

**Mitteilungen der
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften
Band 32**

CLOSING THE CYCLE
Pflanze und Tier im Agrarsystem

63. Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Beiträge in ausschließlicher wissenschaftlicher
Verantwortung der jeweiligen Autoren

Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Präsident: Prof. Dr. H. Stützel
Geschäftsführer: Dr. A. Fricke

Geschäftsstelle:
Leibniz Universität Hannover
Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme
Abteilung Systemmodellierung Gemüsebau
Herrenhäuser Str. 2
30419 Hannover
Telefon: 0511/762-2638
E-Mail: geschaeftsfuehrer.gpw@gem.uni-hannover.de

63. Jahrestagung der
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

28. bis 30. September 2021

Rostock

CLOSING THE CYCLE
Pflanze und Tier im Agrarsystem

Kurzfassungen der Vorträge und Poster

Herausgeber:
H. Stützel und A. Fricke
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Verlag Liddy Halm
Göttingen 2021

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

Qaim, M.: Landwirtschaft, Ernährungssicherung und globale Nachhaltigkeit	1
Niggli, U.: Ökolandbau: Ein Weg aus den Zielkonflikten zwischen Produktivität und dem Schutz der natürlichen Ressourcen?	5
Baum, C., N. Vitow, M. Grafe, S. Schulz, M. Schloter, A. Zacher, P. Leineweber: Düngungseinflüsse auf die funktionale Diversität des Bodenmikrobioms im P-Kreislauf	9
Gerten, D.: Können wir 10 Milliarden Menschen innerhalb Planetarer Grenzen ernähren?	10

Parallelsektion Grünland und Futterbau

Schulz, V.S., K. Stolzenburg, C. Schumann, S. Weisenburger, M. Müller-Lindenlauf, K. Möller: Eignung verschiedener Untersaaten zu Mais im Hinblick auf Anbau, Ertrag und Qualität	14
Poyda, A., T. Reinsch, I.J. Struck, R.H. Skinner, C. Kluß, F. Taube: Geringe Allokation von Assimilaten in die Wurzeln eines intensiv genutzten Dauergrünlands in Schleswig-Holstein – Implikationen für die Bodenkohlenstoffbilanz	16
Loza, C., T. Reinsch, R. Loges, F. Taube, C. Kluß, C. Malisch: Der Einfluss diverser Pflanzenbestände auf Methanemissionen und Milchproduktion von weidenden Jersey-Kühen	18
Roux, S., F. Höppner, H. Holzgreve, D. Wiedow, H. Böhm: Andenlupine und Mais – gezielt kombiniert, im Gemenge ein starkes Team.....	20

Parallelsektion Stickstoff

Mittermayer, M., J. Schuster, L. Nätscher, F.-X. Maidl, K.-J. Hülsbergen: Analyse teilflächenspezifischer N Bilanzen auf heterogenen Ackerschlägen mit digitalen Methoden	22
Schuster, J., M. Mittermayer, K.-J. Hülsbergen: Analyse der teilflächenspezifischen Auswaschungsrisiken von Nitrat auf Ackerflächen aufgrund von räumlich variierenden Boden-, Pflanzen- und N-Bilanz Parametern	24
Stolzenburg, K., S. Weisenburger, K. Möller: Optimierung des N-Düngungsregimes von ein- und mehrschnittig bewirtschafteten Beständen der Durchwachsenen Silphie (<i>Silphium perfoliatum</i> L.)	26
Kaspar, M., A. Kellermann, F.-X. Maidl, T. Ebertseder: Einfluss der Stickstoffdüngung in Kombination mit Bewässerung auf Ertrag und Frittierfarbe von Veredelungskartoffeln.....	28

Parallelsektion Fruchtfolge

Rose, M., I. Pahlmann, K. Sieling, H. Kage: Fruchtfolgegestaltung - Effekte auf Ertragsstabilität, Düngungsoptima und Qualität des Erntegutes	30
Kühling, I., I. Pahlmann, K. Sieling, H. Kage: Optionen zur nachhaltigen Erweiterung intensiver Raps-Fruchtfolgen	32
Grunwald, D., P. Götze, H.-J. Koch: Bodenkohlenstoffvorräte in verschiedenen Zuckerrübenfruchtfolgen und bei variiertes Rübenblattmenge.....	34

II

Ziesemer, A., S. Andert: Betrieblicher Herbizideinsatz in Winterweizen und Winterraps in Abhängigkeit der Fruchtfolge 36

Parallelsektion Getreide und Zuckerrüben

Bukowiecki, J., T. Rose, H. Kage: Weizenertrag erklären und prognostizieren: Was ist dazu nötig? 38

Riedesel, L., F. Laidig, S. Hadasch, D. Rentel, B. Hackauf, H.-P. Piepho, T. Feike: Breeding progress in wheat and rye contributes to climate change mitigation in Germany 40

Wang, T.-C., H. Stützel, T.-W. Chen: Early nitrogen availability improves yield stability in winter wheat by stimulating canopy development 42

Fishkis, O., H.-J. Koch: Umweltwirkungen mechanischer, chemischer und mechanisch-chemischer Unkrautregulierung in Zuckerrüben 44

Parallelsektion Lehre, Standraumverteilung und N-Fixierung

Dobers, E.S.: Pflanzenbau-Lehre mit der freien Software *CMap Tools* 46

Lieb, R., L. Kottmann, D. Hermann, S. Posch, T. Feike: Methodology and indices for the spatial evaluation of different planting patterns 48

Omari, R.A., M. Reckling, M. Halwani, S. Bellingrath-Kimura: Enhanced soybean productivity by inoculation with locally isolated *Bradyrhizobium* strains in cool growing conditions 50

Polkowski, C., J. Jungbluth, D. Neuhoff, R. Jung, S. Siebert: Beregnung von Ackerbohnen im Ökologischen Landbau: Effekte auf Kornertrag und N₂-Fixierung 52

Parallelsektion Modellierung

Nendel, C., A.C. Hampf, M. Reutter, M. Berg-Mohnicke, H. Pfeffer, B. Matzdorf: Simulation von Optionen zur Reduzierung der Stickstoffauswaschung für den Handel mit virtuellen Ökosystemdienstleistungen 54

Rothardt, S., H. Kage: Reduktion von N-Verlusten durch Ernterückstandsmanagement - Eine modellgestützte Bewertung 56

Palka, M., A.M. Manschadi, J. Eitzinger, S. Schneider, T. Neubauer: Wie die Verknüpfung von Pflanzenwachstumsmodellen, Fernerkundung und saisonalen Wetterprognosen zur Verbesserung des N-Düngemanagements beitragen kann 58

Bergmüller, K., A.R. Shawon, E. Memic, D. Sabboura, A. Kheir, K.J. Boote, T. Kautz, E.S. El Habbasha, T. Feike: Potential yield and water use efficiency of oilseed rape in Egypt - A modeling study using the CROPGRO canola model 60

Parallelsektion Dauerfeldversuche

Stumpf, B., J. Macholdt, W. Hierold, B. Honermeier: Durchführung und Nutzung von Dauerfeldversuchen – Probleme, Anforderungen und Qualitätsstandards 62

Knoop, S.-K., B. Stumpf, F. Yan, B. Honermeier: C- und N-Speicherung im Bodenprofil sowie PK-Gehalte des Bodens nach langjähriger mineralischer NPK- und Stallmist-Düngung - Ergebnisse aus dem Erschöpfungsversuch Gießen 64

Mösl, T., H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Ertragsrelationen ökologischer und konventioneller Anbausysteme auf Fruchtarten- und Fruchtfolge-Ebene: Ergebnisse eines elfjährigen Dauerfeldversuchs 66

III

Reckling, M. et al.: Methods of yield stability analysis in long-term field experiments	68
Parallelsektion Körnerleguminosen-Gemenge	
Luhmer, K., H. Blum, J. Schmidt, R. Pude: Innovative Konzepte zum Anbau von Sommermohn mit Körnerleguminosen	70
Rinke, N., H. Böhm: Einfluss des Gemengeanbaus auf die Erträge und Rohproteinerträge verschiedener Körnerleguminosen im Ökolandbau.....	72
Holzgreve, H., I. Cordes, S. Roux, H. Böhm: Mit Weißer Lupine und Hafer aufs Ganze – Optimierung der Saatstärkenverhältnisse im Gemenge für GPS oder Biogas im ökologischen Landbau.....	74
Parallelsektion Düngung und Bodenbearbeitung	
Junge, S.M., M. Plass, D. Henzel, C. Weiler, M.R. Finckh: Zwischenfrüchte und Transfermulch als Düngestrategie für viehlose Ökobetriebe	76
Kopenhagen, T., R. Weber, M. Frank: Teilflächenspezifische Düngung in kleinstrukturiertem Ackerbau – eine Analyse der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen.....	78
Kavka, M., J. Kirchgessner, M. Hazarika, K. Korn, V. Paap, S. Bachmann-Pfabe, K.J. Dehmer, R. Uptmoor: Kartoffelpflanzen unter Phosphormangel – eine Untersuchung der Wurzelsysteme und Phosphataseaktivitäten.....	80
Bischoff, J., O. Radtke, C. Rusch, M. Athmann: Ackerbau mit ganzjähriger Bodenbedeckung und Schafhaltung in einem Praxisfeldversuch	82
Parallelsektion Treibhausgase und Gärreste	
Winkhart, F., H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Wirkungen von Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und Gärrestdüngung auf Lachgasemissionen im ökologischen Maisanbau	84
Peters, J.: Gärreste im Winterraps – Was wird wirksam?.....	86
Neukam, D., J. Puckhaber, R.R. Nasser, J. Rouhiainen, R. Dechow, H. Kage: Modellgestützte THG-Bewertung der Bioenergieerzeugung aus Mais, Raps und Weizen	88
Räbiger, T., L. Essich, K. Holzhauser, S. Merl, V. Nasser, I. Pahlmann, I. Schaper, M. Schlathölter, A. Stracke, H. Kage: Klimaschutz durch Zwischenfruchtanbau? Ergebnisse eines 3-jährigen Verbundprojektes	90
Vorträge im Wettbewerb der GPW: Ernst-Klapp-Zukunftspreis	
Burgel, L.: The bioeconomy potential of hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.): challenges of new genotypes and cultivation systems to meet the rising demand for phytocannabinoids	92
Elsalahy, H.H., S.D. Bellingrath-Kimura, T. Kautz, T.F. Döring: Effects of mixing alsike clover and black medic in variable environments	97
Knapp, S.: Ertragsstabilität, Ertragsentwicklung und Zuchtfortschritt im konventionellen und ökologischen Landbau	100
Rose, T.: Der Beitrag funktioneller Ertragskomponenten zum Zuchtfortschritt in Winterweizen.....	103

Workshop

Komainda, M., A. von Kameke, J. Isselstein: Milch ausschließlich vom Gras? Bewertung der Graslandbeanspruchung durch Milchkühe im historischen Ablauf . 108

Poster - Themenbereich 1: Ökologischer Landbau

Gollner, G., A. Surböck, J.K. Friedel: Herausforderungen der Direktsaat von Soja und Mais im Ökologischen Landbau im Trockengebiet 110

Hagemann, D., J. Bühlmeyer, M. Beiküfner, I. Kühling, D. Trautz: Wirkung verschiedener Walzverfahren auf den untersten Hülsenansatz und weitere Ertragsparameter beim ökologischen Anbau von Sojabohnen (*Glycine max* (L.) Merrill.) 112

Reuter, T., K. Nahrstedt, L. Wittstruck, T. Jarmer, D. Trautz: Ableitung der Vorfruchtwirkung heterogener Kleeanteile im Klee gras anhand von NDVI-Werten im Ökologischen Landbau 114

Urbatzka, P., T. Eckl, E. Heiles, G. Salzedo, A. Castell: Langjähriger Vergleich der Vorfruchtwirkung von Klee gras und Körnerleguminose auf die zweite Nachfrucht Sommergerste im ökologischen Landbau 116

Urbatzka, P., S. Zott: Einfluss des Klee grasmanagement auf die N_{\min} -Werte der Nachfrüchte im ökologischen Landbau 118

Urbatzka, P., E. Heiles, R. Schneider: Einfluss der Fruchtfolge auf den Besatz mit Ampfer in einem Dauerfeldversuch im ökologischen Landbau 120

Hett, J., C. Schmitz, A. Bevivino, D. Heuhoff: Gezielte Nutzung mikrobieller Konsortien zur Ertragssteigerung im ökologischen Maisanbau 122

Henzel, D., A. Ley, M.R. Finckh, S.M. Junge: Einfluss von Zwischenfrüchten und Transfermulch auf die Regenwurm population im ökologischen Kartoffelbau 124

Poster - Themenbereich 2: Organische Düngung

Strenner, M., L. Chmelíková, K.-J. Hülsbergen: Die Pflanze als Indikator - Vergleich des Einflusses verschiedener organischer Dünger in der ökologischen Landwirtschaft auf Mais mittels Feldspektroskopie 126

Chmelikova, L., M. Strenner, J. Ludwig, K.-J. Hülsbergen: Untersuchungen zur Kompostwirkung im Ökolandbau (Projekt ProBio)..... 128

Grosse, M., C. Dönmez, W. Hierold: Düngungs-Dauerfeldversuche in Deutschland und Europa 130

Blossei, J., R. Uptmoor, T. Hamann: Einfluss einer reduzierten organischen Stickstoffdüngung auf Qualitätseigenschaften der Kartoffel für den ökologischen Landbau 132

Nehl, M., B. Stumpf, F. Yang, B. Honermeier: Wirkung von Kompost auf die C- und N-Speicherung im Boden sowie die Kornerträge von Mais, Weizen und Gerste – Ergebnisse aus dem Dauerfeldversuch IOSDV Rauschholzhausen... 134

Poster - Themenbereich 3: Nährstoffmanagement

Sieve, F., F. Wilken, J. Isselstein, M. Kayser: Die Stoffstrombilanz als Indikator für Handlungsspielraum beim Nährstoffmanagement auf Milchviehbetrieben in der Wesermarsch 136

Weckesser, F., K.-J. Hülsbergen, F. Leßke: Integration of diverse data into a Farm-Nitrogen Management System (FNMS) 138

Gurgel, A., K. Riebe, S. Busch: Nutzung von Leguminosenuntersaaten zur Senkung des N-Dünger-Einsatzes im Winterraps	140
Görres, C.-M., T. Appel: Dünge- und Umweltwirkungen neuartiger Dünger aus pyrolysierten Gärresten, Trockenkot und Gülle in Gemüsekulturen in einem Gefäßversuch.....	142
Donauer, J., L. Andermann, H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Modellierung des Nitrataustrags im Rahmen eines webbasierten Nährstoffmanagementsystems: Wurzelentwicklung und N-Aufnahme	144

Poster - Themenbereich 4: Stickstoff/Schwefel/Phosphor

Bull, I.: Kein Zusammenhang zwischen N-Saldo und N-Austrag? - Analyse von Nitrat im Sickerwasser.....	146
Beiküfner, M., K. Jabs, M. Vergara, G. Broll, I. Kühling, D. Trautz: Einfluss der mechanischen Beikrautregulierung auf die Boden-N-Mineralisation in Wintergerste	148
Kayser, M., H. Rethmeyer, M. Backes, J. Isselstein: N-Dynamik beim Anbau von Mais nach Grünlandumbruch und Trockenphasen.....	150
Villwock, D., S. Kurz, M. Müller-Lindenlauf: Auswirkungen des Mais-Stangenbohnen-Gemengeanbaus auf den Stickstoffhaushalt.....	152
Eißner, F., E. Thiel, O. Spott, F. Böttcher, D. Assmann, M. Grunert, H. Pundt, T. Kreuter: Das Verbundprojekt StaPrax-Regio: N-Stabilisierung in der Düngepraxis - Optimierung durch Regionalisierung auf Basis meteorologisch-edaphischer Parameter	154
Kühling, I., M. Beiküfner, M. Vergara, D. Trautz: Potential for groundwater protection by slightly reduced N-fertilisation rates in a karst aquifer in Lower Saxony	155
Brokötter, J., H. Kage, S. Kukowski: Minderung von NH ₃ -Verlusten und Steigerung der Stickstoffeffizienz beim Einsatz synthetischer Stickstoffdünger (NH ₃ -Min)	157
Hu, Y., K.J. Dehmer, E. Willner, S. Bachmann-Pfabe, B. Eichler-Löbermann: P utilisation capacity of forage legumes from recycling products.....	159
Müller, J., R. Liermann, B. Mahnke, L. Dittmann: Effekte unterschiedlicher P-Dünger auf den Futterwert von Klee-grasgemengen.....	161
Shaan, A.M.: Productivity of intercropped faba bean and fodder beet under variable phosphorus fertilizer rates.....	163
Titze, A., H. Gruber: Einfluss einer Schwefeldüngung zu Klee-gras auf Pflanzengehalte, Leguminosenanteil und Ertrag auf einem trockenen Sandstandort.....	165

Poster - Themenbereich 5: Energiepflanzen/Biogas/Gärreste

Nasser, R.R., D. Neukam, R. Dechow, J. Rouhiainen, H. Kage: Direct N ₂ O emissions from the cultivation of energy crops: How large are the estimates from different model approaches?.....	167
Peters, J.: Langzeitwirkung des Einsatzes von Gärresten in der Monokultur Mais	169
Mešinović E., A. Muskulus, T. Kautz, J. Koslowski: Verbesserung der N-Effizienz und Reduzierung der Umweltbelastung durch Ammoniumentfernung aus Gärresten mithilfe der »Vakuum-Entgasung« -Technologie.....	171

Roß, C.-L., C. Borm, H. Vogel, T. Kautz: Einfluss von Unterfußdüngung mit Gärprodukten auf Wurzelarchitektur und Jugendentwicklung von Sommerweizen unter Trockenstress.....	173
Müller, B., T. Müller, I. Lewandowski, A. Bauerle: On-Farm Versuch mit Düngern aus der Aufbereitung von Biogasgärrückständen im Kreis Hohenlohe (EIP Agri-Projekt Agriplus Hohenlohe)	175
Wiedow, D., M. Beck, S.R. Roux, J. Burgstaler: Lupinen im Mischfruchtanbau – eine Alternative als Biogassubstrat?	177
Höppner, F., S. Roux: Andenlupine mit Mais – Silierfähigkeit und Qualität	179

Poster - Themenbereich 6: Weizen

Zeibig, F., M. Frei: Assessment of wheat wild relatives for their use as potential future crops	181
Leseberg, C., E. Bönecke, H. Stützel: Factors influencing the yield development of winter wheat in Germany over the past 25 years	183
Shawon, A.R., E. Memic, A.K. Bergjord Olsen, W. Waalen, L. Kottmann, B. Hackauf, T. Feike: Simulating wheat under German growth conditions – a comparison of different calibration strategies for the DSSAT NWheat model	185
Koppensteiner, L.J., R.W. Neugschwandtner, S. Raubitzek, P. Weihs, T. Neubauer, H. Wagentristl, A. Gronauer, H.-P. Kaul: Estimation of canopy parameters using inverted radiative transfer modelling in wheat.....	187
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 wheat production in Germany using a multi-model-ensemble	189
Sabir, K. <i>et al.</i> : Quantifying cultivar-specific sensitivities of yield components to fluctuating environmental variables during the developmental sub-phases in winter wheat	191
Weedon, O., L. Kilian, A. Haak, T. Siegmeier, D. Möller, M.R. Finckh: Bewertung und Akzeptanz heterogener Weizenpopulation in ökologischen Wertschöpfungsketten (BAKWERT) –Blattkrankheitsbefall aus dem Versuchsjahr 2020/21	193

Poster - Themenbereich 7: Ertragsphysiologie/Neue Kulturen

Neugschwandtner, R., G. Dobos, H. Wagentristl, H.-P. Kaul: Ertragsbildung von Wintermohn bei unterschiedlichen Saatterminen	195
Cornelsen, H., N. Wrage-Mönnig: Plastik im Grünland? Einfluss von Mikroplastik auf das Pflanzenwachstum am Beispiel von Deutschem Weidelgras	197
Uhlig, K., J. Rücknagel: Beeinflusst die Wärmeemission von unterirdischen Hochspannungsleitungen Boden und Kulturpflanzen?.....	199
Gurgel, A., J. Schneider: Anbau von Steinklee - Wiedereinführung in die Praxis und Verbesserung der Anbausituation	201
Wever, C., C. Korte, M. Greve, J. Elfers, G. Völkerling, R. Pude: Die Domestikation der Durchwachsenen Silphie (<i>Silphium perfoliatum</i> L.).....	203

Poster - Themenbereich 8: Cropping Systems

Lieb, R., B. Klocke, J. Schwarz, T. Feike: Performance of wheat and rye in a mineral-ecological cropping system in Brandenburg	205
--	-----

VII

Reckling, M., I. Notz: Agronomic, environmental and economic impacts when integrating legumes into cropping systems across Europe	207
Schulz, V.S., S. Weisenburger, K. Stolzenburg, K. Möller: Einfluss der Platzierung der Stangenbohne auf Trockenmasse- und Proteinerträge im Mais-Stangenbohnen-Gemenge	209
Vaziritabar, Y., F. Yan, M. Frei, B. Honermeier: Long-term effect of crop rotation on CO ₂ efflux, soil microbial biomass C, soil organic carbon and dissolved organic carbon under different mineral fertilization - LTE "BNF" Giessen	211
Wolfrum, S., J. Burmeister, R. Walter: Erfassung und Modellierung von Ökosystemleistungen in Agrarökosystemen	213
Salama, H.S.A., A.I. Nawar, H.E. Khalil: Multi-purpose intercropping: A useful strategy to increase food and feed supplies and land use efficiency in the developing countries	215
Hernández-Ochoa, I.M. <i>et al</i> : Spatial and temporal crop diversification through new field arrangements in a heterogeneous agricultural landscape: the patchCROP landscape experiment and simulation study.....	217
Poster - Themenbereich 9: Fernerkundung	
Weier, B.K., E.S. Dobers: Standortsspezifische Optimierung im Maisanbau durch Integration von landwirtschaftlichem Erfahrungswissen und Fernerkundungsdaten unterschiedlicher Qualität	219
Krieger, J., H. Gerighausen: Standardisierung von UAV-gestützten Bonituren am Beispiel Winterraps	221
Moualeu-Ngangué, D., H. Stützel: Assessing the senescence of spring barley genotypes using high-throughput phenotyping through UAVs images	223
Hagn, L., F.-X. Maidl, K.-J. Hülsbergen: Sensor- und satellitengestützte Analyse des räumlich variablen Stickstoffdüngedarfs	225
Poster - Themenbereich 10: Bildanalyse	
Schmitz, S., A. Fricke, H. Stützel: Assessing morphologic short term stress reactions in plants using a 3D imaging approach	227
Limpächer, S.K., E.S. Dobers: Schätzung der oberirdischen Trockenmasse von Winterraps <i>Brassica napus</i> , Wintergerste <i>Hordeum vulgare</i> und Blauer Lupine <i>Lupinus angustifolius</i> durch Blattflächenermittlung von Digitalfotografien	229
Poster - Themenbereich 11: Inhaltsstoffe/Qualität	
Balko, C., A. Zaar, N. Gutiérrez, F. Kölpin: Umweltstabilität des Vicin/Convicin-gehaltes in Ackerbohnen (<i>Vicia faba</i> L.) unter dem Einfluss von Trockenstress und dem Befall mit <i>Bruchus rufimanus</i>	231
Moll, M.D., L. Kahlert, M. Blings, E.-C. Schwarze, S. Hillebrand, J. Ley, T. Kraska, R. Pude: Einfluss verschiedener Nachernteverfahren auf wertgebende Inhaltsstoffe von Teehortensien (<i>Hydrangea macrophylla</i> subsp. <i>serrata</i>)	233
Kämpfer, T., D. Gabriel, G. Rühl, J.-M. Greef: Alternative Parameter zur Bewertung der Backweizenqualität – Ergebnisse aus dem Projekt N-DECREASE –...	235
Stassen, M., H. Hendrik-Hofmann, E. Tholen, C. Neuhoff, K. Schellander: Beeinflussung des mukosalen Immunsystems beim Schwein durch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe des Oregano.....	237

VIII

Poster - Themenbereich 12: Unkraut/Pflanzenschutz

- Schmidt, F., S.-I. Horn, K. Stribny, F. Jobst, M. Mayr, H. Böhm, P. Urbatzka, R. Graß, M. Wachendorf: Silomaisanbau und Unkrautregulierung - präventive, systemare Maßnahmen in der Fruchtfolge- und Anbaugestaltung (UNSIFRAN) – Ergebnisse des 1. Versuchsjahres 239
- Weller, J., J. Lehmhus: Auswirkungen alternativer Unkrautbekämpfungsmethoden auf epigäische Raubarthropoden und Schadinsekten in der Zuckerrübe 241
- Rettig, A.M., S. Kühne, K. Grahmann: Schädlingsmonitoring im Raps (*Brassica napus*) durch künstliche Intelligenz (KI) gestützte, digitale Gelbschalen 243
- Roß, C., N. Stockfisch: Zwischenfruchtanbau vor Zuckerrüben – eine Maßnahme im Wandel von Nematodenkontrolle zu Umweltschutz..... 245

Poster - Themenbereich 13: Wurzelsystem

- Honsdorf, N. *et al.*: RhizoWheat - Rhizosphere processes and yield decline in wheat crop rotations 247
- Kottmann, L., T. Feike, J. Fromme, V. Kucherova, D. Gabriel, B. Hackauf: Einfluss des Kurzstrohgens *Ddw1* auf das Wurzelsystem von Winterroggen 249
- Kirchgesser, J., M. Kavka, M. Hazarika, S. Bachmann-Pfabe, K.J. Dehmer, R. Uptmoor: Genotype and P-dependent variability of root system architecture in potato (*Solanum tuberosum* L.) 251
- Arnhold, J., D. Grundwald, H.-J. Koch: Einfluss von Vorfrucht und N-Düngung auf das Wurzelwachstum von Winterweizen 253
- Kemper, R., M. Oltmanns, C. Brock, E. Han, T.F. Döring, M. Athmann: Bedeutung der Wurzellänge im Unterboden für den Sprossertrag von Futterpflanzen auf einem Sandstandort 255
- Petzoldt L., T. Kautz: Wurzelwachstum von Sommergerste (*Hordeum vulgare* L.), Sommerraps (*Brassica napus* L.) und Ackerbohne (*Vicia faba* L.) im wurm- oder wurzelgeprägten bioporennahen Unterboden..... *
- Holzhauser, K., H. Kage: Effekte von tiefwurzelnden Zwischenfruchtmischungen auf das Wurzelwachstum von Mais 257
- Mburu, M.M., C.-F. Weßler, A. Callau-Beyer, H. Stützel: Root Distribution of Cabbage Under Subsurface Drip Fertigation..... 259

