mit 30 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein prägendes Element in der Agrarlandschaft Deutschlands. Es kann unter den landwirtschaftlichen Nutzflächen potenziell die höchste Biodiversität bereitstellen. Das Artenpotential in Europa beträgt 3600 Gefäßpflanzenarten, wovon etwa 1000 Arten ausschließlich auf Grünland vorkommen (Dierschke und Briemle, 2002). Die pflanzliche Vielfalt des Grünlands konkurriert mit den Zielen der Bereitstellung von Grundfutter für die Rinderhaltung: Eine frühe und häufige Schnittnutzung verhindert das Aussamen von Blühpflanzen und fördert wenige schnitttolerante Arten, vor allem Gräser. Die zusätzliche mineralische und organische Stickstoffdüngung verstärkt die Homogenisierung des Pflanzenbestandes (Gossner et al., 2016). Kleinflächige ungenutzte Schonstreifen sollen den Zielkonflikt aus Nutzung und Schutz lösen und die Pflanzenvielfalt im Grünland erhöhen.

Material und Methoden

Das Vorhaben „Anlage von Schonstreifen im Grünland“ wird mit Mitteln der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-Agri) gefördert. Kernstück ist die sogenannte „Operationelle Gruppe“ (OG), in der landwirtschaftliche Praxis, Wissenschaft und Beratung zusammenarbeiten. Im Schonstreifenprojekt kooperieren 6 landwirtschaftliche Betriebe mit WissenschaftlerInnen der JLU aus 2 Professuren. Beteiligt sind außerdem Bioland Hessen als beratende Institution und das Referat VII 3 „Agrarpolitik, Agrarmärkte, Flächenförderungen“ des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Die Untersuchung umfasst 12 Versuchsflächen in 6 hessischen Regionen. Kernelement ist ein einjährig ungenutzter Schonstreifen (mindestens 5 % Schlagflächenanteil, 10 x 40 m), der sich jährlich parallel verlagert. Auf diesen Schonstreifen und einem standardmäßig genutzten Referenzstreifen werden auf je 3 Probeflächen von jeweils 25 m² die Gefäßpflanzenarten über 3 Jahre hinweg mit ihrem Deckungsgrad und dem vorgefundenen Entwicklungsstadium im Früh- und Spätsommeraspekt aufgenommen. In Ergänzung finden Bodenanalysen statt, um den Standort und das damit verbundene Artenvorkommen besser beschreiben zu können. Ergänzend zu den botanischen Aufnahmen im Freiland werden Keimversuche im Gewächshaus durchgeführt, um die Bodensamenbank zu beschreiben. Nach Etablierung des Projektes stellte sich die Frage welche Methodik der Grünlandpflege die geeignetere ist, um den einjährigen Schonstreifen im Frühjahr wieder in die Futterproduktion zu rekurrieren. Daraus entwickelte sich ein kleinparzelliger On-Station-Versuch mit 3 verschiedenen Grünlandpflagemassnahmen zu 2 verschiedenen Zeitpunkten und einer Kontrolle. In den Kontrollparzellen fand keinerlei Pflege statt. In den Parzellen wurden zu 2 Zeitpunkten Grünschnittproben

genommen. Diese simulieren den Schnitt zur Silagenutzung und einen etwa 4 Wochen späteren Schnitt zur Heumahd.

Ergebnisse und Diskussion

Einjährige Schonstreifen im Grünland unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht von den landwirtschaftlich genutzten Referenzstreifen, in den räumlichen, standörtlichen (trophischen, kleinklimatischen) Bedingungen und in der botanischen Artenzusammensetzung. Bei den Prozessen dominieren im Schonstreifen natürliche Prozesse, dagegen im Referenzstreifen überwiegen landtechnische Prozesse, die die Unterschiede maßgebend hervorrufen. Interaktionen zwischen den beiden Streifen mit Artenaustausch finden statt.

Vorläufig ist festzustellen, dass einige Pflanzenarten, insbesondere horstbildende Obergräser, aber auch sämtliche Ampferarten, sich stärker auf dem einjährigen Schonstreifen ausbreiten und andere Arten durch Konkurrenz um Licht, Nährstoffe und Lebensraum verdrängen. Die verdrängten Arten, meist Krautartige wie Weißklee und Hahnenfuß, sind auf eine Schnittnutzung angewiesen, um dem Konkurrenzdruck entgegen zu wirken. Aus den Beobachtungen heraus ist anzumerken, dass dieser Effekt der Verdrängung sich in den Folgejahren mit stetiger Nutzung (Mahd oder Beweidung) wieder abschwächt.