Poster - Themenbereich 14: Bewässerung

- Owino, L., D. Söffker: Predictive precision irrigation-based control of maize leaf growth under laboratory conditions 261
- Butz, A., M. Schraml, K. Möller: Vergleich von Bewässerungsmodellen im Körnermais 263
- Callau-Beyer, A., M. Mburu, C.-F. Weßler, H. Stützel: Subsurface drip fertigation control tool (SDF-Tool) 265
- Weßler, C.-F., M.M. Mburu, A. Callau-Beyer, H. Stützel: Einfluss unterschiedlicher Nitratgehalte in der Unterflurtropffertigation auf das Wachstum von Rotkohl (*Brassica oleracea*..... 267

Poster - Themenbereich 15: Trockenstress

Weggler, K., J. Weber: Grünland mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen von Gräsern und Leguminosen bei Trockenheit: Ertrag und Grasshopper Ertrags-Messungen	269
Kämpfer, 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	271
Tung, S.-Y., W. Vahl, K. Fleißner, S. Wolfrum: Rhizosphere traits enhancing agronomic resilience of winter wheat to drought stress in a controlled environment	273
Tung, S.-Y., W. Vahl, B. Eder, S. Wolfrum: Rhizosphere traits enhancing agronomic resilience of maize to drought stress in a controlled environment	275
Tung, S.-Y., B. Eder, L. Wachter, M. Großhauer, S. Wolfrum: Analyzing rhizosphere traits enhancing agronomic resilience of maize to drought stress in a field experiment using rainout shelters	277
Garcia-Jimenez, F., H. Stützel, D. Moualeu-Ngangue: Evaluation of morphological and physiological changes involved in tiller recovery capacity from drought stress during tillering in ten barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) genotypes	279
Sabboura, D., E.S. El Habbasha, D. Gabriel, T. Kautz, T. Feike: Effect of timing and duration of combined heat and drought stress on oilseed rape (<i>Brassica napus</i> L.)	281
Meziane, A., V. Grätz, A. Matros, G. Wehner, S. Bleser, A. Linkies, A. Schmitt, T. Feike: A review on model-based development of drought-tolerant cereal ideotypes	283
Kamau, S.M., D. Moualeu-Ngangue, H. Stützel: Evaluation of growth and yield performance of medium duration pigeonpea (<i>Cajanus cajan</i>) under drought stress	285
Autorenverzeichnis	287

*Beitrag lag bei Redaktionsschluss nicht vor

Landwirtschaft, Ernährungssicherung und globale Nachhaltigkeit

Matin Qaim

Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, 37073 Göttingen,
E-Mail: mqaim@uni-goettingen.de

Einleitung

Mit der Agenda 2030 hat die Weltgemeinschaft sich ehrgeizige Ziele gesetzt, nämlich den Hunger in all seinen Formen bis 2030 zu beenden, Klimawandel und Artenschwund einzudämmen und nachhaltige Entwicklung in ihren vielfältigen wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Dimensionen voranzutreiben. Nachhaltige Landwirtschaft wird speziell im Entwicklungsziel 2 aufgegriffen, wobei die Bereiche Landwirtschaft und Ernährung auch viele der anderen Entwicklungsziele unmittelbar betreffen. In diesem Beitrag wird zunächst die globale Ernährungslage aufgezeigt und untersucht, ob eine Welt ohne Hunger bis 2030 möglich ist. Des Weiteren werden Wechselwirkungen zwischen Landwirtschaft, Ernährung sowie menschlicher und planetarer Gesundheit diskutiert. Leider gehen viele der zu beobachtenden Entwicklungstendenzen nicht oder nicht ausreichend in Richtung Nachhaltigkeit. Deswegen werden unterschiedliche Optionen erörtert, die dabei helfen können, das globale Ernährungssystem nachhaltiger zu gestalten.

Globale Ernährungslage

Nach wie vor hungern etwa 700 Mio. Menschen, also rund 9% der Weltbevölkerung (FAO 2020). Obwohl der Anteil der hungernden Menschen in den letzten Jahrzehnten insgesamt deutlich gesunken ist, ist der Fortschritt zu langsam und stagnierte in den letzten fünf Jahren sogar. Über Hunger im Sinne des Kalorienmangels hinaus, leidet eine noch viel größere Zahl von Menschen an Mikronährstoffmangel, der auch schwerwiegende negative Gesundheitsfolgen hat. Das Problem des Mikronährstoffmangels verringerte sich in den letzten 20 Jahren nur sehr langsam (Gödecke et al. 2020). Und schließlich sind über 2 Mrd. Menschen von Übergewicht und Adipositas betroffen, die Diabetes, Bluthochdruck und andere chronische Krankheiten begünstigen. Die Zahl der Übergewichtigen steigt, übrigens auch in den Entwicklungs- und Schwellenländern. Diese Trends verdeutlichen, dass eine Welt ohne Hunger und Fehlernährung in ihren unterschiedlichen Ausprägungen bis 2030 kaum erreicht werden wird. Allerdings verändern sich die Ernährungsprobleme, so dass auch die Maßnahmen zur Bekämpfung angepasst werden müssen.

Hunger und Fehlernährung sind nicht nur eine Frage der verfügbaren Lebensmittelmenge, sondern auch der Verteilung und des individuellen wirtschaftlichen und sozialen Zugangs. Hunger und Armut sind eng miteinander verknüpft, so dass eine Steigerung der Lebensmittelproduktion allein nicht die Lösung für das Hungerproblem darstellt. Dennoch wird auch die globale Produktion weiter gesteigert werden müssen, weil die Nachfrage durch Bevölkerungs- und Einkommensentwicklungen weiter wächst (GLOPAN 2020).

Planetare Gesundheit

Die Landwirtschaft ist der größte Nutzer knapper Land- und Wasserressourcen. Sie trägt auch in erheblichem Maße mit zum globalen Klimawandel, zum Verlust von Wäldern, zur Gewässereutrophierung und zum Artenschwund bei. Diese Umwelt-

und Klimaprobleme werden sich zunehmend verschärfen, wenn die Produktion ohne grundlegende Veränderung der Technologie weiter gesteigert wird. Zu beachten ist weiterhin, dass die Landwirtschaft den globalen Umweltwandel nicht nur mit verursacht, sondern davon selbst auch stark negativ betroffenen ist. Vor allem in den Ländern des globalen Südens beeinflussen steigende Durchschnittstemperaturen und häufiger auftretende Wetterextreme die landwirtschaftliche Produktion deutlich negativ, was den Hunger weiter verschlimmern könnte (IPCC 2019). Gerade in Afrika und Asien sind viele vom Hunger betroffene Menschen Kleinbauern und damit direkt von der Landwirtschaft als Lebensgrundlage abhängig (GLOPAN 2020). Ein wichtiger Ansatzpunkt für nachhaltige Entwicklung ist deshalb nicht nur den Klimafußabdruck der Landwirtschaft zu verringern, sondern auch die Produktivität und Resilienz im Kleinbauernsektor zu verbessern.

Nachhaltiger Konsum

In der öffentlichen Diskussion über nachhaltige Landwirtschaft und Ernährungssicherung wird oft argumentiert, dass eine weitere globale Produktionssteigerung gar nicht nötig sei, wenn Verluste und Verschwendung vermieden und der Konsum tierischer Produkte weltweit deutlich eingeschränkt würden. Allerdings geht diese Argumentation an den globalen Realitäten vorbei. Natürlich müssen Lebensmittelverluste und Verschwendung entlang der Wertschöpfungskette reduziert werden. Auch die Umstellung auf eine stärker pflanzenbasierte Ernährung kann für die Nachhaltigkeit förderlich sein, wenn der Zugang zu nährstoffreichen pflanzlichen Lebensmitteln für alle Bevölkerungsgruppen ganzjährig gewährleistet ist. Tatsache ist aber auch, dass Konsum- und Ernährungsmuster sich nur langsam verändern und in demokratischen Gesellschaften nicht einfach politisch anzuordnen sind. In vielen Entwicklungs- und Schwellenländern steigt der pro-Kopf-Konsum tierischer Produkte derzeit stark an anstatt zu sinken, so dass ein weltweiter Trend hin zum Vegetarismus kurz- und mittelfristig kaum zu erwarten ist. Deutliche Veränderungen im Konsum müssen insgesamt ein zentraler Baustein für mehr Nachhaltigkeit im Ernährungssystem sein, sollten aber nicht als Argument gegen ebenfalls notwendige Produktionssteigerungen verwendet werden.

Steigerung der Flächenerträge

Ertragssteigerungen in der Landwirtschaft waren in den vergangenen Jahrzehnten einer der wesentlichen Triebkräfte für den Fortschritt in der Hungerbekämpfung. Im Zuge der Grünen Revolution haben sich die Erträge für Reis, Weizen und Mais vor allem in Asien und Lateinamerika seit den 1960er Jahren rund vervierfacht und damit den Anteil unterernährter Menschen deutlich reduziert. In Afrika, wo die Grüne Revolution bisher kaum stattgefunden hat, ist der Anteil hungernder Menschen nach wie vor viel höher (FAO 2020). Ertragssteigerungen bleiben für die Verbesserung der Ernährungssituation weiterhin zentral, allerdings müssen zwei wesentliche Nachteile der Grünen Revolution für zukünftige Entwicklungen angegangen werden. Erstens, Ertragssteigerungen müssen zukünftig wegen planetarer Grenzen mit weniger externen Inputs wie chemischen Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln und Bewässerungswasser erreicht werden. Zweitens, die Entwicklungen dürfen nicht auf wenige Getreidearten beschränkt bleiben, sondern müssen ein breites Spektrum von Nahrungspflanzen umfassen, um wieder mehr Vielfalt auf die Felder und in die Ernährungsmuster zu bekommen.

Die Wichtigkeit von Ertragssteigerungen für nachhaltige Entwicklung wird besonders deutlich, wenn man bedenkt, dass die Alternative für eine globale Mehrproduktion die weitere Ausdehnung der Ackerfläche in Naturräume wäre. Je geringer die Ertragssteigerungen pro ha, desto stärker steigen bei wachsender Nachfrage die Preise und desto größer werden die Anreize für das Abholzen von Wäldern, das Umbrechen von Grünland und das Trockenlegen von Mooren, alles maßgebliche Treiber für Artenschwund und Klimawandel. Rund die Hälfte aller Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft geht auf einen solchen Landnutzungswandel zurück (IPCC 2019). Einem weiteren Verlust von Naturräumen muss deswegen durch hohe und steigende Erträge entgegengewirkt werden.

Ökolandbau

Der Ökolandbau gilt gemeinhin als besonders umweltfreundlich, weswegen national und international die Steigerung des Anteils des Ökolandbaus als zentrales Ziel für eine nachhaltigere Landwirtschaft formuliert wurde. Allerdings kann die stetige Ausdehnung des Ökolandbaus auch mit Problemen verbunden sein. Dadurch dass die Erträge im Ökolandbau niedriger sind als in der konventionellen Landwirtschaft, wird für die Produktion der gleichen Menge insgesamt mehr Fläche benötigt (Meemken und Qaim 2018). Folglich reicht es nicht, Umwelt- und Klimaeffekte pro ha zu betrachten. Wenn die niedrigeren Erträge mitberücksichtigt werden, relativieren sich die Umweltvorteile des Ökolandbaus und kehren sich teilweise sogar um. Zudem können durch großflächige Umstellung auf Ökolandbau und damit verbundene Ertragseinbußen indirekte Landnutzungsänderungen in anderen Teilen der Welt mit negativen Klimaeffekten entstehen (Smith et al. 2019). Das bedeutet nicht, dass der Ökolandbau in spezifischen Situationen nicht zur Nachhaltigkeit beitragen kann, nur sollte er nicht als Patentrezept für global nachhaltige Landwirtschaft missverstanden werden.

Neue Technologien

Die Herausforderung, Erträge weiter zu steigern und dabei gleichzeitig den Einsatz knapper Ressourcen und umweltschädlicher Inputs zu reduzieren, kann nur durch die Entwicklung und Umsetzung neuer Technologien gemeistert werden. Digitale Technologien der Präzisionslandwirtschaft können hierbei eine wichtige Rolle spielen. Ebenso bieten neue Züchtungstechnologien – inkl. der Gentechnik und des Genome-Editing – große Potentiale, die Landwirtschaft ertragreicher, vielfältiger, umweltfreundlicher und resilienter zu machen (Qaim 2020). Gerade mit Blick auf neue Züchtungstechnologien gibt es in Deutschland und Europa viele Vorurteile und Missverständnisse. Hier gilt es, durch verbesserte, evidenzbasierte Kommunikation schrittweise neues Vertrauen aufzubauen. Wichtig ist aber auch die Erkenntnis, dass neue Technologien allein nicht die beste Antwort auf jedes Problem und schon gar nicht ein Ersatz für andere wichtige Ansätze sind. Nachhaltige Systeme ergeben sich nur, wenn neue Technologien mit guten Anbaupraktiken, vielfältigen Fruchtfolgen und institutioneller Innovation kombiniert werden.

Betriebsgrößenstruktur

Bei der Frage, wie die Landwirtschaft nachhaltiger gestaltet werden kann, wird häufig auch über die optimale Betriebsgrößenstruktur diskutiert. Sind kleine Betriebe nachhaltiger als große, oder umgekehrt? Eine pauschale Antwort auf diese Frage ist global kaum möglich, weil viele Faktoren eine Rolle spielen, die regional sehr unterschiedlich sein können. Weltweit werden rund 80% aller Lebensmittel von

Familienbetrieben produziert, wobei längst nicht alle Familienbetriebe klein sind (Lowder et al. 2021). Rund 35% aller Lebensmittel werden von kleinen Betrieben mit weniger als 2 ha Landfläche produziert. Aber diese Zahlen sind nur bedingt aussagekräftig, denn in vielen Entwicklungsländern ist ein Großteil der von Hunger und Armut betroffenen Bevölkerung von der kleinbäuerlichen Landwirtschaft abhängig. Deswegen ist dort die Kleinbauernförderung für die soziale Dimension der Nachhaltigkeit besonders wichtig. Allerdings sollte eine solche Förderung nicht zur Konservierung der Subsistenzlandwirtschaft führen. Ein Strukturwandel hin zu mittelgroßen Betrieben kann längerfristig durchaus förderlich für nachhaltige Entwicklung sein. In Bezug auf Umwelteffekte gehen kleinbäuerliche Strukturen oft mit mehr Biodiversität einher (Ricciardi et al. 2021), wobei die Größe der Felder und die Heterogenität der Landschaft letztlich eine wichtigere Rolle spielen als die Betriebsgröße an sich (Clough et al. 2020). Insgesamt gibt es keine linearen, statischen Beziehungen zwischen Betriebsgröße und Nachhaltigkeit, auch weil sich die sozialen und technologischen Rahmenbedingungen im Zeitablauf verändern.

Fazit

Die heutigen Agrar- und Ernährungssysteme sind in vielerlei Hinsicht nicht nachhaltig. Eine umfassende Transformation ist nötig, um Hunger und Fehlernährung erfolgreich zu bekämpfen und auch die anderen Dimensionen der Nachhaltigkeit entscheidener voranzutreiben. Zum einen müssen die Konsummuster gesünder und nachhaltiger werden. Zum anderen muss die landwirtschaftliche Produktion ertragreicher, vielfältiger und umweltfreundlicher werden. Hierbei können und müssen neue Technologien eine wichtige Rolle spielen. Einfache Patentrezepte für mehr Nachhaltigkeit gibt es nicht, sondern es müssen ganz unterschiedliche produktions- und konsumseitige Ansätze gleichzeitig verfolgt werden.

Literatur

- FAO (2020). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2020*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- Clough, Y., Kirchweger, S., Kantelhardt, J. (2020). Field sizes and the future of farmland biodiversity in European landscapes. *Conservation Letters* 13, e12752.
- Gödecke, T., Stein, A.J., Qaim, M. (2018). The global burden of chronic and hidden hunger: Trends and determinants. *Global Food Security* 17, 21-29.
- GLOPAN (2020). *Future Food Systems: For People, Our Planet, and Prosperity (Foresight 2.0)*. Global Panel on Agriculture & Food Systems for Nutrition, London.
- IPCC (2019). *Climate Change and Land*. IPCC Special Report.
- Lowder, S.K., Sánchez, M.V., Bertini, R. (2021). Which farms feed the world and has farmland become more concentrated? *World Development* 142, 105455.
- Meemken, E.M., Qaim, M. (2018). Organic agriculture, food security, and the environment. *Annual Review of Resource Economics* 10, 39-63.
- Qaim, M. (2020). Role of new plant breeding technologies for food security and sustainable agricultural development. *Applied Economic Perspectives and Policy* 42, 129-150.
- Ricciardi, V. et al. (2021). Higher yields and more biodiversity on smaller farms. *Nature Sustainability*, <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00699-2>.
- Smith, L.G., Kirk, G.J.D., Jones, P.J., Williams A.G. (2019). The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nature Communications* 10, 4641.

Ökolandbau: Ein Weg aus den Zielkonflikten zwischen Produktivität und dem Schutz der natürlichen Ressourcen?

Urs Niggli

Agroscope, Bern, urs.niggli@agroecology.science

Einleitung

Die effiziente Nutzung von natürlichen Ressourcen und Energie ist ein Schlüssel für eine nachhaltige Landwirtschaft. Nicht handelbare Güter wie die Qualität und die Vielfalt der von der Landwirtschaft geprägten Landschaft und die Biodiversität als treibender Faktor für Ökosystemfunktionen (Bodenfruchtbarkeit, die Befruchtung oder die Stabilisierung der Schaderreger) sind weitere Aufgaben der Landwirtinnen und Landwirte. Wichtig sind auch die Effekte der Landwirtschaft auf den Klimawandel.

Eine Vision für den Ökolandbau zu schreiben, ist schwierig. Das hängt damit zusammen, dass die Gesellschaft den Ökolandbau, so wie er ist, bereits als Vision für die Landwirtschaft wahrnimmt. Es scheint also unnütz zu sein, eine Vision für eine Vision zu entwickeln. Die in Deutschland anzutreffende Polarisierung zwischen einer intensiven, betriebswirtschaftlich optimierten und international wettbewerbsfähigen konventionellen Landwirtschaft einerseits und dem Ökolandbau andererseits zeugt von einer Fantasielosigkeit der Agrarwissenschaften und der Praxis. Denn es wäre eine Vielfalt von nachhaltigen Landwirtschaftssystemen notwendig. Der jüngste Anlauf des BMEL für die Entwicklung einer nachhaltigen Ackerbaustrategie ist Papier geblieben und hat diese Vielfalt nicht gebracht.

Wo steht der Ökolandbau bezüglich Schonung der natürlichen Ressourcen?

Die ökologische Vorzüglichkeit des Ökolandbaus ist durch die wissenschaftliche Meta-Analyse von Sanders und Heß (2017) umfassend belegt. Spezifische hierarchische Metaanalysen zeigen eine um durchschnittlich 30 % höhere Artenzahlen und Abundanz (Tuck et al. 2014) auf Ökobetrieben, eine höhere mittlere Sequestrierungsrate von atmosphärischem Kohlenstoff von 450 kg pro Hektar und Jahr (Gattinger et al. 2012) und um 0.5 t pro Hektar und Jahr geringere Emissionen von Stickoxiden (in CO₂eq.) (Skinner et al. 2017).

Der bekannte DOK-Versuch in der Schweiz dokumentiert die durch langjährige ökologische Bewirtschaftung ausgelösten Veränderung von Umweltparametern an einem ackerbaulichen Standort auf einem Löss-Boden seit 1977 eindrücklich (Mäder et al., 2002). Mehr als 100 wissenschaftliche Arbeiten wurden publiziert (siehe die Einzelarbeiten unter <https://kurzelinks.de/Literatur-DOK-Aug2021>). Die Arbeiten umfassen das Bodenmikrobiom mit zahlreichen mikrobiologischen Indikatoren wie Biomasse, Enzymaktivitäten, Mykorrhiza, PLFA-Mustern oder Bakterienprofilen (molecular fingerprints). Die Diversität, Abundanz und Vermehrungsraten von Regenwürmern in den ökologisch bewirtschafteten Parzellen unterschieden sich sehr deutlich. Tiere und Mikroorganismen veränderten die physikalischen Eigenschaften der Böden und die Verfügbarkeit von Nährstoffen signifikant positiv. Bei der epigäischen Fauna konnten für die Gruppen der Laufkäfer, der Kurzflügler und Spinnen eine stabile Verdoppelung der Abundanz festgestellt werden, obwohl diese Tiere sehr mobil sind. Laufkäferarten mit sehr hohen Lebensraumsprüchen kamen nur in den ökologisch bewirtschafteten Parzellen vor. Die Hauptursachen der Unterschiede sind, dass die Spritzmittel keinen Schaden anrichten, die organische

Düngung den Lebensraum der Tiere aufwertet und die reichhaltige Unkrautflora Unterschlupf und Schutz gewährt.

Welche Zielkonflikte muss der Ökolandbau lösen?

Um eine großflächige Ökologisierungstrategie zu werden, müsste der Ökolandbau verschiedene Zielkonflikte lösen. Zwei davon sind ökonomischer Natur, nämlich die um zirka 50 Prozent höheren Gestehungskosten bereits auf Erzeugerstufe (BÖLW, 2020) und die mit 75 Prozent große Abhängigkeit der Einkommen der Ökobetriebe von den Direktzahlungen (Sanders, 2020). Ein weiterer Zielkonflikt ist der höhere Verbrauch der natürlichen Ressource Landfläche. Treu et al. (2017) rechnen bei einer großflächigen Umstellung in Deutschland mit einer Erhöhung der Landwirtschafts-fläche um 40 Prozent. Die ökologische Vorzüglichkeit, welche auf der Fläche gemessen wird, relativiert sich aufgrund des eigentlichen Treibers der Umweltveränderung, nämlich der rasch steigenden Nachfrage nach Lebensmitteln (Seufert und Ramankutty, 2017). Die FAO prognostiziert für 2050 einen zusätzlichen Kalorien-Bedarf von 56 Prozent, das wären rund 600 Millionen Hektar mehr Grün- und Ackerland. Die Diskussion wird dadurch erschwert, dass die positiven und negativen Externalitäten eine Mischung aus Flächen- wie Lebensmittelproduktionsbezogener Relevanz darstellen. Trotzdem bleiben die tieferen Erträge bei steigender Nachfrage nach Lebensmittel ein Schwachpunkt des Ökolandbaus.

Ökolandbau und Suffizienz: Ein Ausweg?

Die Ineffizienz der Landnutzung des Ökolandbaus verlangt eine Änderung der Ernährungsgewohnheiten (Schader et al, Müller et al). Ihre globalen Modelle zeigten, dass bei einer Halbierung der Lebensmittelabfälle und einer Halbierung des Fleischkonsums auch mit Ökolandbau im Jahr 2050 9 Milliarden Menschen ernährt werden könnten. Dieses theoretisch berechnete Potential des Ökolandbaus wird obsolet, wenn die globale Erwärmung nicht bei 1.5 Grad gehalten werden kann. Wird das Ziel verfehlt, steigt auch im Suffizienz-Szenario der Bedarf an zusätzlichem Ackerland stark an. Die Folgen der damit ausgelösten Landnutzungsänderungen auf die Mineralisierung von organischer Substanzen und Freisetzung von CO₂ und auf die Verluste an Biodiversität sind gravierend (Hodson et al. 2021). Diese Berechnungen zeigen deutlich, dass neben der Änderung des Ernährungsverhaltens auch die technologische Innovation eine große Rolle spielt.

Für Deutschland berechneten Treu et al. (2017) eine notwendige Senkung des Fleischverzehr um 31 Prozent, damit der CO₂ Fußabdruck einer Umstellung auf den Ökolandbau nicht grösser wird.

Die Realität ist jedoch eine andere. Der Anteil der Außerhaus-Verpflegung und von stark verarbeitenden Lebensmitteln nimmt zu, was zu mehr Abfällen führt. Landflucht, Kriege und Konflikte, Naturkatastrophen und Pandemien erhöhen die Lebensmittelverschwendung. Und der Fleischkonsum der globalen Mittelschicht steigt stetig an.

Die Rolle der Innovation in verschiedenen Anbausystemen

Die Innovation ist sowohl für den Ökolandbau wie für die konventionelle Landwirtschaft wichtig. Innovation kann eine soziale sein (z.B. die solidarische Landwirtschaft, neue Zusammenarbeitsformen, institutionelle Veränderungen), eine ökologische Optimierung (z.B. Biodiversität funktionell optimieren) oder eine technologische (z.B. die Präzisionslandwirtschaft, selbstständige arbeitende Roboter

mit künstlicher Intelligenz, Anwendungen aus den zurzeit fast explodierenden molekular-biologischen Forschung). Der Ökolandbau setzt prioritär auf die sozialen und ökologischen Innovationen, die technologischen Innovationen sind eingeschränkt. In der konventionellen Landwirtschaft ist die Reihenfolge umgekehrt, was sich langfristig vorteilhaft auswirken könnte.