Ziel des Projektes ist es, die Artenvielfalt durch einjährige, wanderne Schonstreifen zu fördern und eine Bodensamenbank zu etablieren, da durch die landwirtschaftliche Nutzung – sei es durch Mahd oder Beweidung – viele Pflanzenarten nicht zum Aussamen kommen, da die Nutzung meist in einem früheren, vegetativen Stadium stattfindet.

Literatur

- Gerowitt B, Schröder S, Dempfle L, et al. (2013): Biodiversität im Grünland – unverzichtbar für Landwirtschaft und Gesellschaft. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Bonn;
- Gossner, M.M., et al. (2016): Land-Use intensification cause multitrophic homogenization of grassland communities. *Nature*, 540, 266-269;
- Dierschke, H., Briemle, G. (2002): Kulturgrasland: Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren, Ulmer-Verlag

Mikroplastik und Gras – Was ist hier das richtige Maß?

Hanna Cornelsen und Nicole Wrage-Mönnig

Universität Rostock/Grünland und Futterbauwissenschaften, Rostock;
E-Mail: hanna.cornelsen@uni-rostock.de

Einleitung

Die Kontamination terrestrischer Ökosysteme mit Kunststoffen hat in den letzten Jahren auch in der Wissenschaft zunehmend an Bedeutung gewonnen. Stetig wachsende Produktionsraten synthetischer Polymere in Kombination mit teils unzulänglichen Recycling- und Entsorgungsmaßnahmen führen zu einer Verbreitung von insbesondere Mikroplastik (MP, < 5 mm) innerhalb aller Umweltkompartimente (Ingraffia et al., 2021). Im terrestrischen Bereich wird MP irreversibel in den Boden eingetragen, auch in Form von direkten Einträgen (Mulchfolien, Klärschlamm, etc.) aus der Landwirtschaft. Landwirtschaftliche Bewirtschaftung des Bodens fungiert daher gleichzeitig als Quelle und als Senke für MP, insofern als es dort eingelagert wird. (Tang, 2020). Über MP und dessen Dynamik im Boden sind bisher nur rudimentäre Kenntnisse vorhanden. In den existierenden Studien konnte jedoch zumeist ein vielschichtig negativer Effekt von MP auf Pflanzen und Bodenfauna gezeigt werden (Bosker et al., 2019). MP könnte im Boden nicht nur als Schadstoff, sondern auch über Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt auf Wachstumsparameter von Pflanzen einwirken. Ziel der durchgeführten Untersuchungen ist die Kenntniserweiterung über das Verhalten von Gräsern unter dem Einfluss von MP unter der Hypothese, dass MP sich auf den Wasserhaushalt der Gräser und damit einen potenziell induzierten Trockenstress auswirkt.