Die wichtigsten Hürden des Ökolandbaus für eine flächendeckende Ausdehnung

Die Ertragsfähigkeit des Ökolandbaus kann durch Optimierungen weiter verbessert werden. Dazu gehören die Verbesserung der Fruchtfolgen, der Einsatz von Zwischenfrüchten und die Reintegration der Tierhaltung mit Gras-Klee-Mischungen in der Fruchtfolge, verbesserte Nährstoffkreisläufe und das Management der Bodenfruchtbarkeit. Dies kann vorwiegend durch die Beratung gemacht werden, weil das Wissen sowohl in der Forschung wie auch in der Praxis vorhanden ist. In der Forschung müsste die Weiterentwicklung des biologischen Pflanzenschutzes durch Biokontroll-Organismen und Pflanzenextrakten (*Botanicals*), vor allem in den Sonderkulturen, verstärkt werden. Weiterhin sind eine Intensivierung der biologischen Züchtung unter den speziellen Managementbedingungen des Ökolandbaus (GxExM) und die Nutzung der vielfältigen Möglichkeiten der Digitalisierung zu nennen.

Der Ökolandbau hat aber intrinsische, richtlinienbedingte Restriktionen. In wichtigen Punkten wird in der Produktion und Verarbeitung „Natürlichkeit“ höher gewichtet als Nachhaltigkeit. Das erschwert oder verunmöglicht die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlämmen, weil die Ausfällung des Phosphors mittels Säuren und Laugen sowie die synthetischen Polymere, die dabei als Flockungsmittel zum Einsatz kommen, kritisch gesehen werden. Der Phosphordünger Struvit, der aus Klärschlämmen gewonnen wird, ist ein exzellentes Beispiel für die Wiedergewinnung eines Rohstoffs, der endlich ist. Ein weiteres Beispiel sind die synthetisch bzw. enzymatisch hergestellten essenziellen Aminosäuren in Futtermitteln. Wird auf sie verzichtet und in Kauf genommen, dass zu niedrige Lysin- und Methionin-Gehalte die Futtermittelverwertungseffizienz verschlechtern, müssen Schweine und Hühner deutlich mehr Kraftfutter fressen. Was eine größere Anbaufläche zur Folge hat; außerdem fällt erheblich mehr Gülle an.

Die zukünftige Rolle des Ökolandbaus in der nachhaltigen Entwicklung der ganzen Landwirtschaft

Der Ökolandbau wird weiteren Schub bekommen, einerseits durch die stetig steigende Nachfrage, andererseits auch durch die *Farm-to-Fork*-Strategie der EU, welche 25 Prozent Ökolandbau zum Ziel hat.

Der Ökolandbau wird aber, um sein Markt-Profil nicht zu gefährden, nicht das Ziel haben, zu einer produktiven, flächengreifenden Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland oder Europa zu werden. Er wird auch in Zukunft eine Nische besetzen, die kontinuierlich wächst. Diese Rolle ist wichtig, weil der Ökolandbau eine Inspiration für die Märkte ist und auch im Umgang mit der Gesellschaft kommunikativ und innovativ ist. In dieser Rolle fordert der Ökolandbau die konventionelle Landwirtschaft heraus, und das ist gut so. Denn eine Landwirtschaft und eine Ernährung, welche die natürlichen Ressourcen nicht schonen, haben keine Zukunft.

Die konventionelle Landwirtschaft wird ebenfalls umzugestaltet sein: Viele systembezogenen Maßnahmen wie Fruchtfolgegestaltung, Diversifizierung der

Landschaft über Agroforst und zahlreiche die Landwirtschaft aufwertende ökologische Vorrangflächen werden integriert werden. Hier kann man viel vom Ökolandbau lernen. Aufgewertete und diversifizierte Agrarlandschaften werden auch durch die moderne Präzisionslandwirtschaft entstehen, die Dank GPS, Kameras, Sensoren, Algorithmen und wendigen, selbstfahrenden Geräten kleinräumig, unter Berücksichtigung der Konturen des Geländes und biotischer und abiotischer Raumelemente neu Vielfalt schaffen kann. Diese Technologie wird Dünger um mindestens 50 Prozent und Pflanzenschutzmittel um 80 Prozent reduzieren. Rechnet man noch die heute bereits bekannten Verbesserungspotentiale der modernen Züchtungsmethoden hinzu (genomische Selektion, gezielte Mutation mit Genom-Editierung) verbessern sich die Schaderreger-Resistenz, die Nährstoff- und Wassernutzungseffizienz und die Qualität im Pflanzenbaus deutlich.

Gerade die konsequente Kombination von Systemansätzen mit der technologischen Innovation (Purnhagen et al., 2021) wurde bisher zu wenig verfolgt. Man muss ihr ein Gesicht geben, so wie es der Ökolandbau erfolgreich vorgemacht hat. Ich nenne sie Agrarökologie und agrarökologische Praxis.

Literatur:

- Gattinger A., Muller A., Haeni M., Skinner C., Fliessbach A., Buchmann N., Mäder, P., Stolze M., Smith P., Scialabba N. and Niggli U. (2012): Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Science*, 109: 18226-18231.
- Hodson E, Niggli U, Kitajima K, Lal R and Sadoff C. (2021): Boost nature-positive food systems. https://sc-fss2021.org/wp-content/uploads/2021/04/Action_Track_3_paper_Boost_Nature_Positive_Production.pdf
- Mäder P., Fließbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P. and Niggli U. (2002): Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694-1697.
- Müller A, Schader C, Scialabba NEH, Bruggemann J, Isensee A, Erb KH, Smith P, Klocke P, Leiber F, Stolze M & Niggli U (2017). Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications* 8: 1290.
- Purnhagen K.P. et al (2021): Europe's Farm-to-Fork Strategy and Its Commitment to Biotechnology and Organic Farming: Conflicting or Complementary Goals? *Trends in Plant Science*, [Dol: 10.1016/j.tplants.2021.03.012](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.03.012)
- Sanders J und Heß J (Hrsg.; 2019): Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. Thünen-Institut, Braunschweig
- Schader C., Muller A., El Hage Scialabba N., Hecht J., Isensee A., Erb K.-H., Smith P., Makker P.S., Klocke P., Leiber F., Schwegler P., Stolze M. and Niggli U. (2015): Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *J. R. Soc. Interface* 12: 20150891. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2015.0891>
- Seufert V & Ramankutty N (2017): Many shades of gray - The context-dependent performance of organic agriculture. *Science Advances* 3(3):e1602638. doi: 10.1126/sciadv.1602638
- Skinner C, Gattinger A, Müller A, Mäder P, Fließbach A, Stolze M, Ruser R und Niggli U (2014): Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management - A global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 468-69: 553-563
- Skinner C., Gattinger A., Mueller A., Mäder P., Fließbach A., Stolze M., Ruser R. and Niggli U. (2014): Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management – a global meta-analysis. *Sci Total Environ* 468–469, 553–563.
- Tuck S.L., Winqvist C., Mota F. et al. (2014): Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *J Appl Ecol* 51, 746–755.
- Treu H, Nordborg M, Cederberg C, Heuer Th., Claupein E, Hoffmann H and Berndes G (2017): Carbon footprints and land use of conventional and organic diets in Germany. *Journal of Cleaner Production* 161, 127-142.

Düngungseinflüsse auf die funktionale Diversität des Bodenmikrobioms im P-Kreislauf

Christel Baum¹, Nora Vitow¹, Martin Grafe², Stefanie Schulz², Michael Schlöter^{2,3}, Anika Zacher¹ und Peter Leinweber¹

¹Lehrstuhl für Bodenkunde / Universität Rostock, Rostock, ²Research Unit Comparative Microbiome Analysis / Helmholtz Zentrum München, Neuherberg. ³TUM Chair of Soil Science / Technische Universität München, Freising. E-Mail: christel.baum@uni-rostock.de

Zusammenfassung

Die Mobilisierung von Phosphor (P) als essentielles Makronährelement aus dem Bodenpool und der P-Transport zu den Pflanzen werden wesentlich durch die Interaktionen von Bakterien und Pilzen beeinflusst. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit und abnehmenden Qualität von Rohphosphaten zur Düngemittelproduktion ist eine verbesserte Nutzung des P-Pools des Bodens im Pflanzenbau notwendig. Die Wirkung von mineralischer und organischer Düngung als P-Quellen auf das Bodenmikrobiom und seine funktionale Diversität im P-Kreislauf wurde in zwei Langzeit-Feldversuchen in Rostock und Freising untersucht. Die funktionellen Gruppen des Bodenmikrobioms wurden mittels Metagenomik untersucht. Es wurde die Arbeitshypothese geprüft, dass organische Düngung durch die gleichzeitige Zufuhr von Kohlenstoff und Stickstoff zu einem erhöhten mikrobiellen P-Bedarf führt, um die mikrobielle Stoichiometrie von C:N:P aufrecht zu erhalten und dies zu einer erhöhten P-Mobilisierung durch das Bodenmikrobiom führt. Die Ergebnisse der Untersuchung belegen, dass die Veränderungen der Diversität des bakteriellen Mikrobioms nach organischer Düngung vergleichsweise gering sind, da über 90% der Familien in gedüngten und ungedüngten Varianten übereinstimmten. Die dominierenden Funktionen des bakteriellen Mikrobioms bestanden in der P-Lösung aus anorganischer Bindung und in der P-Aufnahme. Die bakteriellen Familien in diesen Funktionen umfassten sowohl copiotrophe (Rhodocyclaceae, Chlorobiaceae, Geobacteraceae) als auch oligotrophe Vertreter (Verrucomicrobiaceae, Sphingomonadaceae, Anaerolinaceae, Planctomycetaceae). In erster Linie oligotrophe Bakterien, wie Nitrospiraceae waren sowohl in den P-Kreislauf als auch in den N-Kreislauf involviert. Dies unterstreicht die enge Verknüpfung dieser Nährstoffkreisläufe besonders unter nährstoffarmen Bedingungen. Organische Düngung führte zu einer wesentlichen Veränderung der Diversität der Mykorrhizapilzgemeinschaft in den Feinwurzeln von Mais. Mineralische P-Düngung verringerte die Abundanz von Mykorrhizapilzen in den Feinwurzeln von Mais. Da Mykorrhizapilze über die Mykorrhizosphäre mit der bakteriellen Gemeinschaft des Bodens interagieren, ist bei verringerter mineralischer P-Düngung von einer erhöhten Wirksamkeit der Mykorrhizierung für die P-Versorgung über die geförderte Verknüpfung bakterieller P-Lösung mit dem pilzlichen P-Transfer zu den Wurzeln der Pflanzen auszugehen.

Können wir 10 Milliarden Menschen innerhalb Planetarer Grenzen ernähren?

Dieter Gerten

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Forschungsabteilung Erdsystemanalyse, Potsdam.
E-Mail: gerten@pik-potsdam.de

Hinführung: Anthropozän und Planetare Belastungsgrenzen

In der aktuellen Epoche des „Anthropozän“ ist die Erde besonders seit den 50er Jahren infolge massiver menschlicher Eingriffe in den Naturhaushalt in vielfacher Hinsicht großem Druck ausgesetzt (Steffen et al. 2015a). Dazu zählen nicht nur der globale Klimawandel, sondern auch die in vielen Gebieten vonstattengehende Übernutzung von Süßwasservorräten, die Rodung von Wäldern und andere Änderungen der Landbedeckung und -nutzung (die ihrerseits das Klima beeinflussen und vor allen Dingen mit einem enormen Verlust an Tier- und Pflanzenarten einhergehen), sowie die Verschmutzung von Luft, Böden, Land- und Gewässerökosystemen. Dabei ist wichtig zu verstehen, dass alle diese Prozesse lokal oder gar global zusammenwirken und sich so möglicherweise gegenseitig verstärken können. Vor diesem Hintergrund stellt sich die dringliche Frage, an welchem Punkt diesen Entwicklungen Einhalt geboten werden soll, um den Planeten für mehrere Milliarden Menschen in einem bewohnbaren Zustand zu belassen – und wie weitere, potenziell desaströse Entwicklungen dieser Art (im Einzelnen und in ihrer Gesamtheit) in Zukunft vermieden werden können.

Das Rahmenwerk der „Planetaren Belastungsgrenzen“ (*planetary boundaries*; eingeführt von Rockström et al. 2009, zuletzt umfassend revidiert von Steffen et al. 2015b) stellt einen mittlerweile in Wissenschaft, Politik und Unternehmen anerkannten Ansatz dar, neun markante, vom Menschen beeinflusste globale Umweltänderungen in einem einheitlichen Konzept zusammenzubringen. Die vorsorgliche Einhaltung der für jeden dieser Bereiche definierten Belastungsgrenzen soll sicherstellen, dass der Gesamtzustand der Erde sich nicht allzu weit von der Situation der letzten ca. 12.000 Jahre – der Epoche des Holozän – entfernt. Die Begründung für dieses Vorsorgeprinzip ist, dass dies der einzige bekannte Zeitraum bzw. der einzige bekannte Zustand des Erdsystems ist, der einer Weltbevölkerung von mehreren Milliarden Menschen eine einigermaßen stabile Lebensgrundlage ermöglicht. Mit einem Verlassen dieses weitgehend vertrauten „sicheren Handlungsraums“ sind zwar noch teils schwer vorhersagbare, aber auch und gerade wegen dieser Unwägbarkeiten wahrscheinlich gefährliche graduelle oder abrupte Umweltänderungen verbunden – je wahrscheinlicher und intensiver, je weiter das Erdsystem sich über die Umweltgrenzen hinaus bewegt.

Die Definition der Planetaren Grenzen und die Berechnung ihres aktuellen Status ist in manchen Fällen noch nicht abgeschlossen, die Forschung dazu dauert an (vgl. etwa Gleeson et al. 2020). Dennoch lässt sich gemäß der letzten Gesamtbilanz von Steffen et al. (2015b) festhalten, dass schon vier der neun Grenzen überschritten sind. Dies betrifft zum einen den Klimawandel, da die CO₂-Konzentration der Atmosphäre bereits vor Längerem die gesetzte Grenze von 350 ppm überschritten hat. Zum anderen liegt durch Entwaldung bedingt die Größe mancher Waldbiome nun unter der zum Erhalt ihrer Erdsystemfunktionen nötigen Fläche von 50–85% des potenziell natürlichen, ursprünglichen Walds. Darüber hinaus überschreiten in vielen Regionen die Stickstoff- und Phosphoreinträge in Böden und Gewässer ein für die

betroffenen Ökosysteme tolerables Maß. Schließlich übersteigt der Verlust an Biodiversität seit Jahrzehnten jegliche natürliche Rate mit wiederum teils fatalen Folgen für die Biosphäre der Erde. Weitere Umweltgrenzen sind regional kritisch überschritten, wie vor allem bezüglich des Wasserverbrauchs auf Kosten des ökologischen Mindestwasserbedarfs von Flüssen (Gerten et al. 2013). Damit steigt die Gefahr von „Kursänderungen“ der Erde und von möglichen Kipppunkten in verschiedenen Regionen und Subsystemen, insbesondere wenn mehrere dieser Umweltänderungen zusammenwirken.

Landwirtschaft als treibende Kraft

Ein Hauptgrund dieser Überschreitungen – insbesondere bezüglich der terrestrischen Planetaren Grenzen – ist die Art und Weise, wie weltweit Nahrungsmittel produziert (und auch konsumiert) werden. So wurden in vielen Gegenden Flächen für die Land- und Viehwirtschaft umgewidmet und zu diesem Zweck unter anderem Waldgebiete gerodet, womit wie genannt ein immenser Artenverlust einhergeht. Auch trägt die bewässerte Landwirtschaft dazu bei, dass regional mehr Wasser entnommen wird, als es für den Erhalt der aquatischen Ökosysteme zuträglich ist (Jägermeyr et al. 2017). Zudem ist Düngemiteleininsatz ein Hauptgrund für die Überschreitung regionaler und globaler Toleranzgrenzen für die Modifizierung natürlicher Stickstoff- und Phosphorkreisläufe, was mit der Eutrophierung von Gewässern verbunden ist. Schließlich tragen landwirtschaftliche Emissionen von Treibhausgasen zum Klimawandel bei.

Eine überschlägige Studie (Campbell et al. 2017) hat versucht, den Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtüberschreitungen der Planetaren Grenzen zu quantifizieren. Dabei stellt sich heraus, dass dieser Beitrag meist um oder über 80% beträgt. Nur im Falle des Klimawandels sind hauptsächlich die Emissionen von Treibhausgasen aus der Verbrennung fossiler Energieträger verantwortlich, so dass dafür der landwirtschaftliche Beitrag mit 25% angegeben wird. Andere Sektoren sind vor allem beim Süßwasserverbrauch beteiligt, wofür die Wasserentnahmen für Industrie und Haushalte eine gewisse Rolle spielen. Einer weiteren, aktuellen Studie zufolge (Gerten et al. 2020) geschieht fast die Hälfte der derzeitigen Nahrungsmittelproduktion auf Kosten der Planetaren Grenzen bzw. der ihnen zugrundeliegenden lokalen Umweltbedingungen. Diese Analyse zeigt auf, wo und wie viele Grenzen derzeit aufgrund landwirtschaftlicher Aktivitäten überschritten werden, indem die Prozesse räumlich hoch aufgelöst betrachtet werden. So wird beispielsweise deutlich, dass die Überschreitung der Grenze für Stickstoff-/Phosphoreinträge auf übermäßigen Düngereinträgen vor allem in Teilen Europas, der USA und Süd-/Ostasiens beruht. Nicht nachhaltige Wassernutzung geschieht hingegen vor allem in subtropischen Trockengebieten. Dahingegen fallen Waldrodungen und Artenverlust weit verbreitet, insbesondere aber in den Tropen ins Gewicht.

Nachhaltige Welternährung: Spektrum an Lösungsoptionen

Es gibt zahllose Szenarien und Praxisbeispiele, dass Nahrungsmittel auch ohne solche Belastungen der Umwelt produziert werden können (siehe etwa Foley et al. 2011), und dass außerdem die Ernährungsweise eine bedeutende Rolle spielt, die natürlichen Ressourcen zu schonen (Springmann et al. 2018). Ist aber nun der große Spagat möglich, genug gesunde Nahrungsmittel für eine noch weiter steigende Weltbevölkerung zu produzieren und gleichzeitig die relevanten Planetaren Grenzen einzuhalten? Dazu müsste man einerseits die ‚Grenzüberschreitungen‘ wieder

rückgängig zu machen, wo immer das möglich ist: Also die Bewässerung auf Zeiten und Gebiete begrenzen, wo die Gewässerökosysteme nicht beeinträchtigt werden; Wiederaufforstung in Regionen mit hohem Entwaldungsanteil betreiben; Düngereinsätze reduzieren; und letztlich eine weitere Ausdehnung landwirtschaftlicher Flächen auf Kosten der Biodiversität vermeiden. Würde man alle diese Maßnahmen ohne jegliche weitere Änderung der jetzigen landwirtschaftlichen Praktiken, Ressourcennutzungseffizienzen und Ernährungsweisen ergreifen, könnten Nahrungsmittel für gerade einmal 3,4 Milliarden Menschen nachhaltig erzeugt werden (was dem obigen Befund entspricht, dass ein großer Teil der derzeitigen Landwirtschaft auf Verletzungen von Planetaren Grenzen beruht).

Aus diesem Grunde ist es andererseits natürlich erforderlich, weitere nachhaltigere Formen der Landwirtschaft und veränderter Ernährungsweisen einzubeziehen. Gemäß den Simulationsergebnisse der genannten Studie (Gerten et al. 2020) ist es durchaus möglich, durch eine solche technologische und kulturelle Kehrtwende genug Nahrungsmittel für 10,2 Milliarden Menschen innerhalb der Belastungsgrenzen bereitzustellen. Dazu zählt zum einen eine wesentlich effizientere Nutzung von Wasser und Nährstoffen in Landwirtschaftsbetrieben. Was beispielsweise die Bewässerung angeht, so könnte auf Tropfbewässerung und weitere, auch digitale Bemessungstechnologien umgestellt werden, also Verfahren die den Verlust von Wasser auf dem Weg zur Pflanze minimieren und die Zielgenauigkeit der Bewässerung erhöhen. Zudem kann Regenwasser mittels Zisternen, Einlassungen im Boden, Mikrodämmen und ähnlichen Verfahren gesammelt und konzentriert werden, um es in späteren Trockenzeiten für Präzisionsbewässerung einzusetzen. Darüber hinaus gibt es vielfältige Möglichkeiten, auch ohne oder mit nur geringer zusätzlicher Bewässerung den Ertrag zu erhöhen, etwa durch Mulchen oder anderweitige Abdeckung unbewachsener Bodenflächen: Dies hält mehr Wasser im Boden und macht so den Pflanzen mittelbar mehr Wasser für den Biomasseaufbau verfügbar. Feldstudien und Modellsimulationen haben gezeigt, dass auf diese Weisen die Produktion verdoppelt, wenn nicht vervierfacht werden kann – wohlgermerkt ohne mehr Land, Wasser oder Dünger zu verwenden.

Eine ambitionierte, aber nicht unrealistische Umsetzung aller dieser Maßnahmen verbesserten Wassermanagements auf den heutigen Ackerflächen würde zu einer Reduktion der globalen Wassernutzung um 20% sowie einer Steigerung der globalen Produktion um 40% führen (Jägermeyr et al. 2016). Zudem wären Umverteilungen einiger Anbauflächen von Gebieten mit einer Überschreitung der Belastungsgrenzen in Gegenden, wo diese Grenzen noch eine Ausweitung des Ackerlands, der Bewässerung oder der Stickstoffzufuhr als unproblematisch erscheinen lassen, zu erwägen.

Gleichzeitig sind auch Änderungen des Konsums vonnöten, um die Welternährung innerhalb der Planetaren Grenzen zu ermöglichen. So hätte gemäß weiterer Berechnungen mit einem Ernährungsmodell (Jalava et al. 2016, Gerten et al. 2020) eine Beschränkung des Anteils tierischer Proteine auf höchstens 25% der insgesamt aufgenommenen Proteine einen deutlichen weiteren Effekt, etwa weil dadurch Weideland oder der (ggf. bewässerte) Anbau von Tierfuttermitteln durch Flächen zum Anbau von direkt vom Menschen verzehrbaren Nahrungsmitteln ersetzt werden kann. Als weiterer Teil der globalen Maßnahmen ist eine Reduzierung (z.B. eine Halbierung) der Nahrungsmittelverluste auf dem Feld, beim Transport und beim Endverbraucher notwendig.

Realweltliche Herausforderungen

Während rechnerisch also eine Welt denkbar ist, in der zehn Milliarden Menschen nachhaltig und gesund ernährt werden kann, erfordert die Umsetzung eines solchen Szenarios in der Realität recht radikale Transformationen über Sektoren und Grenzen hinweg. Diese sind aber im Rahmen der Nachhaltigen Entwicklungsziele der Vereinten Nationen durchaus realistisch und auch notwendig bzw. anvisiert (FAO 2019). Doch ist zu betonen, dass die Folgen des anthropogenen Klimawandels zumindest in die oben diskutierten Szenarien noch nicht integriert sind (in der Annahme, dass auch die Planetare Grenze für Klimawandel dank drastischer Emissionsminderungen fossiler Brennstoffe nicht weiter überschritten wird). Nicht zuletzt wegen verstärktem Hitze- und Trockenstress, insbesondere während vermehrter und intensiverer Dürren, ist zu erwarten, dass die Agrarproduktion unter weiter fortschreitendem Klimawandel leiden würde – womit wiederum auch vermehrt Druck auf die anderen Planetaren Grenzen ausgeübt würde. Schließlich wäre ein solcher erhöhter Druck auch der Fall, wenn die fossilen Treibhausgasemissionen nicht genügend gesenkt werden: Denn dann wäre deren Kompensation durch CO₂-Aufnahme aus der Atmosphäre mittels großräumiger Biomasseplantagen vonnöten, wie es bereits für die Begrenzung der Erderwärmung auf 1.5 °C unabdingbar zu sein scheint (Heck et al. 2018).

Fazit: Die möglichst rasche Integration all dieser Umwelt- und sozialen Aspekte bleibt die große Aufgabe von Wissenschaft, Politik und Zivilgesellschaft im 21. Jahrhundert.

Literatur

- Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M. et al. 2017. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society* 22(4), 8.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2019). *Transforming the World Through Food and Agriculture – FAO and the 2030 Agenda for Sustainable Development*. FAO, Rom.
- Foley, J. (2011). Can we feed the world and sustain the planet? *Scientific American* 305, 60–65.
- Gerten, D., Hoff, H., Rockström, J. et al. (2013). Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: role of environmental flow requirements. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5, 551–558.
- Gerten, D., Heck, V., Jägermeyr, J. et al. (2020). Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. *Nature Sustainability* 3, 200–208.
- Gleeson, T., Wang-Erlandsson, L., Zipper, S.C. et al. (2020). The water planetary boundary: evaluation and revision. *One Earth* 2, 223–234.
- Heck, V., Gerten, D., Lucht, W., Popp, A. (2018). Biomass-based negative emissions difficult to reconcile with planetary boundaries. *Nature Climate Change* 8, 151–155.
- Jägermeyr, J., Gerten, D., Schaphoff, S. et al. (2016). Integrated crop water management might sustainably halve the global food gap. *Environmental Research Letters* 11, 025002.
- Jägermeyr, J., Pastor, A., Biemans, H., Gerten, D. (2017). Reconciling irrigated food production with environmental flows for Sustainable Development Goals implementation. *Nature Communications* 8, 15900.
- Jalava, M., Guillaume, J.H.A., Kummu, M. et al. (2016). Diet change and food loss reduction: what is their combined impact on global water use and scarcity? *Earth's Future* 4, 62–78.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. et al. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475.
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D. et al. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562, 519–525.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L. et al. (2015a). The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *The Anthropocene Review* 2, 81–98.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J. et al. (2015b). Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855.