Material und Methoden

Für die Untersuchung wurde ein zweimonatiger Gefäßversuch im Freiland an der Universität Rostock durchgeführt. Es wurde Polyvinylchlorid (PVC) in drei unterschiedlichen Größenbereichen eingesetzt (> 0,25 mm, ~ 5 mm, > 5 mm, Veka GmbH, Hörselberg-Hainich, Deutschland und Werth Metall, Grammetal, Deutschland). 30 g der MP-Partikel wurden je 3 kg regionalem Ackerboden (Bodenanteile: 72% Sand, 21% Schluff, 7% Ton) beigemischt und anschließend Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) (DSV, Lippstadt, Germany) in den Gefäßen (Durchmesser: 21,2 cm) mit einer Saatstärke von ca. 250 Samen pro Gefäß ausgesät (N=128; n=8). Als weiterer Faktor wurde eine NPK-Düngung (2 g pro Gefäß) inkludiert. Die Analysemethoden umfassten neben dem am Versuchsende erhobenen Spross-Wurzel-Verhältnis, dem Ertrag und der Wurzellänge auch die isotopischen Signaturen der Blattmasse als Indikatoren für Wasserverfügbarkeit sowie während des Versuchs als Indikator für Verdunstungskälte mithilfe einer Infrarotkamera (VarioCam HD, Infratec GmbH, Dresden, Deutschland) gemachte Aufnahmen der Blattoberseiten. Die Aufnahmen wurden im Freiland unter der Abschottung von Wind und direktem Sonnenlicht aufgenommen und anschließend mithilfe von 25 zufällig verteilten Messpunkten eine Durchschnittstemperatur pro Versuchsgefäß errechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Im vorliegenden Gefäßversuch konnten bei den ungedüngten Varianten mit MP-Zugabe höhere Blatttemperaturen festgestellt werden als bei den gedüngten Versuchsgefäßen (Tabelle 1). Die Vermutung liegt nahe, dass dies an der weniger ausgebildeten Blattmasse dieser Varianten im Verhältnis zu unbedeckter Bodenfläche und den damit verbundenen höheren Abstrahlungen des Bodens an sich liegt. Es konnte in dieser Versuchsreihe kein klarer Trend für höhere Blatttemperaturen von Weidelgras unter dem Einfluss von MP gezeigt werden. Die Schwierigkeit konstanter Aufnahmebedingungen mit der Infrarot-Kamera im Feld spielte hierbei eine große Rolle, insbesondere der Faktor Wind, da je nach dessen Aufkommen die thermografisch erfassten Werte innerhalb einer Messreihe starken Schwankungen unterliegen konnten. Die Thermografie bietet nichtsdestotrotz gerade in der Mikroplastik-Forschung einen sehr interessanten Ansatz, um zusammen mit isotopischen Analysen des Pflanzenmaterials Rückschlüsse auf seinen Wasserhaushalt und Trockenstress zu ziehen. Wichtig wäre hierbei eine Standardisierung der Messmethodik auch für den Feldeinsatz. Die Ergebnisse weiterer Analysen dieses Versuchs finden sich im dazugehörigen Podcastbeitrag.

Tab. 1: Blattflächentemperaturen von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*) in °C für den Faktor Düngung (NPK; ungedüngt) unter dem Einfluss verschiedener Mikroplastik (MP)-Behandlungen (5 Messtermine). Dargestellt sind Mittelwerte über die verschiedenen Varianten (MP-Art und Düngung) sowie die dazugehörigen Standardabweichungen.

Datum	Kontrolle		MP > 5 mm		MP ~ 5 mm		MP > 0,25 mm	
	gedüngt	ungedüngt	gedüngt	ungedüngt	gedüngt	ungedüngt	gedüngt	ungedüngt
21.08.2020	21,85 ± 0,32	22,40 ± 0,49	24,53 ± 0,28	25,08 ± 0,52	22,92 ± 0,37	22,92 ± 0,94	24,27 ± 0,29	24,88 ± 0,32
30.08.2020	17,29 ± 1,03	17,82 ± 0,66	17,24 ± 1,15	17,50 ± 0,99	17,38 ± 1,09	17,72 ± 0,79	17,25 ± 1,00	17,72 ± 0,67
03.09.2020	17,57 ± 0,43	18,07 ± 0,45	17,61 ± 0,50	18,16 ± 0,49	17,58 ± 0,44	18,11 ± 0,38	17,50 ± 0,45	18,14 ± 0,41
08.09.2020	19,92 ± 0,72	19,99 ± 0,35	20,14 ± 0,69	19,95 ± 0,35	19,93 ± 0,75	19,93 ± 0,51	19,91 ± 0,82	20,18 ± 0,65
16.09.2020	17,73 ± 0,32	17,98 ± 0,28	17,78 ± 0,33	19,93 ± 0,29	17,90 ± 0,44	18,00 ± 0,44	17,74 ± 0,34	17,97 ± 0,25

Literatur

- Bosker, T., Bouwman, L. J., Brun, N. R., Behrens, P., & Vijver, M. G. (2019). Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum*. *Chemosphere*, 226, 774–781. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.163>
- Ingraffia, R., Amato, G., Bagarello, V., Carollo, F. G., Giambalvo, D., Iovino, M., Lehmann, A., Rillig, M. C., & Frenda, A. S. (2021). Polyester Microplastic Fibers affect Soil Physical Properties and Erosion as a Function of Soil Type. <https://doi.org/10.5194/soil-2021-136>
- Tang, K. H. (2020). Effects of Microplastics on Agriculture: A Mini-review. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 1–9. <https://doi.org/10.9734/ajee/2020/v13i130170>