Eignung verschiedener Untersaaten zu Mais im Hinblick auf Anbau, Ertrag und Qualität

Vanessa S. Schulz^{1,2}, Kerstin Stolzenburg², Caroline Schumann³, Sebastian Weisenburger⁴, Maria Müller-Lindenlauf¹ und Kurt Möller²

¹Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Fakultät Agrarwirtschaft, Volkswirtschaft und Management, Institut für Angewandte Agrarforschung, Nürtingen; ²Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Referat 11, Pflanzenbau, Rheinstetten-Forchheim; ³Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Referat 14, Ökologischer Landbau, Emmendingen-Hochburg; ⁴Landratsamt Rastatt – Landwirtschaftsamt. E-Mail: vanessa.schulz@ltz.bwl.de

Einleitung

Um den Silomaisanbau ökologisch aufzuwerten, wurden im Rahmen des Sonderprogrammes zur Stärkung der biologischen Vielfalt der Landesregierung Baden-Württemberg Versuche mit blühenden Gemengepartnern in Silomais angelegt. Ziel der Versuche war es, ein alternatives Anbausystem zum reinen Silomais zu entwickeln, ohne die Leistungsfähigkeit, verglichen mit reinem Silomais, negativ zu beeinflussen. Dazu wurden an ausgewählten Standorten in Baden-Württemberg Versuche mit verschiedenen blühenden Gemengepartnern (GMP) durchgeführt und hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit und Auswirkungen auf Trockenmasse- (TM-) Ertrag und Qualität des Erntegutes geprüft.

Material und Methoden

An den drei baden-württembergischen Standorten Ettlingen (2018, ET, konv., N 48°56', E 8°23', 135 m ü. NN, 10,1 °C, 742 mm), Tachenhausen (2018 und 2019, TH, konv., N 48°39', E 9°23', 360 m ü. NN, 10,2 °C, 802 mm) und Forchheim am Kaiserstuhl (2018 und 2019, FAK, ökol., 48°10', E 7°41', 175 m ü. NN, 10,2 °C, 882 mm) wurden Feldversuche mit verschiedenen GMP angelegt, die in Silomaisreinbestände (cv. Figaro, 8 Körner m⁻²) gesät wurden. In TH und FAK geschah dies als vierfach wiederholte, randomisierte Blockanlagen. In ET wurden zusätzlich noch eine gestaffelte N-Düngung (0, 50 und 100 % des N-Bedarf eines Silomaisreinbestandes) und verschiedene Ablageorte des GMP (in oder zwischen die Maisreihen) getestet. In ET erfolgte dies in einem dreifach wiederholten split-split-plot Design. In TH und FAK erfolgte keine N-Düngung und die GMP wurden in die Maisreihe gesät. Als GMP wurden Saat-Luzerne (cv. Catera, 15 kg ha⁻¹), Echter Steinklee (4 kg ha⁻¹), Sommerwicke (cv. Jose (konv.), Mery (öko.), 70 kg ha⁻¹), Große Kapuzinerkresse (20 kg ha⁻¹), Kürbis I (cv. Jack be little, 1,6 Körner m⁻²), Kürbis II (cv. Spinning / Dancing Gourd, 1,6 Körner m⁻²), Stangenbohne I (cv. WAV 512 bzw. 612, 4,5 Körner m⁻²) und Stangenbohne II (cv. Anellino verde, 4,5 Körner m⁻²), sowie 2019 zusätzlich Kürbis III (cv. New England Pie, 1,6 Körner m⁻²), Mischung I (Bohne I, 4 Körner m⁻² + Kürbis II, 1,6 Körner m⁻²) und Mischung II (Sommerwicke, 70 kg ha⁻¹ + Bohne I, 4 Körner m⁻²) gesät. Der Mais wurde mittels betriebsüblicher Einzelkornsämaschine gesät, während die GMP am selben Tag mit Parzellentechnik eingebracht wurden. Die Datenanalyse erfolgte als gemischtes Modell mit der Software R. Nach einem globalen F-Test wurde ein Mittelwertvergleich mittels Tukey's HSD Test (p < 0,05) durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Es wurde ermittelt, dass bei der Anlage eines Mais-Gemenges Aussaattechnik und Beikrautregulierung von entscheidender Bedeutung für die erfolgreiche

Bestandsetablierung und angemessene Silomaiserträge sind. Besonders kleinsamige GMP wie Luzerne und Steinklee, aber auch Sommerwicke und Kürbis I und II erfordern daher eine zweite Überfahrt oder einen zusätzlichen Streuer auf der Einzelkornsämaschine. Die mechanische Beikrautregulierung bei kleinsamigen GMP (Luzerne, Steinklee) führte dazu, dass diese verschüttet wurden und nicht wieder aufliefen. Auch die Unkrautkontrolle mit Herbiziden gestaltete sich bei einigen GMP schwierig. Viele GMP vertragen die maistypischen Nachauflaufferbizide nicht. Die Auswahl an Herbiziden im Voraufbau ist gering und bei großer Trockenheit kann deren Wirkung auf die Beikräuter nicht ausreichend sein.

In ET führten die kleinsamigen Leguminosen (Luzerne, Steinklee, Sommerwicke) zu signifikant reduzierten TM-Erträgen gegenüber der Kontrolle (Abbildung 1). In TH und FAK waren 2018 keine der Gemenge-Varianten signifikant von der Kontrolle verschieden; 2019 wiesen in TH und FAK die Gemenge-Varianten, die Sommerwicke enthielten (4 und 12), signifikant niedrigere TM-Erträge auf sowie in TH Kürbis III (10).

Im Hinblick auf die Silierung konnte für alle Mais-Gemenge nachgewiesen werden, dass die Trockenmassegehalte in einem Bereich lagen, der eine problemlose Silierung ermöglicht. Der Proteingehalt wurde durch Sommerwicke in ET und FAK signifikant erhöht, während in TH in beiden Jahren die Kapuzinerkresse und die Kürbisse I und II die Proteingehalte reduzierten. Schwankungen waren von den Jahren sowie von der Bewirtschaftungsform abhängig (konv., öko.).

Am geeignetsten für den Mais-Gemenge-Anbau erwiesen sich die Große Kapuzinerkresse und die Stangenbohnen. Die Saat kann als Saatgutmischung per Einzelkornsäat erfolgen, mechanische und chemisch-synthetische Beikrautregulierung sind möglich. Zudem sind die TM-Erträge vergleichbar mit denen von reinem Mais. Die Einflüsse auf die Qualität liegen in einem akzeptablen Bereich.

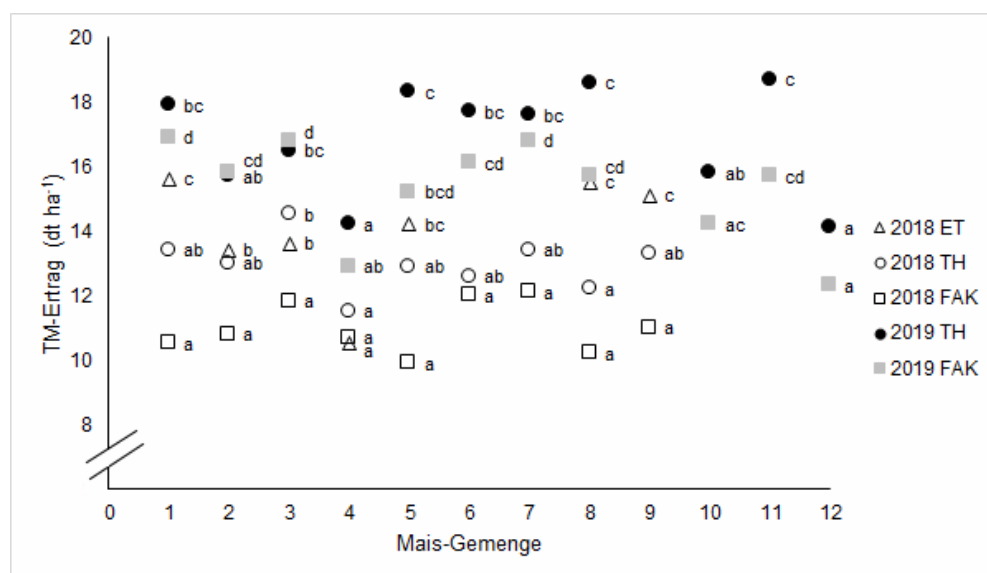


Abbildung 1: TM-Erträge (dt ha^{-1}) der Mais-Gemenge (1 = Mais, Kontrolle, 2 = Mais + Luzerne, 3 = Mais + Steinklee, 4 = Mais + Sommerwicke, 5 = Mais + Große Kapuzinerkresse, 6 = Mais + Kürbis I, 7 = Mais + Kürbis II, 8 = Mais + Bohne I, 9 = Mais + Bohne II, 10 = Mais + Kürbis III, 11 = Mais + Mischung I, 12 = Mais + Mischung II) für die einzelnen Jahre und Standorte; ET 2018 (Δ , offenes Dreieck), TH 2018 (\circ , offener Kreis), FAK 2018 (\square , offenes Rechteck), TH 2019 (\bullet , geschlossener Kreis) und FAK 2019 (\blacksquare , geschlossenes Rechteck). Symbole mit demselben Kleinbuchstaben innerhalb eines Jahre und Ortes geben nicht signifikante Unterschiede zwischen den Mais-Gemengen an.

Geringe Allokation von Assimilaten in die Wurzeln eines intensiv genutzten Dauergrünlands in Schleswig-Holstein – Implikationen für die Bodenkohlenstoffbilanz

Arne Poyda¹, Thorsten Reinsch¹, Inger J. Struck¹, R. Howard Skinner², Christof Kluß¹ und Friedhelm Taube^{1,3}

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel; ²USDA-ARS, Pasture Systems and Watershed Management Research Unit, Pennsylvania, USA; ³Grass Based Dairy Systems, Animal Production Systems Group, Wageningen University (WUR), Wageningen, Niederlande.
E-Mail: apoyda@gfo.uni-kiel.de

Einleitung

Aufgrund seines dichten Wurzelsystems und der ausbleibenden Bodenbearbeitung besitzt Dauergrünland ein großes Potential als natürliche Senke für atmosphärisches CO₂ zu fungieren. Der zugrundeliegende Prozess des Humusaufbaus ist jedoch zeitlich begrenzt und hängt des Weiteren stark vom Grünlandmanagement und dem standortspezifischen Kohlenstoff- (C) Speicherpotential ab. Letzteres wird hauptsächlich durch den Tongehalt des Bodens determiniert. Dennoch finden sich in Nordwesteuropa ausgedehnte Sandböden mit hohen Gehalten stabiler C-Fractionen, die meist aus einer historischen Nutzung als Heideland hervorgegangen sind. Die vorliegende Studie hatte zum Ziel, die C-Partitionierung zwischen Spross und Wurzel eines intensiv genutzten alten Dauergrünlands auf einem C-reichen Sandboden in Norddeutschland zu untersuchen. Des Weiteren wurde die C-Bilanz des Standortes über zwei Jahre ermittelt.

Material und Methoden

Der Versuchsstandort befindet sich im Naturraum der Geest in Schleswig-Holstein und ist charakterisiert durch ein maritim temperiertes Klima mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,6 °C und einer Jahresniederschlagssumme von 814 mm im Zeitraum 1981 – 2010. Das Grünland wurde über drei Schnitte pro Jahr und eine Nachbeweidung im Spätsommer bewirtschaftet. Die Messung des Nettoökosystemaustauschs (NEE) von CO₂ erfolgte mit der Eddy-Kovarianz-Methode in den Jahren 2012 – 2014. Mithilfe eines Standard-Protokolls wurde der NEE in die Bruttoprimärproduktion (GPP) und Ökosystematmung (R_{ECO}) partitioniert. Die Ernte- und Weideerträge wurde mittels Handbeprobung erfasst. Mithilfe der *ingrowth core*-Methode (Steingrobe et al. 2000) wurde über ein Jahr (Oktober 2013 bis Oktober 2014) der Wurzelzuwachs in Kombination mit der gesamten oberirdischen Nettoprimärproduktion (NPP) ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Grünlandfläche zeichnete sich durch eine sehr hohe Produktivität aus, dokumentiert über einen mittleren Jahresertrag von 14,8 t Trockenmasse/ha sowie eine Netto-CO₂-Aufnahme von 2,82 t CO₂-C/ha/Jahr. Der assimilierte C wurde mit einer sehr hohen C-Nutzungseffizienz (CUE) von durchschnittlich 71 % während der Vegetationsperiode in Biomasse eingebaut. Dabei nahm die CUE über die ersten drei Grünlandaufwüchse (Intervalle 3 – 5) kontinuierlich ab (Abb. 1). Während der Wintermonate war die CUE hingegen deutlich reduziert. Eine reduzierte CUE ist proportional zu einem erhöhten C-Residuum (GPP-NPP). Dieser nicht in Pflanzenbiomasse konvertierte assimilierte C wird zum einen über autotrophe

Atmung als CO_2 zurück in die Atmosphäre emittiert oder im Boden als Exsudate über die Wurzeln ausgeschieden. Wie Abb. 1b verdeutlicht, war die CUE grundsätzlich in Zeiträumen mit höchster Produktivität am größten. Lagen jedoch gleichzeitig limitierende Bedingungen vor, wie eine sehr geringe Bodenfeuchte, wurde die CUE hierdurch deutlich reduziert.

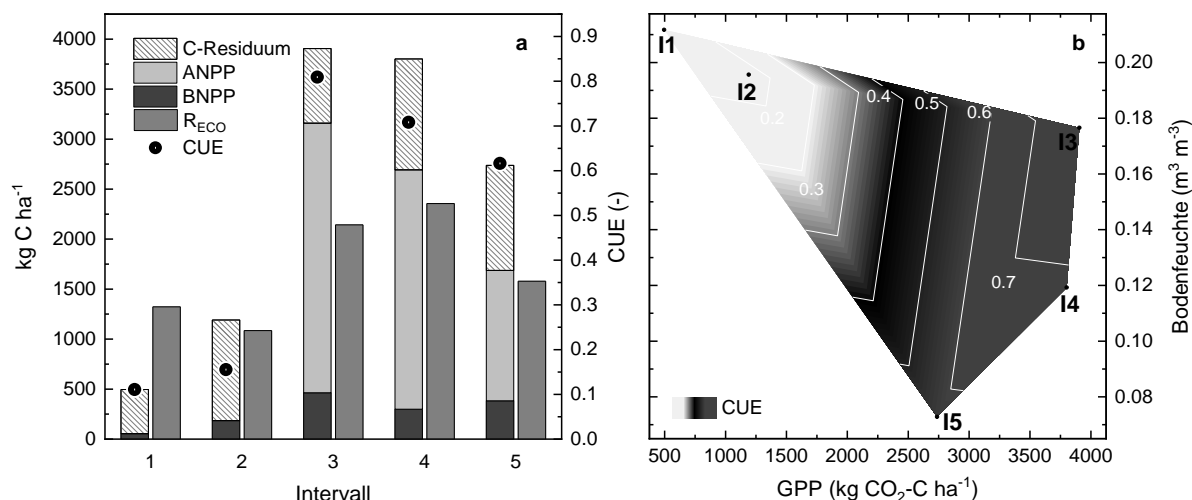


Abb. 1 a: Kumulative Bruttoprimärproduktion (GPP) und Ökosystematmung (R_{ECO}) für fünf Intervalle im Zeitraum Oktober 2013 bis August 2014. Die Intervalle 3 – 5 stellen die ersten drei Grünlandaufwüchse dar. Die GPP wurde in ober- (ANPP) und unterirdische Nettoprimärproduktion (BNPP) sowie ein C-Residuum (GPP-NPP) aufgeteilt. Die C-Nutzungseffizienz (CUE) stellt den Anteil der NPP an der GPP dar. **b:** Multiple Regression der CUE vs. GPP und Bodenfeuchte in 5 cm Tiefe.

Während der Vegetationsperiode wurde ein vergleichsweise geringer Anteil von lediglich 17 % der gebildeten Biomasse in Form von Wurzeln angelegt. Im Einklang mit diesem geringen Wurzel-C-Eintrag in den Boden wurde ein mittlerer jährlicher C-Verlust von 0,29 t C/ha für die Versuchsfläche ermittelt. Dieses Ergebnis wird auf die sehr hohe Nährstoffverfügbarkeit durch langjährige Gülleapplikation in Kombination mit hohem mineralischen Stickstoffdüngereinsatz sowie die hohen Humusgehalte zurückgeführt. Die Studie konnte somit die Anpassungsfähigkeit des Grünlandwurzelsystems an die Ressourcenverfügbarkeit im Boden dokumentieren und aufzeigen, dass altes und intensiv gedüngtes Dauergrünland auf Sandboden die Fähigkeit zur C-Sequestrierung verlieren kann.

Literatur

- Reichstein M, Falge E, Baldocchi D, Papale D, Aubinet M, Berbigier P et al. (2005) On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. *Glob Change Biol* 11:1424-1439. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001002.x>
- Steingrobe B, Schmid H, Claassen N (2000) The use of the ingrowth core method for measuring root production of arable crops – influence of soil conditions inside the ingrowth core on root growth. *J Plant Nutr Soil Sci* 163:617-622. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200012\)163:6<617::AID-JPLN617>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200012)163:6<617::AID-JPLN617>3.0.CO;2-0)

Der Einfluss diverser Pflanzenbestände auf Methanemissionen und Milchproduktion von weidenden Jersey-Kühen

Cecilia Loza, Thorsten Reinsch, Ralf Loges, Friedhelm Taube, Christof Kluß und Carsten Malisch

Grünland und Futterbau/Ökol. Landbau, Christian-Albrechts Universität zu Kiel

Einleitung

Methanemissionen von Wiederkäuern sind für 44% der Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung verantwortlich und tragen somit zum Klimawandel bei (Gerber et al., 2013). Trotz dieser Umweltauswirkungen haben weidende Wiederkäuer jedoch den evolutionären Vorteil, Nahrung (Fleisch und Milch) aus Gras zu produzieren, und ansonsten marginale Flächen nutzen zu können, um essbare Energie und Proteine für den Menschen zu erzeugen. Darüber hinaus tragen auch zur Kohlenstoffbindung im Boden (und damit zur Abschwächung des Klimawandels), zur Artenvielfalt und zum Tierschutz bei. Da Methan derzeit eine der größten Umweltbelastungen aus der Milch- und Rindfleischproduktion darstellt, sind Strategien zur Reduzierung der THG-Emissionen erforderlich, um die Vorteile weidebasierter Wiederkäuerproduktionsysteme zu erhalten und gleichzeitig die negativen Auswirkungen auf das Klima zu mindern. Eine vielversprechende Option zur Reduzierung der Methanemissionen sind kondensierte Tannine (CT). Es wird angenommen, dass die Aufnahme von tanninhaltigen Arten die Methanemissionen reduzieren und die Effizienz der Nährstoffnutzung erhöhen kann (Mueller-Harvey et al, 2019). Ziel dieser Studie war es daher festzustellen, inwieweit die enterischen CH₄-Emissionen durch eine Erhöhung der Weidevielfalt mit CT-haltigen Futterarten reduziert werden können und wie sich dies auf die Milcherträge auswirkt.

Material und Methoden

Dieser Versuch wurde zwischen März und August 2019 auf dem Forschungsbetrieb "Lindhof" der Universität Kiel (53°40'N, 10°35'E) durchgeführt. Vierundzwanzig laktierende Jersey-Kühe wurden in zwei Gruppen aufgeteilt und weideten entweder eine binäre Mischung aus Deutschen Weidelgras und Weissklee oder eine vielfältige Mischung aus acht Arten, inklusive tanninhaltiger Kräuter. Der Versuch wurde in zwei Messperioden (P1: ca 50. Tag der Laktation und P2: ca 150. Tag der Laktation) durchgeführt. Fünf Wochen vor der ersten Messperiode begannen alle Tiere auf denselben Koppeln zu grasen, die eine Auswahl sowohl der binären als auch der diversen Mischung waren, um die Pansenfauna an beide Weiden zu adaptieren. Die Weiden wurden mit einer täglichen Futtermenge von 18 bzw. 14 kg/Kuh/Tag für P1 und P2 abgeweidet. Während der gesamten Studie wurden die Kühe zweimal täglich gemolken (0600 und 1600 Uhr) und die Milchleistung wurde aufgezeichnet. Die Milchzusammensetzung (Protein, Fett und Laktose) wurde täglich aus morgendlichen und nachmittäglichen Milchproben bestimmt. Die enterischen Methanemissionen wurden mit der SF₆-Technik nach Gere & Gratton (2010) gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Futtermischungen wiesen generell eine hohe Qualität auf. Die Mittelwerte für die OM-Verdaulichkeit beider Mischungen lagen zwischen 88% und 78%, und die mittlere Energiekonzentration bei 7,7 bis 6,7 MJ NEL /kg TM für P1 und P2 respektive. Im Durchschnitt über die Perioden waren die OM-Verdaulichkeit und der

Energiegehalt der binären Mischung um 3,5 % höher ($P < 0,001$) im Vergleich zu der diversen Mischung. Im Gegensatz dazu waren die Rohprotein- (15,0 g/kg TM) und ADF-Gehalte (19,7 g/kg TM) der binären Mischung über beide Perioden hinweg niedriger ($P < 0,001$) im Vergleich zu der diversen Mischung (17,8 und 23,1 g/kg TM, für Rohprotein und ADF). Im Durchschnitt beider Perioden stiegen die ECM-Erträge ($P < 0,001$), wenn die Kühe die diversen Mischungen weideten (26,9 und 25,7 kg ECM/Kuh/Tag für die diverse bzw. die binäre Mischung). Allerdings stiegen auch die täglichen Methanemissionen auf diversen Weiden an, und die Mittelwerte waren auf diversen Weiden um 18 % höher ($P < 0,01$), mit Mittelwerten von 221 und 260 g CH_4 /Tag für binäre bzw. diverse Mischungen. Die Mittelwerte für die Methanemissionen pro kg ECM waren in diversen im Vergleich zu binären Mischungen um 11 % höher ($P < 0,01$), mit 9,8 und 8,8 g CH_4 /kg ECM im Durchschnitt über P1 und P2. Im Laufe der Zeit nahm die Methanintensität generell zu und war in P1 im Vergleich zu P2 um 11 % geringer ($P < 0,05$), mit Mittelwerten von 8,8 bzw. 9,9 g CH_4 /kg ECM.

Ungeachtet der Weidediversität waren die Milchleistungen hervorragend und vergleichbar mit den Milchleistungen von Jerseys, die TMR-Diäten mit 32 % Krafftutter ad libitum erhielten (Olijhoek et al., 2018). Dies deutet darauf hin, dass auf den Weiden generell Futter von hervorragender Qualität zur Verfügung stand und die Kühe ein hohes genetisches Potenzial für die Milchproduktion hatten. Die hohe Futterqualität und das genetische Potenzial der Jersey-Kühe, die sich in der Milchleistung widerspiegeln, können auch, zumindest teilweise, die sehr niedrigen CH_4 -Emissionen und insbesondere die Methanintensitäten erklären. Die Gründe für die erhöhten CH_4 -Emissionen der Kühe, die die vielfältigen Grasnarben abgeweidet haben, sind wahrscheinlich eine Kombination aus zwei Faktoren. Erstens wurde hier eine höhere Trockenmasseaufnahme beobachtet und zweitens besaß diese eine geringere OM-Verdaulichkeit. Diese tanninhaltigen Arten waren jedoch aufgrund der hohen Weideintensität und Ihrer geringeren Konkurrenzkräft nur in geringen Anteilen in der Weide vorhanden und konnten daher kaum antimethanogen wirken.

Literatur

- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Faluccci, A., Tempio, G., 2013. Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation Opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, p. 139.
- Gere, J., Gratton, R., 2010. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and other applications. Latin American applied research Pesquisa aplicada latino americana = Investigación aplicada latinoamericana 40, 377-381.
- Olijhoek, D.W., Løvendahl, P., Lassen, J., Hellwing, A.L.F., Höglund, J.K., Weisbjerg, M.R., Noel, S.J., McLean, F., Højberg, O., Lund, P., 2018. Methane production, rumen fermentation, and diet digestibility of Holstein and Jersey dairy cows being divergent in residual feed intake and fed at 2 forage-to-concentrate ratios. J Dairy Sci 101, 9926-9940.
- Mueller-Harvey, I., Bee, G., [...], Waghorn, G.C., 2019. Benefits of Condensed Tannins in Forage Legumes Fed to Ruminants: Importance of Structure, Concentration, and Diet Composition. Crop Sci. 59, 861-885.

Andenlupine und Mais – gezielt kombiniert, im Gemenge ein starkes Team

S. Roux¹, F. Höppner², H. Holzgreve³, D. Wiedow⁴ und H. Böhm³

¹Julius Kühn-Institut, Braunschweig; ²Julius Kühn-Institut, Groß Lüsewitz; ³Thünen-Institut, Westerau;

⁴Universität Rostock. E-Mail: steffen.roux@julius-kuehn.de

Einleitung

Die Andenlupine (*Lupinus mutabilis*), die aufgrund ihrer evolutionären Anpassung in Regionen mit ausgeprägten Tageslängen ein hohes Biomassepotenzial aufweist, soll im Gemenge mit Mais die Nutzung von Ökosystemleistungen der Leguminosen im Energiepflanzenanbau ermöglichen. In dem BMEL/FNR-geförderten Verbundprojekt LuMi-opt wird versucht, für den Gemengeanbau geeignetes Material zur Bildung überlegener Kombinationen zu identifizieren. Dies soll zu einer (1) nachhaltigeren, (2) die Kulturartenvielfalt erhöhenden und (3) an öffentlicher Akzeptanz gewinnenden Energiepflanzenproduktion führen. Angelehnt an zuchtmethodische Verfahren werden hierbei Partner, die auf ihre Kombinationseignung im Gemenge mit der jeweiligen komplementären Partnerspezies getestet wurden, optimiert zusammengeführt.

Material und Methoden

Aus einem Set an divergenten Herkünften der Andenlupine (LUA, n=7 (2019) bzw. n=12 (2020), Versuch 1) und einer Auswahl pflanzenarchitektonisch unterschiedlicher Maishybriden (n=7, Versuch 2) erfolgte durch deren zweijährige und mehrortige (JKI-Groß-Lüsewitz (GL), JKI-Braunschweig (BS) und TI-Trenthorst (TH, nur Versuch 1)) Feldprüfung im Gemenge mit jeweils 2 repräsentativen Vertretern der Partnerspezies die Beurteilung der Gemengeeignung der jeweiligen Prüfglieder im Vergleich zu ihren Reinsaaten in zwei Feldwiederholungen. Der Anbau der Gemengeparzellen fand jeweils in alternierenden Reihen der beiden Gemengepartner statt. Örtliche Vorgaben hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Aussaattechnik und Vorgaben im Bereich Unkrautmanagement, standortabhängig ein Herbizid im Voraufbau, erforderten teilweise 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 Reinsaaten bei LUA 40 bzw. Mais 10 KK m⁻² zur Aussaat. Eine N-Düngung erfolgte außer in TH in den Gemengeparzellen mit reduzierter und in den Reinsaaten des nicht-legumen Partners in der üblichen Aufwandmenge. Die Reinsaaten des legumen Partners wurden vorwiegend nicht gedüngt. Die statistische Verrechnung erfolgte mit Plabstat.

Ergebnisse und Diskussion

Im Gemenge wurden in zwei Versuchen bei einer Serienverrechnung, abhängig von der Andenlupine/Mais-Kombination und dem Standort, Gesamttrockenmasseerträge (GTM) bis zu 225,5 dt ha⁻¹ (Versuchsmittel 153,5 dt ha⁻¹) (Tab. 1) bzw. 252,7 dt ha⁻¹ (Versuchsmittel 161,6 dt ha⁻¹) erzielt (Tab. 2). Es waren sowohl signifikante genotypische Effekte als auch signifikante Ortseffekte nachweisbar. Höchste trockenmassebezogene Lupinenanteile erreichten mit 37,3% bzw. 43,3% beide Versuchsansätze am Standort GL. An den beiden anderen Orten fielen diese mit maximal 16% ersichtlich geringer aus.

Im Gesamtmittel der GTM-Erträge zeigten die Gemenge in Versuch 1 deutlich höhere Erträge als in den Reinsaaten. Die unterschiedliche Eignung des LUA-Prüfmateri als zum Gemengeanbau und die Eignung der gewählten Maishybriden zur Differenzierung der LUA-Partner in Bezug auf dieses Merkmal wurde bestätigt. Während 4 LUA eine höhere Gemengeeignung aufwiesen, verfügten ebenfalls 4 LUA über eine entsprechend geringere Eignung zu dieser Nutzung. In Analogie erzielten auch die 7 geprüften Maishybriden im Gemengeanbau (Versuch 2) mit den 2 Andenlupinen als Testpartner eine hohe Variabilität im Merkmal GTM-Ertrag mit überlegenen Gemengeerträgen im Vergleich zu den gemittelten GTM-Erträgen der Reinsaaten. Jeweils 3 Maishybriden erwiesen sich als gut geeignet bzw. als nicht tauglich für diese Anbaumethode. Auch in diesem Versuch hatten sich die beiden als Testpartner verwendeten Andenlupinen-Linien als sehr gut geeignet erwiesen, die Maishybriden in ihrer Eignung zum Gemengeanbau zu differenzieren.

Tab. 1: Mittelwerte, Spannweiten und Zusammensetzung der GTM-Erträge im Gemenge aus Versuch 1 im Vergleich zu den Reinsaaten im Jahr 2020

Prüferte	Gemenge					Reinsaat	
	GTM (dt ha ⁻¹)			Anteile (%)		GTM (dt ha ⁻¹) Mittel	
	Mittel	Min	Max	LUA	Mais	LUA	Mais
JKI-GL	132,0	103,4	161,2	37,3	62,7	72,2	162,2
JKI-BS	192,9	153,7	225,5	10,9	89,1	58,1	241,0
TI-TH	132,8	99,5	172,1	14,3	85,7	48,8	160,2
Mittel	153,5	99,5	225,5	20,8	79,2	59,7	187,8

Tab. 2: Mittelwerte, Spannweiten und Zusammensetzung der GTM-Erträge im Gemenge aus Versuch 2 im Vergleich zu den Reinsaaten im Mittel der Jahre 2019 und 2020

Prüferte	Gemenge					Reinsaat	
	GTM (dt ha ⁻¹)			Anteile (%)		GTM (dt ha ⁻¹) Mittel	
	Mittel	Min	Max	LUA	Mais	LUA	Mais
JKI-GL	127,5	107,1	175,9	43,3	56,4	117,5	186,5
JKI-BS	195,7	153,3	252,7	16,0	84,0	92,1	251,8
Mittel	161,6	130,2	214,3	29,8	70,2	101,9	219,2

Mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse wurde der Einfluss agronomischer Merkmale auf das Zielmerkmal GTM-Ertrag in den Datensätzen bewertet, um damit zur sicheren Identifikation von besonders gemengeauglichen Prüfgliedern innerhalb der Sets von Andenlupinen und Maishybriden beizutragen. Der GTM-Ertrag wurde demnach hochsignifikant positiv durch die Wuchshöhen beider Gemengepartner und durch einen hohen Anteil Mais in der Gemengebiomasse beeinflusst. Hochsignifikant negativ wirkte sich dagegen ein hoher Anteil Lupinenbiomasse im Gemenge sowie eine große Anzahl Hülsen zum Zeitpunkt des Schnitts aus. Zur weiteren Beurteilung wurde die Land Equivalent Ratio (LER) bestimmt. Nahezu alle LUA-Mais Kombinationen konnten anhand ihres LER >1 mit hochsignifikant genotypischen Effekten als überlegen gegenüber den Reinsaaten beurteilt werden.

Biomasse aus dem Jahr 2019 (Groß Lüsewitz) zeigte aufgrund der niedrigen GTM-Erträge einen etwas unter den Erwartungen liegenden Methanflächenertrag bei einem jedoch erfreulich hohen Methangehalt im gebildeten Biogas von 51 – 56 Vol. %.

Analyse teilflächenspezifischer N Bilanzen auf heterogenen Ackerschlägen mit digitalen Methoden

Martin Mittermayer, Johannes Schuster, Ludwig Nätscher, Franz-Xaver Maidl
und Kurt-Jürgen Hülsbergen

Technische Universität München, Liesel-Beckmann-Straße 2, 85354 Freising
E-Mail: martin.mittermayer@tum.de

Einleitung

Ackerbaulich genutzte Böden zeigen je nach Standort und Boden-Klima-Raum eine mehr oder weniger große Variabilität von Bodeneigenschaften wie beispielsweise die Bodentextur oder die Wasser- und Nährstoffspeicherefähigkeit. Mittermayer et al. (2021) wiesen nach, dass auf Ackerschlägen neben den Erträgen und N-Entzügen auch die N-Salden, die das Verlustpotenzial an reaktiven N-Verbindungen (NH₃, N₂O, NO₃-) kennzeichnen, kleinräumig variieren; auch auf Schlägen mit ausgeglichener N-Bilanz wurden in Niedrigertragszonen hohe umweltgefährdende N-Verluste nachgewiesen, während in Hohertragszonen stark negative N-Salden auftraten. Forschungsarbeiten zeigen, dass die Datenherkunft (z.B. Satelliten, Sensoren) und die Verfahren der Datenauswertung (Vegetationsindices, Algorithmen, Modelle) erheblichen Einfluss auf die Bestimmung teilflächenspezifischer Pflanzenparameter, z.B. Ertrag, haben (Křížová & Kumhálová 2017). Daher sollte untersucht werden, welche digitalen Technologien am besten geeignet sind, diese Pflanzenparameter als Eingangsgrößen der N-Bilanz hinreichend genau und kostengünstig zu ermitteln. Im Zusammenhang mit der Variabilität von Erträgen, N-Entzügen und N-Salden steht auch die Frage nach den Ursachen dieser Variabilität.

Material und Methoden

In der vorliegenden Arbeit wurden auf unterschiedlich heterogenen Ackerschlägen („Itzling“, „Hofacker“, „Lager“) in Süddeutschland in den Jahren 2018 und 2019 die räumliche Variabilität von Erträgen, N-Entzügen und N-Salden bei Winterweizen mit digitalen Methoden (Mährescherertragserfassung, Sensor- und Satellitendaten) ermittelt. Der N-Input wurde schlageinheitlich auf den Untersuchungsflächen appliziert. Der N-Output entspricht dem Korn-N-Entzug. Der N-Entzug wurde bestimmt durch (a) Kornertrag nach Volumenstrommessung am Mährescher, multipliziert mit einem mittleren Korn N-Gehalt, (b) Kornertrag nach Satellitendaten und PROMET Modell (Mauser und Bach 2019) multipliziert mit einem mittleren Korn N-Gehalt (c) über Reflexionsmessungen mit einem traktormontierten Sensor, Berechnung des Vegetationsindex REIP und Verwendung eines Algorithmus zur Schätzung der N-Aufnahme (Maidl et al. 2019). Mit N Bilanzen wurde der N Saldo berechnet: $N\text{-Saldo} = N\text{-Input} - N\text{-Output}$. Zur Erfassung der Variabilität von Bodeneigenschaften wurden georeferenzierte Bodenproben gezogen und C_{org}, N_t, pH, P, K und die Textur bestimmt. Die Daten wurden in Raster gleicher Auflösung (10 m x 10 m) durch Interpolation mit dem Kriging Verfahren überführt und eine Korrelationsanalyse durchgeführt.

Ergebnisse¹ und Diskussion

Die ermittelten Weizen-Kornerträge nach Mähdrescher 9,0 (4,7 bis 12,9) t ha⁻¹, Sensor 8,9 (3,2 bis 14,0) t ha⁻¹ und Satellit 8,8 (6,6 bis 10,3) t ha⁻¹ belegen die enorme Spannweite und Variabilität der Erträge. Der mittlere Ertrag (gemessen mit der Fuhrwerkswaage) betrug 8,7 t ha⁻¹. Unterschiedliche Analysemethoden führten auch auf den anderen Untersuchungsschlägen zu unterschiedlichen Spannweiten des Weizenertrages. Aufgrund der variierenden Erträge und N Entzüge ergaben sich räumlich variable N-Salden innerhalb der Flächen. Auf dem Schlag „Hofacker“ wurden folgende N Salden ermittelt: Mähdrescher 60 (-4 bis +130) kg ha⁻¹, Sensor 61 (-22 bis +155) kg ha⁻¹ und Satellit 66 (+40 bis +101) kg ha⁻¹. Die höchsten Zusammenhänge zwischen den geprüften Bodenparametern und dem N Saldo wurde mit dem C_{org}-Gehalt erzielt. Die Beziehungen zwischen dem C_{org}-Gehalt und dem N Saldo auf den Untersuchungsflächen waren negativ: $r = -0,25$ bis $-0,62$ (Sensor), $r = -0,25$ bis $-0,60$ (Satellit) und $r = -0,05$ bis $-0,42$ (Mähdrescher). Anhand der Ergebnisse ist zu konstatieren, dass sich die angewandten digitalen Technologien und Methoden (Mähdrescher, Satellitendaten, Sensormessung) für die Erfassung von Ertrag, N Entzug und zur Berechnung von N-Salden prinzipiell eignen, aber die Genauigkeit dringend verbessert werden muss, um Managemententscheidungen darauf zu stützen.

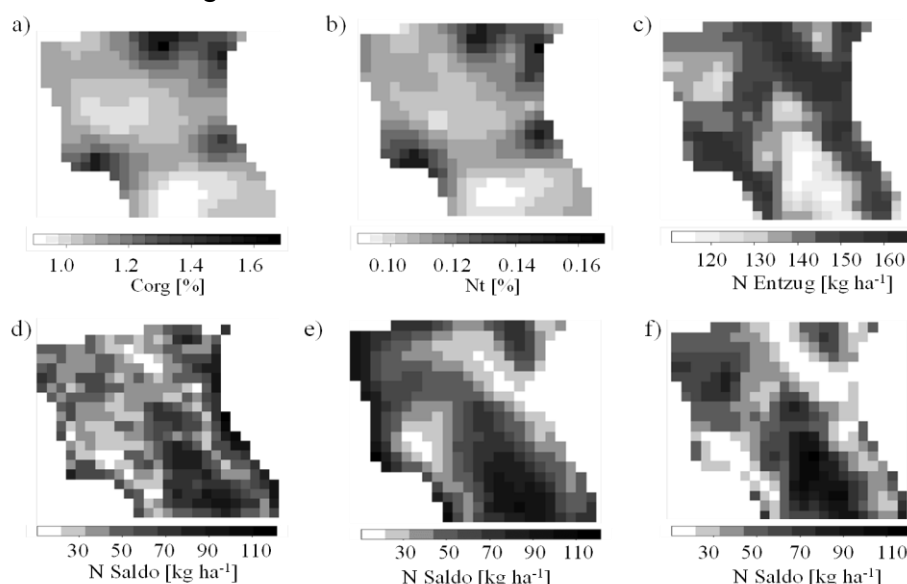


Abb. 1: „Hofacker“ (4,2 ha): a) C_{org}-Gehalt, b) N_t-Gehalt, c) N-Entzug (Sensor), d) N-Saldo (Mähdrescher), e) N-Saldo (Satellit) f) N-Saldo (Sensor)

Literatur

Křížová, K., & Kumhálová, J. (2017). Comparison of selected remote sensing sensors for crop yield variability estimation. *Agronomy Research* 15(4), 1636–1645.

Mauser, W., & Bach, H. (2009). PROMET – Large scale distributed hydrological modelling to study the impact of climate change on the water flows of mountain watersheds. *Journal of Hydrology*, 376(3-4), 362–377.

Maidl, Franz-Xaver; Spicker, Andreas; Weng, Jonas; Hülsbergen, Kurt-Jürgen (2019): Ableitung des teilflächenspezifischen Kornertrags von Getreide aus Reflexionsdaten in A. Meyer-Aurich et al.: Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2019 131

Mittermayer, M., Gilg, A., Maidl, FX. et al. Site-specific nitrogen balances based on spatially variable soil and plant properties. *Precision Agric* (2021). <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09789-9>

¹ Beispielhaft werden die Ergebnisse für den Schlag „Hofacker“ gezeigt.

Analyse der teilflächenspezifischen Auswaschungsrisiken von Nitrat auf Ackerflächen aufgrund von räumlich variierenden Boden-, Pflanzen- und N-Bilanz Parametern

Johannes Schuster, Martin Mittermayer und Kurt-Jürgen Hülsbergen

Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann Str. 2, 85354 Freising. E-Mail: johannes.schuster@tum.de

Einleitung

Die Nitratproblematik aufgrund von zu hohen Nitratgehalten im Grundwasser (ca. 25% > 50 mg Nitrat) ist aktuell und nicht gelöst. Die Düngeverordnung wurde zum wiederholten Male verschärft. Die Teilschlagebene auf Ackerflächen spielt beim flächendeckenden Grundwasserschutz – aber auch beim Management von Trinkwasserschutzgebieten bisher eine untergeordnete Rolle. So finden kleinräumig wechselnde Bodeneigenschaften, Ertragspotenziale und Nitratauswaschungsrisiken bisher keine große Bedeutung. Nitratverluste können auf unterschiedlichen räumlichen Skalenebenen analysiert werden – vom Teilschlag (10^2 bis 10^4 m²) und Schlag (10^4 bis 10^6 m²) über den Betrieb (10^5 bis 10^7 m²) bis zum Trinkwassereinzugsgebiet (10^6 bis $> 10^8$ m²). In dieser Arbeit sollte aufbauend auf den Untersuchungen von Mittermayer et al (2021), das Nitrataustragsrisiko auf Teilschlagebene (10^2 m²) untersucht werden. Dazu wurde auf heterogenen Ackerschlägen in einem Trinkwassereinzugsgebiet in Süddeutschland unter Verwendung von digitalen Methoden gemessen, ob räumlich variierende N-Salden (Überschüsse im Niedrigertragsbereich bzw. negative Salden im Hohertragsbereich) auch zu unterschiedlichen Nitrattiefenverlagerungen in den entsprechenden Zonen führen.

Material und Methoden

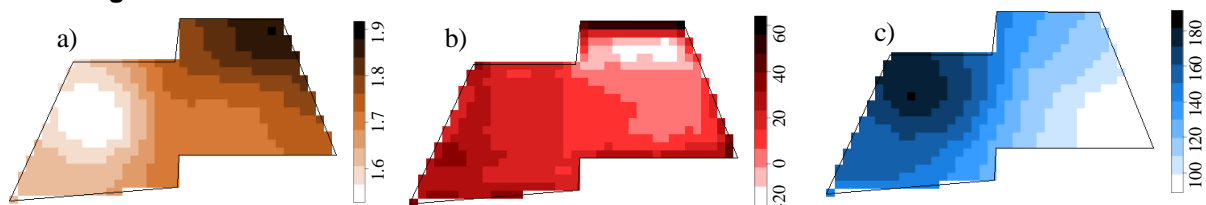
Die Untersuchung wurde im Raum Burghausen/Burgkirchen, einer intensiven und hochproduktiven Agrarregion ca. 100 km östlich von München durchgeführt (Niederschlag ca. 970 mm; 8,9°C Jahresdurchschnittstemperatur; Ackerzahl ca. 60). Die Untersuchungsschläge wurden anhand von Größe (>5ha), Bewirtschaftung (schlageinheitliche Düngung) und Bodeneigenschaften (Heterogenität) ausgewählt. Die Heterogenität wurde mittels relativen Biomassepotenzialkarten basierend auf Satellitendaten bewertet. Zur Analyse der räumlichen Variabilität der Erträge von Mais, Soja und Weizen der Jahre 2018 bis 2020 wurden Satellitendaten und das Pflanzenwachstumsmodell „PROMET“ (Mauser and Bach 2009) verwendet. Der N-Entzug nach Satellitendaten ergibt sich durch Multiplikation des teilflächenspezifischen Ertrages mit dem mittleren Korn N-Gehalt des Gesamtschlages. Die N-Salden wurden mit den Satellitendaten berechnet: $N\text{-Saldo} = N\text{-Input} - N\text{-Output}$. Der N Input ist die Summe des mit organischer und mineralischer Düngung zugeführtem Gesamtstickstoff, einer mittleren standortspezifischen N-Deposition von 20 kg ha⁻¹, sowie dem symbiontisch fixierten Stickstoff. Die N₂-Fixierleistung der Sojabohnen entspricht dem mittleren Kornertrag der Sojabohnen multipliziert mit dem N₂-Fixierfaktor von 5,3 kg dt⁻¹. Der N Output entspricht dem Korn-N-Entzug sowie dem N-Entzug der Nebenprodukte (Getreidestroh). Der N-Entzug der Nebenprodukte wurde über ein Korn-Stroh-Verhältnis (0,8) und mittlere N-Gehalte des Strohs (0,5 kg dt⁻¹) berechnet. Es wurde für jedes Rasterelement bilanziert.

Die Bodenparameter wurden im Oberboden (C_{org} , N_t ; 0-30 cm) und im Unterboden (N_{min} ; 0-2,5 m; 0,5 m Schichten) an 10 bzw. 5 Punkten ha^{-1} gemessen. Alle Daten wurden in Raster gleicher Auflösung (10 x 10 m) überführt, bei Punkteingangsdaten durch Interpolation auf das Raster durch das Krigingverfahren (Matheron 1963). Zur Überprüfung von Beziehungen zwischen den erhobenen Pflanzen-, Boden- und Umweltparametern wurden Korrelationsanalysen auf der Ebene der Rasterelemente durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse eines Untersuchungsschlages dargestellt. Die Erträge variieren in allen Jahren auf Teilschlagebene (2018 Silomais: 22 – 50 $t ha^{-1}$, 2019 Soja: 1,5 – 4,1 $t ha^{-1}$, 2020 Winterweizen: 7,7 – 12,1 $t ha^{-1}$). Im Mittel liegen die modellierten Erträge bei Weizen (8,3 $t ha^{-1}$) und Sojabohne (3,6 $t ha^{-1}$) (10%) bzw. Silomais (44,5 $t ha^{-1}$) (20%) leicht unter den Erträgen laut Landwirt. Es sind in allen Jahren sich ähnelnde Zonierungen erkennbar. Bei den N-Aufnahmen verhält es sich aufgrund der Berechnungsmethodik (schlageinheitliche N-Gehalte) analog. Die N-Salden schwanken in allen Jahren stark (2018: -45,0 bis 87,3 $kg N ha^{-1}$; 2019: 33,3 bis 57,3 $kg N ha^{-1}$; 2020: -0,3 bis 175,3 $kg N ha^{-1}$). Der mittlere N-Saldo über drei Jahre liegt bei 37,9 $kg N ha^{-1}$. Bei den Bodenparametern reichen die C_{org} Gehalte von 1,37 bis 2,01% (Mittelwert 1,71%). Die Nitrat-N-Vorräte aufsummiert über das Profil schwanken von 35,7 bis 281,5 $kg ha^{-1}$ (Mittelwert 121,0 $kg N ha^{-1}$). Die dreijährigen relativen Erträge bzw. mittleren N-Salden korrelieren mit den Nitratvorräten mäßig ($r=-0,45$ bzw. 0,5), die C_{org} Gehalte mit den Nitratvorräten stark ($r=-0,71$). Die Erträge bzw. N-Salden korrelieren mit den C_{org} Gehalten ebenfalls mäßig bis stark ($r=0,62$ bzw. -0,73). Abbildung 1 zeigt C_{org} Gehalte, N-Salden und Nitratvorräte grafisch.

Abbildung 2: C_{org} Gehalte in % (a), N-Saldo in $kg N ha^{-1}$ (b) und Nitratvorräte 0-2,5 m in $kg N ha^{-1}$ des Schlag 2



Der Untersuchungsschlag weist eine Hoch- und Niedrigertragszone auf. Die Zonen sind durch höhere bzw. niedrigere C_{org} Gehalte gekennzeichnet. Die N-Salden schwanken teilflächenspezifisch stark. In der Niedrigertragszonen gibt es erhöhte N-Salden. In dieser wurden auch erhöhte Nitratvorräte in tieferen Bodenschichten, die wahrscheinlich nicht mehr pflanzenverfügbar sind, gemessen.

Literatur

Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246–1266.

Mittermayer, M., Gilg, A., Maidl, F.-X., Nätscher, L., & Hülsbergen, K.-J. (2021). Site-specific nitrogen balances based on spatially variable soil and plant properties. *Journal of Precision Agriculture*, 2020.

Mausser, W., & Bach, H. (2009). PROMET – Large scale distributed hydrological modelling to study the impact of climate change on the water flows of mountain watersheds. *Journal of Hydrology*, 376(3-4), 362–377.

Optimierung des N-Düngungsregimes von ein- und mehrschnittig bewirtschafteten Beständen der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.)

Kerstin Stolzenburg¹, Sebastian Weisenburger² und Kurt Möller¹

¹Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Referat Pflanzenbau, Rheinstetten-Forchheim

²Landratsamt Rastatt - Landwirtschaftsamt

E-Mail: kerstin.stolzenburg@ltz.bwl.de

Einleitung

Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) verfügt über ein tiefreichendes Wurzelsystem, das bereits zu Vegetationsbeginn eine ausgeprägte N-Aneignung und damit eine geringe Gefahr von Nitratauswaschungsverlusten erwarten lässt. Im Fokus der vorliegenden Betrachtung stand der Einfluss gesplitteter N-Applikationstermine und -mengen auf den N-Haushalt der Durchwachsenen Silphie. Dabei sollte insbesondere der Frage nachgegangen werden, ob die derzeit empfohlenen N-Düngemengen optimiert werden können und ob das Düngeregime bei einer Zweischnittnutzung einer Anpassung bedarf.

Material und Methoden

Die Versuchsarbeiten fanden in einem bereits etablierten Silphie-Bestand am Standort Forchheim auf einem lehmigen Sandboden im Boden-Klima-Raum (BKR) 121 statt. Als Versuchsanlage wurde eine randomisierte zweifaktorielle Blockanlage mit drei Wiederholungen gewählt. In die Untersuchung gingen die beiden Faktoren „Haupterntetermin“ mit sechs Faktorstufen (monatliche Ernte von Ende Mai bis Ende Oktober) und „N-Düngung“ mit vier Versuchsvarianten („Einmalig 100 %“ bzw. 250 kg N/ha zum ersten Aufwuchs, „Geteilt 50 % + 50 %“ bzw. 125 kg N/ha + 125 kg N/ha zum ersten + zum zweiten Aufwuchs, „Geteilt, leicht frühjahrsbetont“ 60 % + 40 % bzw. 150 kg N/ha + 100 kg N/ha zum ersten + zum zweiten Aufwuchs und „Geteilt, frühjahrsbetont“ 80 % + 20 % bzw. 200 kg N/ha + 50 kg N/ha zum ersten + zum zweiten Aufwuchs) ein. Die N-Düngung erfolgte im gesamten Versuch mineralisch mittels Kalkammonsalpeter (KAS, 27 % N). Die verfügbaren N-Mengen für den Biomasseaufwuchs (N-Düngung zzgl. Nitrat-Gehalt im Boden) schwanken aufgrund der geringen N_{\min} -Ausgangswerte in allen Faktorstufen nur geringfügig zwischen 250 und 260 kg N/ha. Der erste Aufwuchs wurde jeweils zum Monatsende (Mai bis Oktober), der zweite Aufwuchs der frühen „Haupterntetermin“-Faktorstufen (Ende Mai bis Ende Juli) im Oktober quantitativ erfasst und analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Aus der Entwicklung der Spross-N-Gehalte im Vegetationsverlauf geht hervor, dass Silphie bei entsprechendem Angebot bereits früh in der Vegetation hohe Mengen an Stickstoff aufnehmen kann. Beim zweischnittigen Verfahren führte der Verzicht einer N-Gabe zum zweiten Austrieb (100 %-N-Stufe) zu Mindererträgen. Trotz hoher N-Gaben von 250 kg N/ha zu Vegetationsbeginn im Frühjahr und ausreichender Bodenfeuchte wiesen die Zweitaufwuchsbestände eine vergleichsweise geringe N-Aufnahme auf, so dass davon auszugehen ist, dass nach dem ersten Schnitt kaum noch pflanzenverfügbarer Stickstoff im Boden vorhanden war. Pflanzen- und Bodenanalysen ergaben, dass der überwiegende Teil des verfügbaren Stickstoffs

bereits bis zum ersten Erntetermin Ende Mai aufgenommen wurde. Bis Ende Juli wurden bis 211 kg N/ha in der oberirdischen Biomasse eingelagert. Eine Splittung der N-Gaben erscheint deshalb bei einer Zweischnittnutzung unabdingbar.