Autorenverzeichnis

Abbasi N.....	291, 293	Bloch R.....	131, 133
Abdel-Moneim M.H.....	391	Boguschewski D.....	81
Abdulai I.....	119	Böhm H.....	105, 315, 339, 381
Abele E.....	389	Boldeanu G.....	113
Abele F.....	219	Bönecke E.....	319
Acosta Ortiz D.I.....	131	Bookhagen B.....	287
Aebischer P.....	175	Booth N.....	113
Albrecht M.....	51	Borrmann P.....	277
Altstadt M.....	377	Bracho-Mujica G.....	119
Amann M.....	199, 201	Brassac J.....	285
Annuth S.H.....	177	Braun J.....	409
Ansah C.....	297, 413	Brokötter J.....	47
Apostolakis A.....	203, 265	Brunel-Muguet S.....	115
Appiah M.....	119	Bukowiecki J.....	43, 45
Arnhold J.....	127	Bülow L.....	79
Arnhold N.....	295	Bund A.....	79
Asseng.....	1	Burzik W.....	41, 73, 373
Astor T.....	283	Callau-Beyer A.....	101, 191, 273, 313
Athmann M.....	41, 59, 371, 373	Cappelli G.A.....	113
Attia A.....	53, 63, 121, 277	Carminati A.....	117
Aulrich K.....	105	Castell A.....	327
Baatz R.....	343	Chen T.-W.....	109, 337, 341
Bachinger J.....	213, 321, 335	Chmelikova L.....	187, 199, 201
Bachmann-Pfabe S.....	267	Chong L.....	415
Baibagyshev E.....	377	Constantin J.....	99
Bald J.....	297, 413	Conter G.....	175
Balko C.....	95	Cornelsen H.....	419
Barta N.....	89, 205	Crispim Massuela D.....	225
Bartkowski B.....	71	Daehmlow D.....	53
Bartsch J.....	41	Daszkowska-Golec A.....	119
Battisti R.....	99	de Kock A.....	53, 63, 253, 333
Bauer C.....	299, 403	Debaeke P.....	99
Bauer J.....	415	Dehmer K.J.....	267
Bayati R.....	415	Demie D.T.....	215
Bellingrath-Kimura S.D.....	131, 245	Dewi E.S.....	119
Berg-Mohnicke M.....	99, 343	Dieser M.....	49, 183, 185, 209
Bermejo V.....	113	Dietel B.....	159
Bernardi A.....	5	Dirkse A.....	175
Bernas J.....	205, 207	Dittert K.....	203
Bernasová T.....	207	Dobers E.S.....	369, 407
Bernschein M.....	61	Dominic A.R.....	253, 333, 375
Birkman A.....	131	Don A.....	261
Bittner M.....	241	Donat M.....	245
Bland S.....	113	Donauer J.....	151, 211
Blessing C.....	133	Döring T.F.....	215, 367, 415