Der Einfluss der N-Düngung auf den Gesamtpflanzenenertrag ließ keine eindeutige Tendenz erkennen. Steigende N-Gaben zum ersten Aufwuchs korrelierten nicht zwingend mit steigenden Biomasseerträgen. So wurde in den Monaten Juni und Juli der höchste Gesamtpflanzenenertrag (erster Schnitt) in den niedrigsten N-Stufen erzielt. N-Gaben von über 200 kg N/ha wurden von den Pflanzen zwar aufgenommen, aber nicht regelmäßig in den höchsten Biomasseertrag umgesetzt. Hingegen zeigten Ergebnisse der Erntemonate Juni und Juli, dass mit einer Reduzierung der ersten N-Gabe um 50 % vergleichbare und teils sogar höhere Erträge erzielt werden konnten (Abb. 1). Bei ausschließlicher Betrachtung des oberirdischen Aufwuchses wäre eine deutliche Reduzierung der N-Düngung ohne maßgebliche Ertragsminderung denkbar.

Das Biomassemaximum bei Einschnittnutzung erreichte die Kultur Ende Juli. Danach fielen die Werte - vermutlich aufgrund von Blattfall - bis Ende Oktober sukzessive ab. Bei Zweischnittnutzung waren die Erträge umso höher, je früher der erste Schnitt erfolgte. Die höchsten Erträge in der Summe aus erstem und zweitem Schnitt wurden bei einer Ernte im Monat Juli gemessen, wobei hier der Ertrag des Zweitaufwuchses bereits so gering war, dass eine Zweischnittigkeit ab diesem Zeitraum weder aus wirtschaftlicher noch technischer Sicht vertretbar erscheint. Lediglich im Monat Juni wäre eine Zweischnittnutzung realisierbar, wenn die Trockenmassegehalte eine Silierung erlauben bzw. eine direkte Verwertung ohne Zwischenlagerung vorgesehen ist.

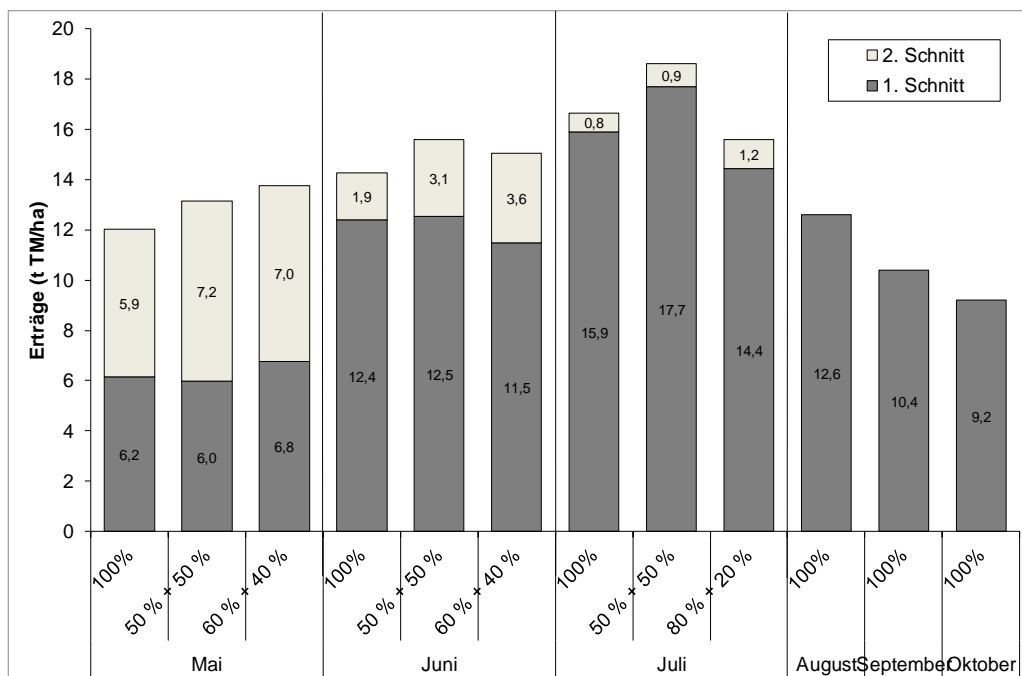


Abb. 1: Gesamtpflanzenenerträge (Mittel über drei Jahre, x-Achse: Unterteilung in F1: Haupterntetermine und F2: N-Düngung und N-Düngetermine)

Einfluss der Stickstoffdüngung in Kombination mit Bewässerung auf Ertrag und Frittierfarbe von Veredelungskartoffeln

Michaela Kaspar¹, Adolf Kellermann¹, Franz-Xaver Maidl² und Thomas Ebertseder³

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising; ²Technische Universität München, Freising;

³Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. E-Mail: michaela.kaspar@lfl.bayern.de

Einleitung

Durch die Maillard-Reaktion entsteht die Farbe von Pommes frites beim Frittieren. Als Edukte fungieren Aminosäuren und reduzierende Zucker, welche bei der Kartoffel limitierend auf die Reaktion wirken. Ein zu hoher Gehalt an reduzierenden Zuckern führt zu einer unerwünscht dunklen Frittierfarbe sowie der übermäßigen Entstehung von Acrylamid. Daher sollte auf pflanzenbaulicher Ebene versucht werden, diesen im Ausgangsmaterial zu senken. Als wichtige Parameter für die Frittierqualität erwiesen sich in früheren Untersuchungen eine angepasste N-Düngung (Kolbe et al. 1995, Ospina et al. 2014) sowie der Trocken- und Hitzestresskomplex (Zommick et al. 2014). Die Qualitätsmängel zeigen sich vor allem am Kronen- und Nabelende, wo unter Stress vermehrt Zucker angereichert wird. Zur Quantifizierung der Einflüsse auf die Frittierqualität unter bayerischen Anbaubedingungen wurden daher Feldversuche mit gestaffelter N-Düngung und differenzierter Bewässerung angelegt.

Material und Methoden

Die Versuche wurden in den Jahren 2019 und 2020 am Versuchsgut Roggenstein (30 km nordöstl. von München, langjähriges Jahresmittel 1995-2018: 908 mm Niederschlag, 8,8°C Temperatur) durchgeführt. Sie standen als vierfach wiederholte Blockanlage jeweils auf einer Braunerde mit einer nFK von etwa 180 mm m⁻². 2019 wurde der Versuch am 17.04. und 2020 am 23.04. mittels einphasiger Legetechnik mit der Sorte Innovator angelegt und am 23.09.19 bzw. 22.09.20. beerntet. Der Pflanzenschutz war ortsüblich. Als Versuchsfaktoren wurden eine Stickstoffsteigerung über die Stufen 0, 80, 160 und 240 kg N ha⁻¹ jeweils mit und ohne Tropfbewässerung betrachtet. Aufgrund eines technischen Fehlers entfiel 2019 die Variante 80 kg N ha⁻¹ mit Bewässerung. Die Bewässerung erfolgte nach Unterschreiten der festgelegten Bewässerungsschwelle von 65 % der nFK, welche über die Bewässerungs-App der ALB Bayern e.V. (Expertenmodus) ermittelt wurde. 2019 waren aufgrund der überdurchschnittlich heißen und trockenen Monate Juni und Juli ab 07.06. insgesamt 140 mm Zusatzwasser nötig, 2020 startete die Bewässerung erst ab 09.07. mit in Summe 50 mm. Nach einer zweimonatigen Lagerung wurden je Parzelle aus 20 Knollen Zentralstäbchen im 3-Minuten Backtest bei 180 °C frittiert, anschließend standardisiert fotografiert und über das Verhältnis des Rot- zu Grün-Werts aus dem RGB-Farbraum beurteilt. Je niedriger das Verhältnis war, desto besser die Backfarbe.

Ergebnisse und Diskussion

Die beiden Jahre unterschieden sich deutlich in ihrer Frühjahrswitterung. 2019 fiel der Mai kühl und nass aus mit einer anschließenden Hitzewelle im Juni und Juli, 2020 folgte auf einen trockenen Mai ein kühler und regnerischer Juni, was sich in den Erträgen widerspiegelte. Diese unterschieden sich zwischen den Jahren zwar ohne Bewässerung nicht, aber der Ertragseffekt durch Bewässerung betrug 2019 im

Mittel 140 dt ha⁻¹ und 2020 nur 12 dt ha⁻¹. Der höchste Ertragszuwachs von 0,52 dt ha⁻¹ je kg gedüngtem N konnte 2019 in der 160 kg N-Stufe erzielt werden, 2020 lag er für 80 kg N ha⁻¹ bei 1,32 dt ha⁻¹ je kg gedüngtem N. Die Maximalerträge der Versuche betragen 715 dt ha⁻² für 2019 und 561 dt ha⁻¹ für 2020. Die Frittierfarbe ist in Abbildung 1 anhand des R/G-Verhältnisses dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen physiologischen Reaktion erfolgte eine gesonderte Betrachtung nach Knollenteilen.

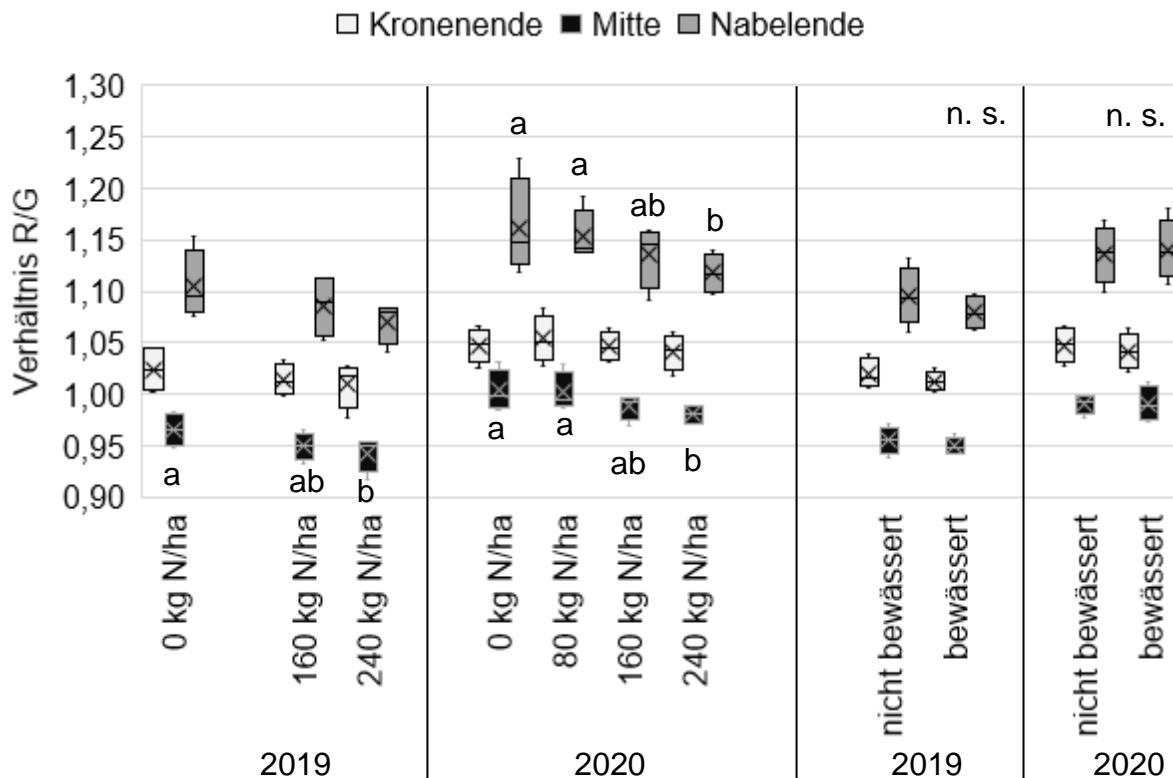


Abb. 1: Frittierfarbenauswertung nach N-Düngung und Bewässerung

Mit steigender N-Düngung verbesserte sich in beiden Jahren die Frittierfarbe, insbesondere der Nabelenden, welche sich 2020 auch signifikant unterschieden. Ebenso verbesserte sich 2019 durch Bewässerung tendenziell die Frittierfarbe der Nabelenden. Dies lässt auf eine verringerte Hitze- und Trockenstressexposition der bewässerten Varianten schließen, wodurch die stressbedingte Zuckeranreicherung – anders als in den unbewässerten Versuchsgliedern – verringert wurde. 2020 zeigte die Bewässerung keinen positiven Effekt auf die Backfarbe. Dies lag vermutlich an der erst später einsetzenden und vergleichsweise geringeren Bewässerungsbedürftigkeit.

Literatur

- KOLBE, H.; MÜLLER, K.; OLETEANU, G.; GOREA, T.: Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer treatments on weight loss and changes in chemical composition of potato tubers stored at 4 °C. In: Potato Research (1995) Nr. 38, S. 97-107
- OSPINA, C. A.; LAMMERTS VAN BUEREN, E. T.; ALLEFS, J. J. H. M.; ENGEL, B.; VAN DER PUTTEN, P. E. L.; VAN DER LINDEN, C. G.; STRUIK, P. C.: Diversity of crop development traits and nitrogen use efficiency among potato cultivars grown under contrasting nitrogen regimes. In: Euphytica (2014) Nr. 199, S. 13-29
- ZOMMICK, D. H.; KNOWLES, L. O.; PAVEK, M. J.; KNOWLES, N. R.: In-season heat stress compromises postharvest quality and low-temperature sweetening resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.). In: Planta (2014) Nr. 239, S. 1243-12

Fruchtfolgegestaltung - Effekte auf Ertragsstabilität, Düngungsoptima und Qualität des Erntegutes

Maren Rose¹, Ingo Pahlmann², Klaus Sieling¹ und Henning Kage¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität, Kiel

²Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe

E-Mail: radke@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

In klassischen Fruchtfolgen besteht ein erhöhtes N-Auswaschungsrisiko nach Kulturen wie Winterraps und Körnerleguminosen. Beide hinterlassen bereits nach der Ernte vergleichsweise hohe Rest-N_{min}-Mengen im Boden, die durch Mineralisation bis zum Herbst noch weiter ansteigen (Maidl et al. 1991, Sieling et al. 1999). Winterweizen, der als typische Folgefrucht angebaut wird und von der Vorfruchtwirkung in Form von bis zu 10% höheren Erträgen im Vergleich zu einer Getreidevorfrucht profitiert (Sieling & Christen 2015), kann das erhöhte N-Angebot aufgrund einer eher geringen N-Aufnahme im Herbst nicht komplett nutzen. Die Folge sind N-Auswaschungsverluste in der Sickerwasserperiode, die sich negativ auf die N-Bilanz der gesamten Fruchtfolge auswirken. In vielen Ackerbaubetrieben hat sich in den vergangenen Jahrzehnten außerdem eine starke Einengung der Fruchtfolgen vollzogen, woraus eine Vielzahl weiterer Probleme, wie Resistenzen, Krankheitsdruck und instabile Erträge resultieren.

Im Rahmen eines Fruchtfolgesystemversuches in Schleswig-Holstein, werden Strategien zur Verbesserung des N-Transfers mit Hilfe angepasster Fruchtfolgegestaltung sowie die Optimierung der N-Düngung in Abhängigkeit von der Vorfrucht untersucht. Ziel ist ein gelungener N-Transfer, der sich in niedrigeren N-Düngungsoptima (N_{opt}) und verbesserten N-Bilanzen bei stabilen Erträgen und Qualitäten widerspiegelt.

Material und Methoden

Im Herbst 2015 wurde auf dem Versuchsgut Hohenschulen der Universität Kiel ein Fruchtfolgesystemversuch etabliert. Verglichen werden die vier Fruchtfolgen Winterraps – Winterweizen – Wintergerste (FF1), Winterraps – Winterweizen – Ackerbohne – Winterweizen – Winterweizen (FF2), Ackerbohne – Winterraps – Winterweizen – Silomais (FF3) sowie Winterraps – Zwischenfrucht – Silomais – Winterweizen (FF4). FF1 dient als ortsübliche Referenz-Fruchtfolge. FF2 stellt die klassische Integration einer Körnerleguminose in eine weizenbetone Fruchtfolge dar. In FF3 und FF4 werden die alternativen Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen Körnerleguminose gefolgt von Winterraps bzw. Zwischenfrucht nach Winterraps gefolgt von einer Sommerung (Silomais) geprüft, um den pflanzenverfügbaren Stickstoff durch eine erhöhte Herbst-N-Aufnahme im System zu halten.

Der Versuch ist als Spaltanlagen mit vier Feldwiederholungen und fünf äquidistanten, kulturartabhängigen N-Stufen angelegt. An die Ertragsdaten des Parzellendrusches in den einzelnen Düngestufen wurden quadratische Funktionen angepasst, woraus die ökonomisch optimale Düngemenge und der korrespondierende Ertrag in Abhängigkeit der Vorfrucht, sowie die N-Bilanz und die Auswirkungen auf den Ertrag und die Erntegutqualität verschiedener Düngeregime, abgeleitet werden können. In

die Auswertung fließen die Daten der Jahre 2017 bis 2019 ein, das Jahr 2020 wird bis zur Tagung ergänzt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse (Tabelle 1) zeigen deutliche Effekte der Fruchtfolgegestaltung auf die Erträge bei ökonomisch optimaler N-Düngung, die ökonomisch optimale N-Düngung und die N-Bilanzen. Winterweizen erzielt ca. 10 dt/ha höhere Erträge bei einer Nichtgetreide-Vorfrucht, gleichzeitig unterschieden sind N_{opt} und N-Bilanz nicht in Abhängigkeit der Fruchtfolge. Winterraps profitiert in allen Parametern von der Körnerleguminose als Vorfrucht. Ein Hinweis darauf, dass in dieser Fruchtfolgekombination ein gelungener N-Transfer stattfindet. Bei der Vorfruchtkombination Winterraps-Zwischenfrucht zu Silomais ist N_{opt} und die N-Bilanz signifikant niedriger als nach Winterweizen.

Der konzeptionelle Ansatz eines verbesserten N-Transfers durch angepasste Fruchtfolgegestaltung konnte unter den Standortbedingungen realisiert werden, was sich sowohl in den N-Bilanzen der Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen als auch in den Düngeoptima zeigt.

Tab. 1: Ertrag bei ökonomisch optimaler N-Düngung (Y_{opt}), ökonomisch optimale N-Düngung (N_{opt}) und N-Bilanz von Winterweizen, Winterraps und Mais in Abhängigkeit der Vorfrucht. Unterschiedliche Buchstaben stellen signifikante Unterschiede dar ($p < 0.05$).

Frucht	Vorfrucht	Y_{opt} (dt/ha)	N_{opt} (kg N/ha)	N-Bilanz (kg N/ha)
Winterweizen	Mais	93 a	247 a	47 a
	Winterraps	93 a	231 a	26 a
	Ackerbohne	92 a	257 a	48 a
	Winterweizen	82 b	244 a	55 a
Winterraps	Ackerbohne	40 a	175 b	57 b
	Winterweizen	40 a	205 a	87 a
	Wintergerste	38 b	202 a	87 a
Mais	Winterraps-Zwischenfrucht	155 a	149 b	-22 b
	Winterweizen	154 a	171 a	-1 a

Literatur

- Maidl, F. X., Suckert, J., Funk, R., Fischbeck, G. (1991). Standorterhebungen zur Stickstoffdynamik nach Anbau von Körnerleguminosen. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 167(4), 259-268.
- Sieling, K., & Christen, O. (2015). Crop rotation effects on yield of oilseed rape, wheat and barley and residual effects on the subsequent wheat. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(11), 1531-1549.
- Sieling, K., Günther-Borstel, O., Teebken, T., Hanus, H. (1999). Soil mineral N and N net mineralization during autumn and winter under an oilseed rape–winter wheat–winter barley rotation in different crop management systems. *The Journal of Agricultural Science*, 132(02), 127-137

Optionen zur nachhaltigen Erweiterung intensiver Raps-Fruchtfolgen

Insa Kühling¹, Ingo Pahlmann², Klaus Sieling¹ und Henning Kage¹

¹Acker- & Pflanzenbau, Uni Kiel; ²Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe.

E-Mail: kuehling@pflanzenbau-uni-kiel.de

Einleitung

In den vergangenen Jahren/Jahrzehnten haben sich Anbausysteme mit stark verengten Fruchtfolgen (FF) und Selbstfolgen etabliert, deren Nachteile zunehmend sichtbar werden. Insbesondere die in Norddeutschland weit verbreitete Blattfrucht Winterraps bietet aufgrund vergleichsweise geringer Stickstoff-(N)-Effizienz Potential zur Verbesserung der Nachhaltigkeit. Vor diesem Hintergrund wurde von 2007 bis 2019 ein FF-Systemversuch auf dem Versuchsgut Hohenschulen (Uni Kiel) durchgeführt, in dem unterschiedliche Extensivierungsstrategien im Vergleich zur typischen Intensiv-FF Winterraps-Winterweizen-Wintergerste untersucht wurden. Neben der Reduzierung der Bodenbearbeitung (Grubber vs. Pflug) wurde auch die Integration von Silomais, Zwischenfrüchten und Körnerleguminosen (KL) in insgesamt 3 angepassten Fruchtfolgen abnehmender Intensität geprüft. Mit besonderem Augenmerk auf die N-Verwertung erfolgte die Integration der KL vor Raps.

Material und Methoden

In allen untersuchten FF (Tab. 1) wurde jede Kultur in jedem Jahr in jeweils 4 N-Stufen (Ausnahme: KL) in 3 Wiederholungen angebaut. Zur weiteren Analyse wurden jährliche quadratische Responsefunktionen angepasst und ex-post ökonomisch optimale N-Düngung mit Erträgen bestimmt (90% der Parzellenerträge als praxis-relevantes Niveau). Basierend auf diesen Daten wurden weitere Parameter zur Bewertung der Effizienz und Nachhaltigkeit ermittelt. Die Treibhausgas (THG)-Emissionen wurden nach RED II/IPCC berechnet, die N-Effizienz (NUE) ist als N-Entzug im Erntegut/N-Dünger-Input angegeben. Die Varianzanalyse erfolgte im gemischten Modell über die FF mit Jahr als 'random'-Faktor und Tukey post-hoc Test ($\alpha=0.05$).

Tab. 1: Kulturen und Bodenbearbeitung (P=Pflug / G=Grubber) in den 4 untersuchten Fruchtfolgen abnehmender Intensität

Fruchtfolge	Kulturen (Bodenbearbeitung)			
	R-W-G Pflug	Winterraps (P)	Winterweizen (P)	Wintergerste (P)
R-W-G Grubber	Winterraps (G)	Winterweizen (G)	Wintergerste (G)	
R-zF-M-W-G	Winterraps (P)	ZF-Silomais (G)	Winterweizen (G)	Wintergerste (P)
R-M-W-KL	Winterraps (P)	Silomais (G)	Winterweizen (G)	Körnerleguminosen (G)

Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung der 13-jährigen Ergebnisse zeigte deutliche Effekte auf die optimale N-Düngungsintensität von Raps und Weizen in den untersuchten Rotationen (Abb. 1): Bei Raps nach Körnerleguminosen sowie bei reduzierter Bodenbearbeitung konnten höhere bzw. stabile Erträge bei geringerer N-Düngung realisiert werden.

Anders stellte sich die Situation beim Weizen dar; dort führte die ungünstigere FF-Position nach Mais zu unveränderten Erträgen bei teilweise höherem N-Bedarf. Bei reduzierter Bodenbearbeitung lag das langjährige Optimum für Weizen auf insgesamt niedrigerem Niveau. Bei N-Optima auf ähnlichem Niveau ergaben sich für Mais keine signifikanten Unterschiede. Bei Gerste zeigten sich nur geringe Ertragseffekte ohne signifikante Unterschiede im jeweiligen Vergleich zur intensiven Referenz R-W-G_{Pflug}.

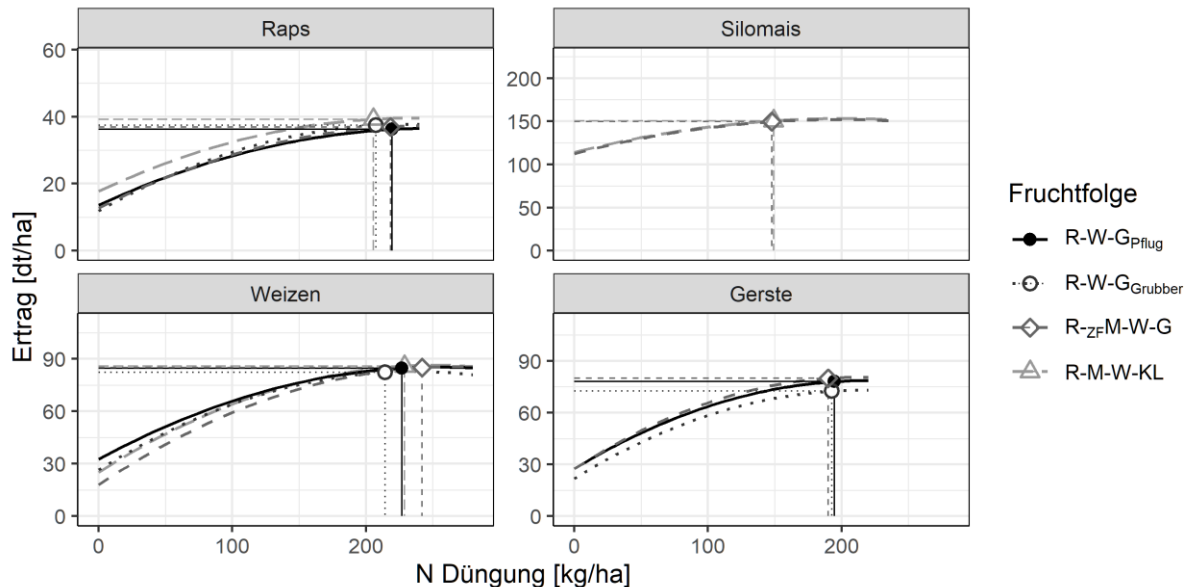


Abb. 1: N-Responsefunktionen im Mittel über alle beobachteten Jahre (n=12 Raps, 13 Mais, 13 Weizen, 11 Gerste, Erträge bei 86% (Getreide), 91% (Raps) und 100% (Mais) TS).