Eder B	117	Goldbach J.....	95
Eder J.....	95	Golla B.....	97, 253, 333, 345
Eichelsbacher S.....	1	Graeff-Hönninger S	135, 181, 219, 223,
Eichlseder M.....	195		225, 235, 257, 259, 269, 349, 359,
Eitzinger J.....	25		379, 385, 389, 395, 399
El Habbasha E.S.	115	Grahmann K	245
Elfers J.....	311	Graß R 41, 83, 283, 315, 339, 371, 373	
Ellersiek N	275	Greef J.-M.....	49, 165, 183, 185, 209,
Eltigani A	95, 305		375, 383
Emberson L	113	Grimes S.J.....	135
Englert P.....	203, 265	Gronauer A	89, 205
Ernst S.....	93	Großmann F	233
Ertel C	161	Groth J.....	117
Essich L.....	55	Grumme A.L.	159
Euteneuer P.....	89, 205, 207	Grunwald D.....	55, 127, 271
Ewert F	113	Gummert A	183, 185, 209
Falk H.....	159	Gütschow M.....	71
Faye B.....	69	Gutser K	213
Federolf C.-P.	143, 221	Gutzer K	335
Feike T. 53, 63, 65, 73, 91, 95, 97, 111,		Hachicha M.....	289
115, 121, 129, 239, 241, 247, 253,		Hackauf B.....	65, 73, 79, 331
255, 277, 289, 295, 305, 331, 333,		Hackling J	263
345, 375		Hadir S.....	215
Felten C.....	175	Hagn L	39, 145
Fenger F.....	169	Hajjarpoor A.....	95, 305
Fernandez I.G.....	113	Halwani M.....	133, 321, 335
Finck R	47, 197	Hamburger S	91
Finckh M.R.	137	Hamidi D.....	13
Fishkis O.....	123	Hamm A.....	415
Flaig V	199, 201	Hampf A.....	17
Flores L.....	287	Hänsel M.....	177
Forchert M.....	111, 255	Harfouch M	251
Frank M	139, 409	Hartl L	79
Frei M	113	Hartung J.....	181, 225
Freibauer A.....	117	Hazarika M.....	267
Fricke A	301	Heiß I	71
Fromme F.J.	65, 73, 331	Heppner G	403
Fronzek S	99	Herrmann A	43, 45, 189
Fuchs M.....	385	Heshmati S	181, 349
Fuchs P	325	Hett J	75
Fuß R	165	Heuwinkel H.....	57
Fusseck P.....	53	Hey K.....	103
Gabriel D	115	Hiltbrunner J	133
Gaida F.....	231	Hoffmann C.....	251
Gaiser T.....	113, 215	Hoffmann J	141
Gattinger A	417	Hoffmann M	99
Gaully M	37	Hohenester I	187
Geistert J.....	245, 321	Holzgreve H.....	381
Gerighausen H	85, 285	Honsdorf N.....	317, 329
Ghazaryan G	93, 287, 303	Hoppe J	59
Ginaldi F	113	Höppner F.....	381, 397

Horney P.....	53, 97, 239	Kottmann L	65, 73, 79, 95, 261, 305, 331, 383, 387
Huber J.....	77	Krachunova T	131
Hubert C	227	Kramer E.....	319
Hülsbergen K.-J.	39, 51, 145, 151, 187, 199, 201, 211, 217, 229	Kretschmer L	383, 387
Hupe A	59	Krieger J	85
Hütt C	83	Krößmann J	387
Irimescu A.....	113	Krug L.....	179
Isselstein J..	37, 43, 153, 163, 173, 189	Krugmann C.....	343
Jacobs A.....	237, 251	Kucherova V	73
Jakšić S	99	Kühling I.....	47, 55, 107, 199, 201, 377
Jarmer T	297, 377, 411, 413	Kuhlmann M.....	139
Jasper J.....	143, 221	Kühne J	165
Jaufmann E	217, 229	Kunz K.....	323, 325
Jorzig C	95, 253, 333	Kurth F.....	415
Kage H	43, 45, 47, 55, 67, 107, 197, 199, 201, 233, 309, 317, 329, 347, 377	Laidig F	247
Kaim A.....	71, 177	Langen A	227
Kämpfer T.....	65, 79, 331	Langhof M.....	375
Kandhimalla R.R.....	115	Laser H.....	167
Karalus W	133	Laufer D.....	279
Karner J.....	77	Lechner L.....	369
Karpinski I.....	111	Lee S	219
Kaul H.-P. ...	77, 89, 205, 207, 363, 393	Lehmann A	269
Kautz T	97, 115, 345	Lehmhus J	123
Kavka M.....	267	Lehner D.....	133
Kayser M	43, 153, 189, 353	Lesser L.....	379
Kemetter J.....	393	Leßke F	51
Kenter C	251, 279	Lichthardt C	247, 345
Kersebaum K.C.	99	Lieb R	129, 289, 295
Kheir A.....	375	Liftenegger A	319
Kierdorf J	415	Linde J	71
Kimmelman S	211	Linkies A.....	91
Kirchgesser J.....	267	Lipp M.....	151
Kirschner M.....	155	Liu L.-Y.	109
Kleinebecker T.....	417	Loges R	35
Klimek-Kopyra A.....	89, 99, 205, 363	Longin F.....	135
Klocke B	129	Lorenzen M.....	295
Klöcker D	175	Losak T.....	363
Kluß C	35, 169	Lottes P	279
Knohl A.....	203	Löwe D	285
Koch H.-J..	55, 123, 125, 127, 251, 271	Ludwig J	187
Koehler T	117	Lueders T.....	117
Koellner T	177	Luhmer K.....	227
Komainda M	37, 43, 45, 153, 163, 173, 189	Lutze J.-P.....	231
Konvalina P	207	Lutzer H.-H.	133
Kopenhagen T	409	Ma D.....	111, 247
Koppensteiner L.J.....	89, 205, 207	Mabrouk M.....	337
		Machner M.-T.	105
		Macholdt J	33, 179, 193, 323, 325, 351
		Mačuhová J.....	155
		Maidl F.-X.	145, 211