Im Mittel über alle Kulturen in den untersuchten Rotationen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede der N-kostenfreien Leistungen (NKFL), jedoch ökologische Verbesserungen durch die Auflockerungen in den weniger intensiven FF (Tab. 2). Insbesondere die Integration von Silomais trug zu einer Entlastung der N-Salden im Vergleich zu den klassischen Intensiv-FF R-W-G bei, damit einhergehend wurde auch die N-Effizienz gesteigert. Bei Integration einer KL war darüber hinaus durch ein Jahr ohne Zufuhr von mineralischem N-Dünger eine signifikante Reduktion der berechneten THG-Emissionen nachweisbar. Die ausschließliche Reduzierung der Bodenbearbeitung zeigte hingegen nur geringe Effekte.

Tab. 2: Ausgewählte Parameter zur Fruchtfolgebewertung (Mittelwert \pm Standardfehler, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen)

Fruchtfolge	NKFL [€/ha]	N-Saldo [kg/ha]	NUE [-]	THG-Emissionen [kg/ha]
R-W-G _{Pflug}	1227 (\pm 56.44) a	70 (\pm 5.79) a	0.67 (\pm 0.04) b	3487 (\pm 89.01) a
R-W-G _{Grubber}	1197 (\pm 56.74) a	65 (\pm 5.91) a	0.68 (\pm 0.04) b	3331 (\pm 90.37) a
R-ZFM-W-G	1202 (\pm 54.64) a	36 (\pm 5.09) b	0.92 (\pm 0.04) a	3320 (\pm 80.48) a
R-M-W-KL	1155 (\pm 54.74) a	33 (\pm 5.10) b	0.94 (\pm 0.04) a	2810 (\pm 81.06) b

Insgesamt besteht das Potential, auch mit aufgelockerten Fruchtfolgen stabile ökonomische Leistungen zu erzielen und gleichzeitig die Nachhaltigkeit zu verbessern. Insbesondere durch die Integration von Silomais in traditionelle Ackerbau-FF lassen sich viele Parameter verbessern. Mit etwas mehr Unsicherheit hinsichtlich der Ertragsstabilität, stellt auch die Aufnahme von KL in ihrer Positionierung vor Raps eine Option zur Steigerung der ökologischen Leistungen dar.

Bodenkohlenstoffvorräte in verschiedenen Zuckerrübenfruchtfolgen und bei variiertes Rübenblattmenge

Dennis Grunwald¹, Philipp Götze^{1,2} und Heinz-Josef Koch¹

¹Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen; ²Lehr- und Versuchsstation Halle, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale). E-Mail: grunwald@ifz-goettingen.de

Einleitung

Der Eintrag organischen Materials in den Boden ist beim Anbau von Zuckerrüben geringer als bei anderen Kulturen. Allerdings gibt es zur Entwicklung von Bodenkohlenstoffvorräten in Zuckerrübenfruchtfolgen bisher kaum Untersuchungen unter heutigen Rübenanbaubedingungen (Götze et al. 2016). Auch ist der Einfluss des auf dem Feld verbleibenden Rübenblatts auf den Bodenkohlenstoff bisher nicht untersucht worden.

Material und Methoden

Der Systemversuch Fruchtfolge in Harste bei Göttingen läuft seit 2006 und vergleicht mehrere Fruchtfolgen, von denen drei untersucht wurden: (1) Zuckerrübe (ZR)-Winterweizen (WW)-WW, (2) ZR-WW-Silomais (SM) und (3) ZR-WW-Winterraps (WR)-WW-WW-Körnererbse (KE). Vor ZR in Fruchtfolge (1) und (3) sowie vor SM in Fruchtfolge (2) wurde Senf angebaut, vor KE in Fruchtfolge (3) Phacelia. Zusätzlich wurden Parzellen einer weiteren ZR-WW-WW-Fruchtfolge untersucht, in der das anfallende Rübenblatt von einer auf die andere Parzellenhälfte verbracht wurde, somit also einerseits die doppelte Menge und andererseits kein Rübenblatt vorhanden war. Jedes Fruchtfolgeglied wird jedes Jahr angebaut und ist dreifach wiederholt in vollständigen Blöcken.

Im April 2018 und 2019 wurden jeweils auf den ZR-Parzellen der Fruchtfolgen in 10 cm-Schritten ungestörte Bodenproben bis 40 cm Bodentiefe genommen, an denen die Lagerungsdichte und der Gehalt an Kohlenstoff (C) untersucht wurden. Anhand äquivalenter Bodenmassen (Ellert & Bettany 1995) wurden anschließend die C-Vorräte bis 30 cm Bodentiefe berechnet. Die Proben wurden in vierfacher Wiederholung je Parzelle genommen. Zusätzlich wurde der Eintrag an Kohlenstoff durch oberirdische Pflanzenrückstände untersucht. Hierzu wurde die Biomasse der Pflanzenrückstände jedes Jahr per Hand bestimmt und der C-Gehalt analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

In der Variante der ZR-WW-WW-Fruchtfolge mit verdoppelter Menge an Rübenblatt wurden im Vergleich zur Variante ohne Rübenblatt in 0-10 cm Bodentiefe signifikant höhere Kohlenstoffvorräte gefunden (21,4 zu 19,9 t C ha⁻¹), auch in 10-20 cm waren die Vorräte höher, allerdings nicht signifikant (20,3 zu 19,4 t C ha⁻¹). Diese Unterschiede lassen sich auf den um insgesamt 19,6 t C ha⁻¹ höheren Eintrag durch Rübenblatt zurückführen, von denen in den obersten 20 cm, die ungefähr der Bodenbearbeitungstiefe entsprechen, etwa 12 % zum Probenahmezeitpunkt wiedergefunden wurden. Im Vergleich zur regulären Menge an Rübenblatt (siehe ZR-WW-WW-Fruchtfolge in Abb. 1) wird allerdings deutlich, dass die zusätzliche Menge an Rübenblatt in der Variante mit verdoppelter Menge nicht zu einem wesentlichen Anstieg der C-Vorräte in 0-20 cm geführt hat (41,7 zu 41,2 t C ha⁻¹). Somit scheint es eine Abnahme der Stabilisierung von Rübenblatt-C bei ansteigender Menge zu geben.

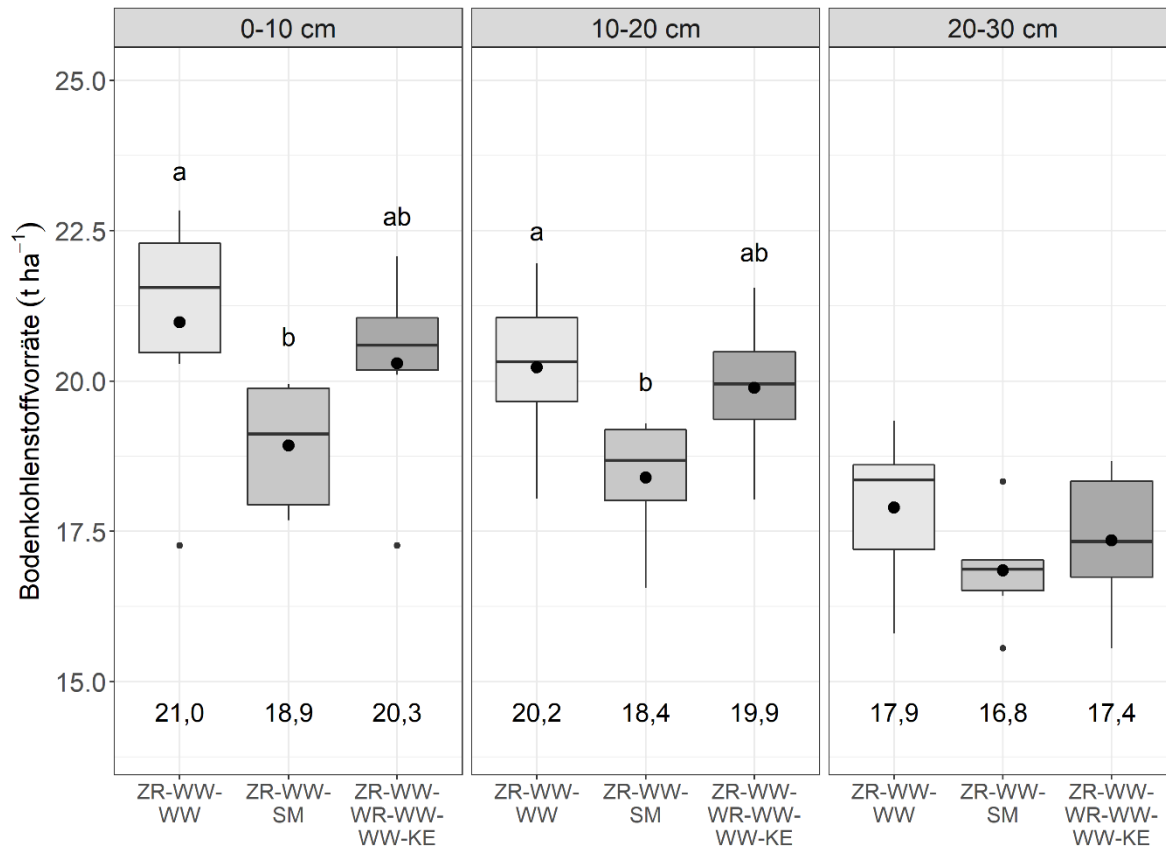


Abb. 1: Bodenkohlenstoffvorräte in drei Zuckerrübenfruchtfolgen in drei Bodentiefen. Die großen Punkte und Werte unten zeigen den Mittelwert ($n = 6$). Verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen in einer Bodentiefe.

In der ZR-WW-WW-Fruchtfolge wurden in 0-10 und 10-20 cm Bodentiefe signifikant höhere Kohlenstoffvorräte als in der ZR-WW-SM-Fruchtfolge gefunden (Abb. 1). Diese Unterschiede lassen sich auf die Abfuhr des größten Teils der oberirdischen Biomasse beim Silomais zurückführen, was zu einem insgesamt etwa 10 t ha^{-1} geringeren Eintrag organischer Substanz im Vergleich zu der ZR-WW-WW-Fruchtfolge geführt hat. Die ZR-WW-WR-WW-WW-KE-Fruchtfolge wies ähnliche Werte wie die ZR-WW-WW-Fruchtfolge auf. Eine höhere Diversität und ein geringerer Anteil an Zuckerrübe führten hier nicht zu höheren Kohlenstoffvorräten, was an einem geringeren Eintrag organischer Substanz durch WR und KE im Vergleich zu WW liegen könnte.

Insgesamt scheint nicht der Anteil der Zuckerrübe für die Entwicklung des Bodenkohlenstoffs in Zuckerrübenfruchtfolgen ausschlaggebend zu sein, sondern die Zusammensetzung der anderen Kulturen der Fruchtfolge.

Literatur

- Ellert, B. H., & Bettany, J. R. (1995). Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 529-538.
- Götze, P., Rücknagel, J., Jacobs, A., Märlander, B., Koch, H.-J., Holzweißig, B., Steinz, M., & Christen, O. (2016). Sugar beet rotation effects on soil organic matter and calculated humus balance in Central Germany. *European Journal of Agronomy*, 76, 198-207.

Betrieblicher Herbizideinsatz in Winterweizen und Winterraps in Abhängigkeit der Fruchtfolge

Andrea Ziese¹ und Sabine Andert²

¹Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Dorfplatz 1, D-18276 Gülzow-Prüzen;

²Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur Phytomedizin, Universität Rostock, D-18051 Rostock. E-Mail: a.ziese@ifa.mvnet.de

Einleitung

Die Fruchtfolge stellt einen wichtigen Bestandteil des integrierten Anbaumanagements dar. Zu den bedeutendsten Wirkungen der Fruchtfolge zählt die Unkrautkontrolle durch die Unterbrechung der Populationszyklen von Unkräutern und Ungräsern (Buhler, 2002, Chikowo et al., 2009, Melander et al., 2013). Die Verfügbarkeit mineralischer Dünger und das Portfolio der Herbizide erlauben gegenwärtig jedoch historisch kurze Fruchtfolgen bei gleichzeitig oft geringer Intensität der Bodenbearbeitung.

In Mecklenburg-Vorpommern hat sich das Anbauverhältnis der Kulturarten in den zurückliegenden Jahrzehnten stark verändert. Wirtschaftlich bedeutende Fruchtarten dominieren das Landschaftsbild. Vorrangig werden Winterweizen, -raps und Mais angebaut.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, den kombinierten Einfluss der Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung auf den Herbizid-Einsatz landwirtschaftlicher Betriebe zu prüfen. Weiterhin wird der Zusammenhang zwischen Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Herbizidkosten und dem Ertrag untersucht.

Material und Methoden

Im Rahmen der Auswertungen der Referenzbetriebe der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern wird ein umfangreicher Datensatz landwirtschaftlicher Praxis-Daten ausgewertet. Feldspezifische Fruchtfolgen werden für einen Zeitraum von elf Jahren (2010-2020) rekonstruiert. Untersucht werden die agronomischen und ökonomischen Kennzahlen hinsichtlich der kombinierten Wirkung von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung auf den Einsatz von Herbiziden in Winterweizen und Winterraps.

Die Analyse beinhaltet (i) die Erstellung von kulturspezifischen Klassifizierungsschlüsseln bezüglich der Anfälligkeit gegenüber Unkräutern und Ungräsern, (ii) die Zuordnung von Risikoklassen zu dreifeldrigen Fruchtsequenzen aus den Anbaudaten der Landwirte und (iii) die Analyse des Zusammenhanges zwischen Risikoklasse, Bodenbearbeitung und dem Herbizid-Einsatz (Andert et. al, 2018).

(i) Es werden dreifeldrige Fruchtsequenzen bezüglich ihrer Anfälligkeit gegenüber Unkräutern und Ungräsern in fünf Risikoklassen eingestuft (sehr hoch, hoch, mittel, gering, sehr gering) und die indirekten Risiken der Vorfrüchte betrachtet. Das Risiko richtet sich danach, wie häufig Feldfrüchte aufeinander folgen, bei denen der Zeitpunkt der letzten Bodenbearbeitung gleich war.

(iii) Zur Darstellung und zum Vergleich der Herbizid-Intensitäten in den Fruchtsequenzen wird der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet (Roßberg et al., 2002). Die Kosten der Herbizidanwendungen (€/ha), der Ertrag (dt/ha) und die Herbizidkostenfreie Leistung (€/ha) beschreiben die Effizienz der Fruchtfolgewirkungen. Für die Ermittlung der Herbizidkosten wurde die betriebliche

Aufwandmenge mit Standardpreisen berechnet (ATR, Ceravis AG, 2019). Die Herbizidkostenfreie Leistung ergibt sich aus der Marktleistung (Ertrag x Erzeugerpreis) abzüglich Herbizidkosten. Hierzu wurde der Ertrag mit einem Standardpreis für Winterraps sowie Qualitätsweizen multipliziert (MIO, 2020).

Die Auswertungen zum Zusammenhang zwischen der Intensität der Risikoklasse, der Bodenbearbeitung und dem Einsatz von Herbiziden wurden mittels multipler Regressionen durchgeführt. Es wurden separate Modelle erstellt für die Herbizidkosten (€/ha), den Ertrag (dt/ha) und die Herbizidkostenfreie Leistung (€/ha). Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R (R Core Team, 2014).

Ergebnisse und Diskussion

Winterweizen und Winterraps werden in Mecklenburg-Vorpommern überwiegend in Fruchtsequenzen mit hohem Risiko gegenüber dem Auftreten von Unkräutern und Ungräsern angebaut.

Es zeigt sich, je diverser die Fruchtsequenzgestaltung, bei gleichzeitiger Intensivierung der Bodenbearbeitung, desto geringer ist die Intensität der eingesetzten Herbizide sowie der monetäre Aufwand für die Unkrautbekämpfung in beiden Kulturen. Die Erträge unterscheiden sich in der vorliegenden Studie zwischen den untersuchten Risikoklassen in Winterweizen und Winterraps. Fruchtsequenzen, die ein geringeres Risiko gegenüber dem Auftreten von Unkräutern und Ungräsern aufweisen, sind mit signifikant höheren Erträgen verbunden. Dies gilt unabhängig von der Art der Bodenbearbeitung.

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die hohe Bedeutung der Fruchtfolge und Art der Bodenbearbeitung im integrierten Unkrautmanagement. Die weitere Implementierung diverser Fruchtfolgen in die Anbausystemgestaltung landwirtschaftlicher Praxisbetriebe erfordert jedoch Unterstützung der Landwirte durch Forschung, Beratungsdienste und Politik (Melander et al., 2013). Das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen einzelnen Kulturen und Bewirtschaftungskomponenten ist unerlässlich, um Akzeptanz gegenüber agrökologischen Zusammenhängen und deren Komplexität zu schaffen (Leteinturier et al., 2006). Die politischen Rahmenrichtlinien der Biodiversitätsstrategie 2020 und der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik können dazu beitragen den Pflanzenschutzmitteleinsatz nachhaltig zu reduzieren.

Literatur

- Andert, S., Bürger, J., Stein, S., Gerowitt, B., 2016: The influence of crop sequence on fungicide and herbicide use intensities in North German arable farming. *European Journal of Agronomy* 77, 81–89.
- ATR Landhandel, CERAVIS AG, 2019: PS-Preislisten, Herbst 2018 und Frühjahr 2019
- Chikowo, R., Faloya, V., Petit, S., Munier-Jolain, N.M., 2009: Integrated weedmanagement systems allow reduced reliance on herbicides and long-termweed control. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 132, 237–242.
- Leteinturier, B., Herman, J.L., de Longueville, F., Quintin, L., Oger, R. 2006: Adaptation of a crop sequence indicator based on a land parcel management system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, 324-334.
- Melander, B., Munier-Jolain, N., Charles, R., Wirth, J., Schwarz, J., van der Weide, R., Bonin, L., Jensen, P.K., Kudsk, P., 2013: European perspectives on the adoptionof nonchemical weed management in reduced-Tillage systems for arablecrops. *Weed Technology* 27, 231–240.

Weizenertrag erklären und prognostizieren: Was ist dazu nötig?

Josephine Bukowiecki, Till Rose und Henning Kage

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

Einleitung

Ertragsprognosen von Weizen sind auf Grund seiner hohen Bedeutung für die weltweite Nahrungssicherheit seit langem Gegenstand der Forschung. Präzise und frühzeitige Vorhersagen können nicht nur auf nationaler oder regionaler Ebene bei Export- und Importentscheidungen helfen, sondern auf Schlag- bzw. Teilflächen-Ebene durch Düngeanpassungen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz beitragen. Während die ertragsbildenden Prozesse in der Theorie gut verstanden sind, verbleibt jedoch die Frage, wie gut sich die Prozess-Variablen auf verschiedenen Skalen erfassen lassen und wie sich deren Erfassungszeiträume auf die Ertragsprognose auswirken.

Selbst auf Parzellenebene ist die Erfassung der Strahlungsaufnahme, der Bodenfeuchte und der finalen Biomasse aufwändig - auf regionaler oder nationaler Ebene bislang schlichtweg nicht umsetzbar. Die derzeitige rapide Entwicklung im Bereich der Fernerkundung- und Ertragserfassungs-Technologie könnte zukünftig zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Daten liefern. Im Rahmen dieser Untersuchung auf Parzellenebene gewonnene Erkenntnisse sollen eine Grundlage liefern, um die Bedeutung verschiedener Daten im Hinblick auf eine modellgestützte Ertragsprognose einzuordnen.

Material und Methoden

Hierfür wurden aus 12 Jahren Teilflächendaten (GAI: Grünflächenindex, SM: Bodenfeuchte, Ertragsdaten) verschiedener Winterweizen-Versuchsflächen auf dem Versuchsgut Hohenschulen der Universität Kiel zusammengetragen. Fünf verschiedene Szenarien wurden getestet, in dem GAI- und SM-Daten wahlweise nur bis BBCH55 oder über die gesamte Saison in ein prozess-basiertes Pflanzenwachstumsmodell von Kage und Stützel (2003) integriert wurden.

Im Hinblick auf den Effekt der variierenden Datengrundlage wurde untersucht, (I) wie gut der Bodenwasserhaushalt abgebildet werden kann, (II) welche Größe des Strahlungs- oder Wasserhaushalts die finale Biomasse am zuverlässigsten beschreibt, (III) und wie genau eine Ertragsprognose zum Zeitpunkt der dritten Düngegabe sein kann.

Ergebnisse und Diskussion

Die Bodenwasserhaushaltsmodellierung bildet die SM-Daten in allen Jahren gut ab. Die auf der Basis der SM-Daten gefitteten Bodentexturen entsprechen der für die Region typischen Variation. Der niedrigste Modellierungsfehler wird unter Nutzung der kompletten GAI- und SM-Messreihen erreicht (mttl.abs. Fehler; MAE = 2.15 Vol.-%).

Von den untersuchten Prozessen beschreiben kumulative Transpiration und kumulative Strahlungsaufnahme die Höhe und Variation der finalen Biomasse sehr genau (Abb.1). Die Aussagequalität der Strahlungsaufnahme ist jedoch hochgradig abhängig von der GAI-Erfassung während der Abreife. Es konnte gezeigt werden,

dass die engen Zusammenhänge zwischen Wasser- bzw. Strahlungshaushalt und finaler Biomasse nur unter Bestimmung des Harvest Indizes aufgezeigt werden können – die Beziehungen zum Kornertrag sind weniger eng und variieren stärker zwischen den Jahren.

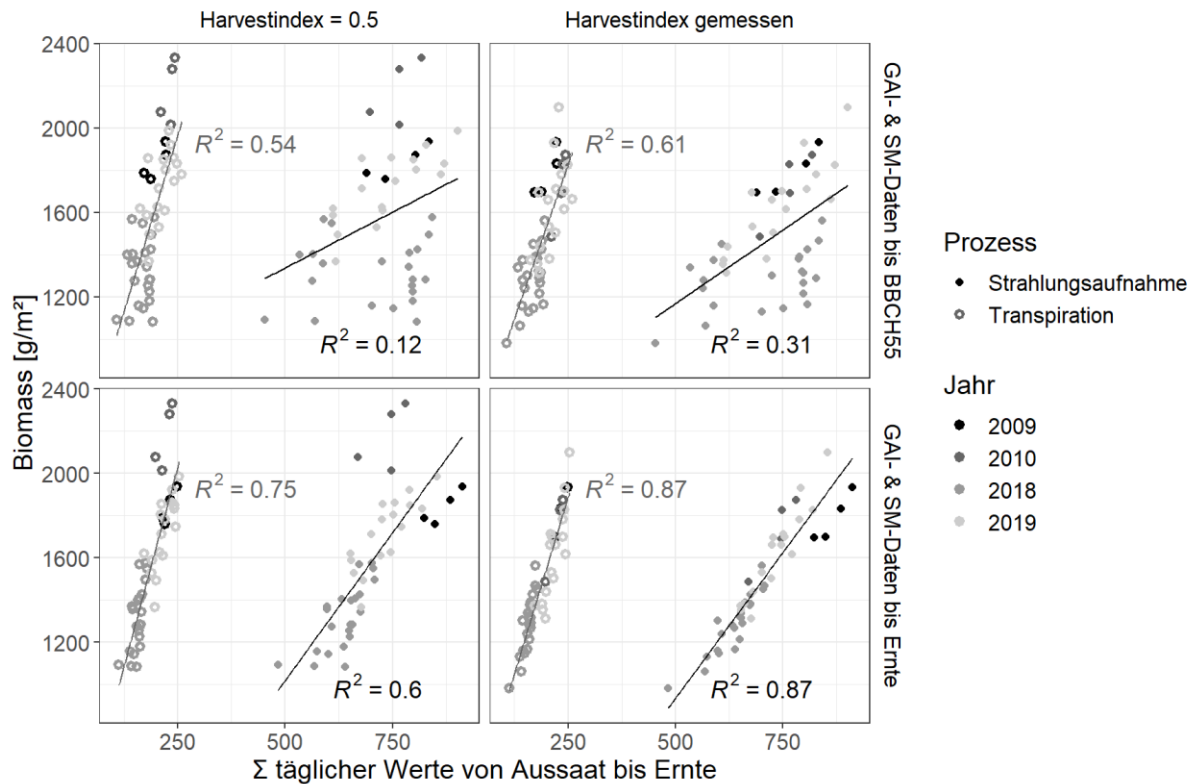


Abb. 1: Korrelation von finaler Biomasse und kumulativer Strahlungsaufnahme bzw. kumulativer Transpiration. Zum besseren Vergleich wurde der Datensatz hier auf die Jahre reduziert, in denen HI-Daten und GAI- & SM-Daten bis zur Ernte vorliegen.

Durch ihre Abhängigkeit von GAI-Daten nach BBCH55 kann die Strahlungsaufnahme zum Zeitpunkt der dritten Düngegabe keine gute Ertragsprognose liefern. Die Transpiration performt demgegenüber deutlich besser. Die besten Resultate liefert das auf Tagesschritt-Ebene berechnete, kumulative Verhältnis von Transpiration und potentieller Evapotranspiration. Die Prognose zu diesem Zeitpunkt profitiert hierbei von SM-Daten, liefert aber auch nur auf der Basis von GAI-Verläufen gute Ergebnisse (relativer MAE < 10 %). Das ist im Sinne der Anwendung eine wichtige Erkenntnis, da GAI-Daten drohnen-basiert relativ schnell und präzise erhoben werden können (Bukowiecki et al. 2020), während SM-Datenerhebung wesentlich komplizierter ist, insbesondere in einer für teilflächenspezifische Anwendungen ausreichenden Auflösung (Khanal et al. 2020).