Main-Knorn M.....	303	Paul M	215
Malisch CS	29	Paul N.....	311
Manschadi AM.....	25	Pausch J.....	117
Markwitz C.....	203	Perovic D.....	95
Marohn C.....	53, 63	Peters T.....	169
Matros A.....	91, 95	Pfeiffer Z.....	155
Maxa J.....	157	Pfenning J.....	195, 243
Mayr A.....	195	Pflugfelder A.....	133
Mburu M.M.	101, 191, 273, 313	Piepho H.-P. ..	9, 33, 97, 205, 247, 283, 345
Meijide A.....	203, 265	Polkowski C.....	367
Memic E.....	181, 253, 257, 349	Pöllinger F.....	123
Messner J.....	171	Posch S.....	295
Meziane A.....	91, 121, 239, 255	Präger A.....	259, 395
Mielenz H.....	49, 183, 185, 209	Prankl J.....	77
Mink R.....	403	Preidl S.....	277
Mittermayer M.....	21, 39, 211	Preußner V.....	133
Mohler V.....	79	Pronkow K.....	317, 329
Moitzi G.....	77, 207, 363	Puck L.....	403
Molkentin J.....	153	Pude R.....	61, 227, 263, 311
Moll M.D.	61, 227, 263, 311	Quade M.....	95, 239, 277
Möller K.....	299, 403	Radtke O.....	133
Möller M.....	97, 345	Rahman S.....	95
Moshelion M.....	119	Raubitzek S.....	89
Moudry J.....	207	Rawat A.....	91
Mueller C.....	117	Raynal H.....	99
Müller M.....	41, 371, 373	Reckling M.....	99, 133
Munz S.....	219, 223, 225, 359, 399	Reichel P.....	399
Nachtweide P.....	415	Reidy B.....	175
Nahrstedt K.....	411	Reijneveld J.A.....	81
Nendel C.....	93, 99, 251, 287, 303, 343	Reinelt L.....	261
Neubauer T.....	89	Rentel D.....	247, 345
Neugschwandtner R.W....	89, 205, 207, 363, 393	Rettig R.....	297, 413
Neuhoff D.....	75	Reusch S.....	143, 221
Neukam D.....	309	Reuter T.....	405, 411
Nguyen T.H.	113	Rezaei E.E.....	69, 103, 293
Nicklas D.....	157	Richard D.....	297, 413
Ning F.....	223	Riedesel L.....	97, 241, 247, 345
Nkebiwe P.M.	219, 223, 225	Riegler-Nurscher P.....	77
Nouri H.....	291	Rischbeck P.....	89
Obermeyer K.....	153, 353	Robert J.....	157
Oenema O.....	81	Rodemann B.....	387
Olfs H.-W.....	147, 275	Roscher R.....	415
Opp C.....	291	Rose T.....	67, 233
Ostermayr A.....	357	Rosner G.....	133
Otte A.-K.....	183, 185, 209	Roß C.A.....	125
Otto D.....	359	Roth M.....	403
Oviedo-Reyes J.A.....	287	Rothardt S.....	347
Pahlmann I.....	107	Rötter R.P.....	119
Palka M.....	25	Roux S.....	381, 397
Pamperin H.....	193	Rücknagel J.....	179, 193, 351

Rühlmann R.....	319	Strassemeyer J..	53, 63, 123, 253, 333, 375
Rusch C.....	133	Strathmann M.....	299, 403
Ruser R.....	55	Strenner M.....	187
Sabboura D.....	111, 115, 255	Ströde P.....	417
Sabir K.....	341	Stützel H.....	101, 191, 273, 301, 313, 341
Safari Z.S.....	101, 191, 273, 313	Tanz J.....	355, 367
Salama H.S.A.....	391	Taube F.....	29, 35, 169
Salama K.....	133	Tendler L.....	165
Salminen J.-P.....	29	Terrel Gutierrez M.....	235
Salzeder G.....	327, 365, 401	Thielecke D.....	173
Savian F.....	113	Thiemt E.....	85
Schleip I.....	159, 161	Thurner S.....	155, 157
Schlich I.....	281, 295	Timaeus J.....	137
Schmid H.....	151, 217, 229	Töpfer V.....	91
Schmidt F.....	83, 315, 339	Trautz D.....	297, 377, 405, 411, 413
Schmitt A.....	91	Trei G.....	159
Schmitt T.M.....	177	Trenz J.....	257, 349
Schmitz S.....	301	True T.....	259
Schober T.....	259	Truskowski-Graw A.....	143, 221
Scholz C.....	405	Tung S.-Y.....	117
Schoving C.....	99	Tyborski N.....	117
Schröer H.....	203	Uhlig K.....	351
Schröter I.....	319	Ullrich L.....	45
Schulman A.....	119	Upenov A.....	377
Schulte auf'm Erley G.....	197	Uptmoor R.....	267
Schulz S.....	99	Urbatzka P.....	57, 315, 327, 339, 355, 357, 365, 367, 401
Schuster J.....	39	Vahl W.....	117
Schwabe I.....	133	van Oostrum M.J.....	81
Schwarz F.....	43, 189	Velten K.....	281
Schwarz J.....	129	Verma S.....	29
Seidel S.J.....	215, 415	Vidal A.....	117
Seiler C.....	95	Villar Alegria E.....	249
Sempel F.....	93	Viswanathan M.....	239
Serfling A.....	387	Vogel S.....	319
Severin T.....	281	Vogeler I.....	35, 169
Shawon A.R.....	65, 121, 239, 253, 255, 331, 333	von Tucher S.....	57
Siebert S.....	103, 203, 265, 291, 293, 307	Voßkuhl L.....	41, 371, 373
Siekmann D.....	73	Wachendorf M.....	83, 87, 283, 315, 339
Smith T.....	287	Wagentristl H.....	77, 363, 393
Sorge S.....	319	Wagner S.....	261
Spielbauer N.....	403	Wahrenberg T.....	141
Stahl A.....	95, 285	Wallach D.....	215
Steiner F.....	117	Wang T.-C.....	109
Steinherr L.....	131	Warnemünde S.....	285
Stella T.....	99	Waßmann L.....	387
Stepczynski S.....	105	Webber H.....	69
Stetter K.....	267	Weber R.....	139, 409
Steuer S.....	157	Weckesser F.....	51
Steuer-Schoo B.....	49, 183, 185, 209	Weedon O.D.....	137
Stockfisch N.....	125, 361		

Weggler K.....	171	Wild M.....	37
Wehner G.....	91	Windpassinger S.....	95
Weier B.K.	407	Winkhart F.....	229
Weigelt L.....	87	Winterling A.....	133, 355, 357
Weihner N.....	367	Wiskandt J.....	105
Weihns P.....	89	Witten S.....	105
Weis M.....	299	Wold O.....	343
Weiss A.....	61	Wolf M.....	167
Weiß K.....	109	Wolffram S.....	29
Well R.....	165	Wölfinger M.....	417
Weller J.....	123	Wolfrum S.....	117
Weller M.....	293	Wolter S.....	165
Wengert M.....	87, 283	Wrage-Mönnig N.....	419
Weßler C.-F.....	101, 191, 273, 313	Zaar A.....	65, 331
Westphal J.....	161	Zachow M.....	1
Wiedow D.....	381, 397	Zanon T.....	37
Wiesel T.....	155	Zhu W.....	307
Wieters B.....	361	Zieseniß S.....	49, 183, 185, 209
Wijesingha J.....	83, 87, 283	Zikeli S.....	133
Wild A.....	117	Zimmermann T.....	195, 243