Literatur

- Bukowiecki, J., Rose, T., Ehlers, R., & Kage, H. (2020). High-throughput prediction of whole season green area index in winter wheat with an airborne multispectral sensor. *Frontiers in plant science*, 10, 1798.
- Kage, H., Stützel, H., Donatelli, C. S. M., Villalobos, F., & Villar, J. M. (1999). HUME: an object oriented component library for generic modular modelling of dynamic systems. *Modelling cropping systems. European Society of Agronomy*, Lleida, Spain, 299-300.
- Khanal, S., KC, K., Fulton, J. P., Shearer, S., & Ozkan, E. (2020). Remote sensing in agriculture - accomplishments, limitations, and opportunities. *Remote Sensing*, 12(22), 3783.

Breeding progress in wheat and rye contributes to climate change mitigation in Germany

Riedesel, L.¹, Laidig, F.², Hadasch, S.², Rentel, D.³, Hackauf, B.⁴, Piepho, H.-P.² and Feike, T.¹

¹Institute for Strategies and Technology Assessment, Julius-Kühn-Institute (JKI), Kleinmachnow

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

³Bundessortenamt, Hannover

⁴Institute for Breeding Research on Agricultural Crops, Julius Kühn-Institute (JKI) Groß Lüsewitz

E-Mail: ludwig.riedesel@julius-kuehn.de

Introduction

Global agricultural production is increasingly faced with the challenge of producing more while emitting fewer greenhouse gas emissions. To overcome this conflict, many studies suggest to increase productivity of land to deliver significant emission mitigation; firstly, by avoiding conversion of non-agricultural land and secondly, by reducing GHG intensity of agricultural products (e.g., Bennetzen et al., 2016). In that way, the increasing demand could be met through a smaller carbon footprint (CFP) per unit of product using less land (IPCC 2019). However, to achieve a reduction of CFPs, agricultural yield increases would need to overcompensate potentially increasing emissions per unit land. In this regard, plant breeding is seen as the “driving force” of the past yield increases across major arable crops cultivated in the EU (e.g., Laidig et al., 2017). However, no study has yet examined the contribution of crop breeding to agricultural emissions over the past decades. Therefore, the aims of this study are i) to analyse GHG emissions of wheat and rye production from cradle to farm gate, to identify primary contributors; (ii) assess the climate effects of crop protection intensity, farm size, and breeding type (rye); iii) evaluate trends of GHG emissions, yields and CFPs to evaluate the contribution of breeding progress to climate protection over time.

Material and Methods

The data set used in this study was kindly provided by the German “Federal Plant Variety Office”. It contains experimental data obtained during 1983-2019 on newly tested crop varieties to be released to the German market. Before registration, all new varieties are tested for their “value for cultivation and use” (VCU) at multiple locations in Germany over a period of three testing years and two input intensities, i.e., I1: without fungicides and reduced growth regulators; I2: full crop protection intensity. The study conducts a partial life cycle assessment (LCA), which summarises all relevant relationships and emission factors (EFs) for all emissions along the production chain of the VCU data set. The LCA evaluates two functional units: (1) GHG emissions per hectare ($\text{kg CO}_2\text{e ha}^{-1}$) and (2) carbon footprint ($\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$).

The results of the LCA were statistically evaluated using mixed models. The genetic fixed effect variable is associated with the first year in which the *i*-th genotype entered the testing trials (FYT). The genetic trend is expected to reveal (positive) breeding progress as all varieties were positively evaluated regarding their (additional) VCU before their release to the market. The effects of genotype, location, harvesting year, input intensity, year of testing and their interactions were controlled for as random effects. We applied the statistical strategy of a backward elimination,

to improve the models' predictive performances and derived the adjusted means of yield, GHG emissions and CFPs using post-hoc tests.

Results and Discussion

We clearly identified N fertilisation as the primary contributor to GHG emissions. Nitrous oxide (N₂O) emissions (~50%) and emissions caused by manufacture of N fertiliser (~30%) together account for over 80% of total wheat and rye GHG emissions. The applied amounts of N fertiliser and consequently N fertiliser production emissions remained relatively constant over time, while grain yields continued to increase. This indicates improved N use efficiency (NUE) of modern varieties. Diesel emissions account for the third-largest share (8-10%) of total agricultural emissions. Seed production emissions rank at fourth and are about twice as high for wheat (4-5%) than for rye (2-3%). The emissions for pesticide and machinery production are marginal.

Regarding plant protection intensity, we observe that full fungicide and growth regulator application (I2) led to 14% (wheat) and 16% (rye) higher yields compared to reduced application. At the same time, GHG emissions were 6% (wheat) and 10% (rye) higher in I2 compared to I1. However, higher yields in I2 overcompensate the additional GHG emissions. Consequently, CFPs are 8-9% lower in I2 than in I1 for both crops. We furthermore observed decreasing CFP and GHG emissions with increasing farm size. Larger farms' larger machinery has a higher area efficiency and fewer turning points, i.e., less ineffective fuel consumption, compared to small farms. Moreover, we detect that higher yields of hybrid varieties (+13%), overcompensated the resulting higher GHG emissions (+4%), leading to lower CFPs (-9%) and hence reduced climate impact in hybrid compared to population varieties.

The genetic progress manifests in a yield increase of +1.0% in wheat and +0.4 to +0.8% in rye with every FYT. These yield increases directly trigger GHG increases of +0.15 to +0.26% (wheat) and +0.1 to +0.28% (rye) per FYT. However, despite increasing GHG emissions per unit land, CFPs decrease by -0.36% to -0.62% (wheat) and -0.25 to -0.48% (rye) per FYT. Hence breeding progress significantly reduced CFPs of wheat by -20 to -30% and rye by -10 to -20% during 1983/1985 and 2019. Moreover, the exponential yield increase of the hybrid varieties compared to the more linear yield increase of the population varieties leads to significantly lower CFP levels and a stronger decrease in CFPs of hybrid varieties over time.

Acknowledgement

This research was conducted in the frame of the project RYE-SUS funded by the ERA-NET Cofund SusCrop (Grant N°771134; BMBF 031B0812B).

References

- Bennetzen, E.H., Smith, P., & Porter, J. R. (2016). Decoupling of Greenhouse Gas Emissions from Global Agricultural Production: 1970–2050. *Global Change Biology* 22(2), 763–81. <https://doi.org/10.1111/gcb.13120>.
- 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.
- Laidig, F., Piepho, H.-P., Rentel, D., Drobek, T., Meyer, U., & Huesken, A. (2017). 'Breeding Progress, Environmental Variation and Correlation of Winter Wheat Yield and Quality Traits in German Official Variety Trials and on-Farm during 1983–2014'. *Theoretical and Applied Genetics* 130(1), 223–45. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2810>.

Early nitrogen availability improves yield stability in winter wheat by stimulating canopy development

Tien-Cheng Wang^{1,2}, Hartmut Stützel² und Tsu-Wei Chen¹

¹Albrecht Thaer Institut/ Humboldt Universität zu Berlin, Berlin; E-Mail: wangtien@student.hu-berlin.de

²System Modellierung Gemüsebau/ Leibniz Universität Hannover, Hannover.

Einleitung

Yield stability is essential for crop production and food security (Powell et al. 2012; Macholdt and Honermeier 2017; van Frank et al. 2020) but the physiological mechanisms behind the complex interactions between genotypes and environments to achieve yield stability is still unclear (Pedro et al. 2011). Here we hypothesize that 1) physiological mechanisms related to high pre-anthesis carbon and nitrogen accumulation improve yield stability in winter wheat and 2) these physiological mechanisms can be stimulated by agronomic management, e.g. increased early nitrogen availability.

Material und Methoden

Hypothesis were validated with two years (2018-2020) field experiments including eight elite wheat cultivars with similar yield level but contrasting yield stability were conducted in experimental field at Ruthe, Hannover, Germany. To investigate the effect of agronomical management on the canopy development, three treatments were considered. 1) total nitrogen: two levels (176 and 220 kg N/ha, representing 80% and 100% of optimum nitrogen, respectively) of application generate differences in total nitrogen amount at stem elongation stage; 2) application time: two levels (split and unite, referring to split the half fertilizer at heading stage to sowing stage or apply full amount at heading stage, respectively) resulted in differences of nitrogen availability at sowing stage; 3) sowing date: two levels (early and late, two weeks in between) of sowing dates create canopy size deviation at vegetative stage in spring.

During the growth season, biomass and nutrient status (soluble carbohydrate and nitrogen) of different organs (straw and ear) were collected at six developmental stages (tiller, stem elongation, booting, heading, flowering, mature). Canopy traits including leaf area index (LAI), light interception (LI), tiller number, SPAD and green canopy duration (GCD) were measured weekly. Yield components including spike number, grain number, thousand kernel weight (TKW) were investigated during the harvest.

Self-developed R-package '*toolStability*' was used in the calculation of stability indices (SI). In this study, genotypic superiority measure (P_i , Lin and Binns 1988) were used as a measure for the estimation of yield stability. In addition to the SI of genotype (P_i , i for genotype), we firstly introduce the SI of management (P_j , j for management), which can be used for the evaluation of treatment sensitivity across genotypes. Network analysis was performed based on the correlation between SI of yield and canopy traits.

Ergebnisse und Diskussion

Among all agronomical managements, combining optimum nitrogen level (220 kg N/ha), early sowing date and split application at sowing stage produced the highest

yield stability ($P_{j,yield}$). The effect of single management treatments on $P_{j,yield}$ varied with total nitrogen scenarios (Figure 1). Under optimum total nitrogen treatments, early sowing date has higher impact on $P_{j,yield}$ than early application time. While in the 80% optimum total nitrogen (e.g., Organic farming) scenario, early application time weight over the influence of sowing date on $P_{j,yield}$. In addition, the stability of a canopy trait, $P_{j,LAI}$ at flowering, was found highly correlated ($R^2=0.81$) with $P_{j,yield}$ (Figure 2), which suggested the close relation of stable canopy development and stable yield. For $P_{j,LAI}$ at flowering, application time has higher influence on $P_{j,LAI}$ at flowering than sowing date in both total nitrogen scenarios. Further analyses suggested that early nitrogen availability stimulated straw biomass accumulation by stable canopy development and increasing pre-anthesis nitrogen accumulation in the canopy. In summary, this work revealed the differences in yield stability between agronomical managements and the positive effects of early nitrogen availability on stimulating physiological mechanisms related to pre-anthesis nitrogen accumulation, canopy development and yield stability.

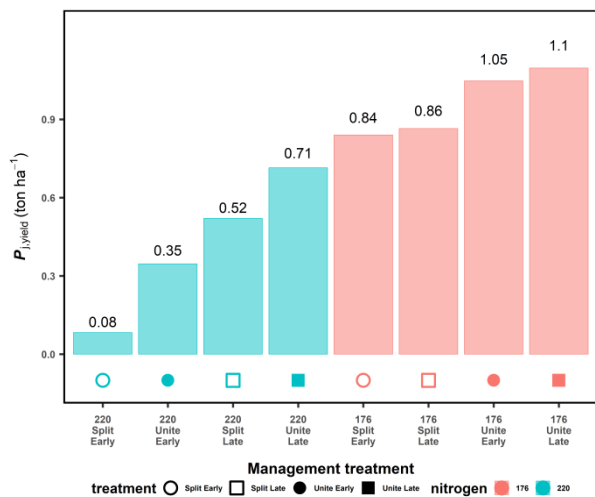


Figure 1. Comparison of the effect of agronomical management treatment on

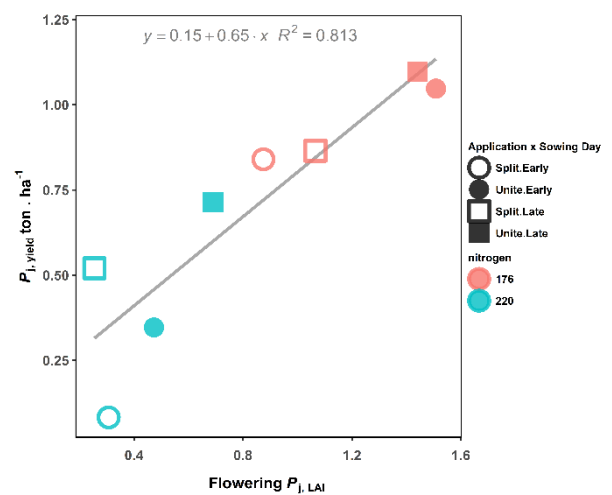


Figure 2. Scatterplot of $P_{j,yield}$ and $P_{j,LAI}$ at Flowering.

Literatur

- Lin, C. S.; Binns, M. R. (1988): A superiority measure of cultivar performance for cultivar \times location data. In *Canadian Journal of Plant Science* 68 (1), pp. 193–198. DOI: 10.4141/cjps88-018.
- Macholdt, Janna; Honermeier, Bernd (2017): Yield Stability in Winter Wheat Production: A Survey on German Farmers' and Advisors' Views (7) (3).
- Pedro, Anna; Savin, Roxana; Habash, Dimah Z.; Slafer, Gustavo A. (2011): Physiological attributes associated with yield and stability in selected lines of a durum wheat population. In *Euphytica* 180 (2), pp. 195–208. DOI: 10.1007/s10681-011-0352-y.
- Powell, Nicola; Ji, Xuemei; Ravash, Rudabe; Edlington, Jane; Dolferus, Rudy (2012): Yield stability for cereals in a changing climate. In *Functional Plant Biology* 39 (7), pp. 539–552. DOI: 10.1071/FP12078.
- van Frank, Gaëlle; Rivière, Pierre; Pin, Sophie; Baltassat, Raphaël; Berthelot, Jean-François; Caizergues, François et al. (2020): Genetic Diversity and Stability of Performance of Wheat Population Varieties Developed by Participatory Breeding (12) (1).

Umweltwirkungen mechanischer, chemischer und mechanisch-chemischer Unkrautregulierung in Zuckerrüben

Olga Fishkis und Heinz-Josef Koch

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

Einleitung

Die mechanische Unkrautkontrolle spielt derzeit in Zuckerrüben eine untergeordnete Rolle. Mittlerweile sinkt aber die Zahl verfügbarer Herbizide und der politische Druck auf die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln steigt. Gleichzeitig wurden neue Techniken für die Unkrautbekämpfung entwickelt wie z.B. Roboter, die in der Reihe und zwischen den Reihen hacken können. Aus diesen Gründen dürfte das Hacken zukünftig zunehmend Anwendung finden. Unklar ist, welche Umweltwirkungen von Verfahren mechanischer Unkrautbekämpfung ausgehen. Diese wurden bislang jedoch noch nicht untersucht. Daher ist es das Ziel dieser Studie, die Umweltwirkungen mechanischer, chemischer und mechanisch-chemischer Unkrautregulierung umfassend zu ermitteln.

Material und Methoden

Feldversuche wurden an 5 Standorten nahe Göttingen in 2019-2021 durchgeführt. Dabei wurden an jedem Standort 3 Unkrautbekämpfungstechniken in 4 Wiederholungen getestet: (1) Hacken zwischen den Reihen und in der Reihe, (2) Hacken zwischen den Reihen und Bandspritzung in der Reihe, (3) Flächenspritzung. Die Parzellen waren 18 (24) m x 24 (30) m groß. Die Aussaat der Zuckerrüben erfolgte nach Zwischenfrucht (Senf) in Hangrichtung. Die Hangneigung variierte zwischen 0 und 10%. Nach der Unkrautkontrolle vor dem Reihenschluss wurden auf 2 m² großen Flächen in Parzellen mit mechanischer und chemischer Unkrautkontrolle Regensimulationen durchgeführt, um Oberflächenabfluss und Bodenabtrag zu messen. Dabei wurde Wasser mit einer Intensität von 1-1.5 mm/min 20 min lang mit einer Schwenkdüse ausgebracht und das von der Fläche abfließende Wasser mit suspendierten Partikeln im Minutentakt aufgefangen. Im Oktober vor der Ernte wurde ein Regenwurmfang an 4 Stellen 0,5 m x 0,5 m pro Parzelle mit der Formalin-Methode durchgeführt. Die Anzahl und Biomasse an Adulten und Jungtieren jeder Art wurde bestimmt. Der Verbrauch von Diesel, die Kosten und der Zeitaufwand für die mechanische, chemische und kombinierte Unkrautbekämpfung wurde mithilfe des Webtools „Leistung-Kostenrechnung Pflanzenbau“ des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) abgeschätzt. Im Falle konventioneller Flächenspritzung wurden folgende Optionen gewählt: Zuckerrüben, nichtwendend, Kreiselegge, Saat, konventionell/integriert, Schlaggröße 10 ha, Ertragsniveau mittel, mittlerer Boden, 67-kW-Mechanisierung, Hof-Feld-Entfernung 3 km. Im Falle der mechanischen Unkrautkontrolle wurde als Wirtschaftsart „ökologisch“ und als Anbausystem „nichtwendend Gründüngung“ gewählt. Die weiteren Kriterien waren identisch mit der chemischen Unkrautbekämpfung. Der Energieaufwand bei der Herstellung und Unterhaltung von Maschinen und Anlagen wurde ebenfalls dem KTBL Rechner entnommen. Die mit der Herstellung und Nutzung von Diesel und Herbiziden verbundenen Energieverbräuche und CO₂-Emissionen wurden aus Diesel- und Herbizidverbrauch mithilfe von Biograce (Version 4d: Standard Values <https://www.biograce.net/home> 07.05.2021) berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Der Einfluss der mechanischen Unkrautkontrolle auf den kumulativen Oberflächenabfluss und Bodenabtrag war stark abhängig von Standort und Jahr (Abb.1). In Obern19 hatte das Hacken eine stark reduzierende Wirkung auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag. Der Grund hierzu war eine ausgeprägte Bodenverkrustung, die durch das Hacken gebrochen wurde. So wurde die Infiltration erhöht und der Bodenabtrag reduziert. Im Jahr 2020 lag dagegen keine Verkrustung vor. Deshalb hatte das Hacken keinen signifikanten Einfluss auf Oberflächenabfluss und Bodenabtrag. Die Anzahl der Jungtiere von *L. terrestris* wurde nur an einem der vier untersuchten Standorte signifikant durch das Hacken reduziert.

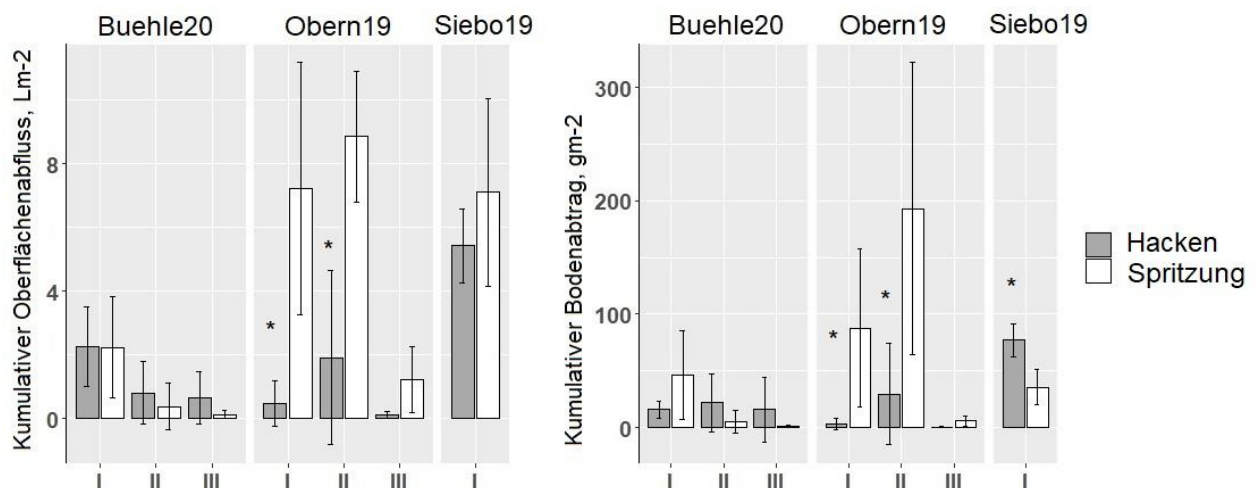


Abb. 1: Kumulativer Oberflächenabfluss und Bodenabtrag während einer 20 Minuten langen Starkregensimulation an drei Standorten.

Die mechanische Unkrautkontrolle verwendet zwar keine Herbizide und minimiert damit toxikologisches Risiko für die Umwelt, hat aber einen deutlich höheren Dieserverbrauch zur Folge. Energieverbrauch und CO₂-Emissionen sind für 3x Hacken + 2x Handhacken um 44 % höher und für 1x Striegeln + 2x Hacken + 1x Handhacken um 1.5% niedriger als bei der Flächenspritzung (Tabelle 1).

Tab. 1: Rohstoffverbrauch und CO₂-Emissionen für verschiedene Unkrautbekämpfungsmethoden.

	3x Flächen- spritzung	3xBand+ 3xHacke	3x Hacke + 2x Handhacke	1x Striegel+ 2x Hacke+ 1x Handhacke
Herbizides, kg ha ⁻¹	4.2	1.8	0.0	0.0
Diesel, L ha ⁻¹	3.2	17.8	23.5	16.0
Time, h ha ⁻¹	0.8	3.6	166.7	87.8
Costs, € ha ⁻¹	362.7	313.1	2317.2	1257.1
Fossil Energy, MJ ha ⁻¹	1418.6	2106.9	2043.5	1396.9
CO ₂ eq., kg ha ⁻¹	124.3	184.6	179.1	122.43

Das Projekt EvaHerb wurde gefördert durch das BMEL aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (BÖLN).

Pflanzenbau-Lehre mit der freien Software *CMap Tools*

Eike Stefan Dobers

Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften,
Neubrandenburg, Email: dobers@hs-nb.de

Einleitung

Die Lehre des Pflanzenbaus an Hochschulen kombiniert verschiedene didaktische Formate für die Vermittlung von theoretischen Inhalten und praktischen Erfahrungen. Die Studierenden sollen sowohl Fakten und Details als auch Wissen über Prozesse des Wachstums, der Entwicklung und Ertragsbildung erlangen und anwenden können. Oft situativ entstehende Lehrgespräche, und daher *per se* schwer planbare, Lehrgespräche zwischen Studierenden und Lehrenden sind ein wichtiger Bestandteil für das Verständnis, die Einübung und Festigung des Erlernten. Daher sind in ihrem Ablauf „lineare Vorträge“ mit Folien dafür meist unbefriedigend, was sich in den Pandemie-bedingten Online-Veranstaltungen 2020 und 2021 besonders zeigte.

Die Erstellung von Konzeptkarten (*concept mapping*) ist eine bereits viele Jahrzehnte bekannte didaktische Methode, um die Struktur von Wissensgebieten und wechselseitige Abhängigkeiten zwischen Konzepten und Begriffen explizit zu machen (Novak & Cañas 2006). Im Rahmen von unterschiedlichen Modulen für Bachelor- und Master-Studierende wurden seit dem Sommer 2020 Konzeptkarten in der Pandemie-bedingt v.a. online stattfindenden Lehre mit pflanzenbaulicher Ausrichtung verwendet und als didaktisches Hilfsmittel mit der freien Software *Cmap Tools* (<https://cmap.ihmc.us/cmaptools/>) erprobt.

Material und Methoden

Die wohl wichtigsten Unterschiede zwischen dem bisher eher selten in der Pflanzenbaulehre anzutreffenden *concept mapping* und der deutlich bekannteren Methode des *mind mapping* oder auch klassischen Flussdiagrammen (Abb. 1, links) sind einerseits die Möglichkeit, vielseitige Verknüpfungen zwischen einzelnen Stichworten und Konzepten zu erstellen, so dass ein großes Geflecht entsteht, das nicht nur hierarchisch strukturiert ist, wie bei einer klassischen *mind map*. Auf einer Konzeptkarte kann man daher von verschiedenen Startpunkten aus beginnen, das jeweilige Thema zu durchschreiten, und sieht aufgrund der graphischen Darstellung auch immer die Position innerhalb des „großen Ganzen“, was meist ebenso mit Strukturdiagrammen möglich ist. Andererseits erfordern *concept maps* sogenannte *propositional statements* als sinnvolle semantische Verknüpfungen zwischen den Konzepten und zwingen die erstellende Person dadurch, die Art der Beziehung zwischen zwei Konzepten explizit zu machen. Dies ist ein bedeutender Unterschied zu sowohl *mind maps* als auch Flussdiagrammen und für die Lehre von großer Bedeutung. Man kann sich daher eine Konzeptkarte als eine große Verknüpfung von einfachen aber klar formulierten Sätzen vorstellen, so dass auch Prozesse und Wechselwirkungen zwischen den Konzepten klar benannt werden (müssen) (Abb. 1, rechts). Zusätzlich kann auf einfache Weise Detail- und Faktenwissen integriert werden (Zahlen, Definitionen, usw.). Dies macht Konzeptkarten einerseits deutlich leichter nachvollziehbar, z.B. als bereit gestelltes Lehrmaterial, als Ergebnis eines Lehrgesprächs oder einer Textarbeit. Ebenso sind Konzeptkarten aber auch überprüfbar bzw. die *statements* regen zur Diskussion an, so dass Gruppenarbeit von Studierenden befördert wird und das Verständnis eines/r Studierenden zu einer

spezifischen Frage effizient sichtbar gemacht werden kann. Zudem kann eine mit *Cmap Tools* erstellte Konzeptkarte mit weiteren digitalen Dokumenten, Links, Bildern etc. angereichert werden, die aus der Karte heraus aufgerufen werden können (siehe auch Novak, Cañas 2007).

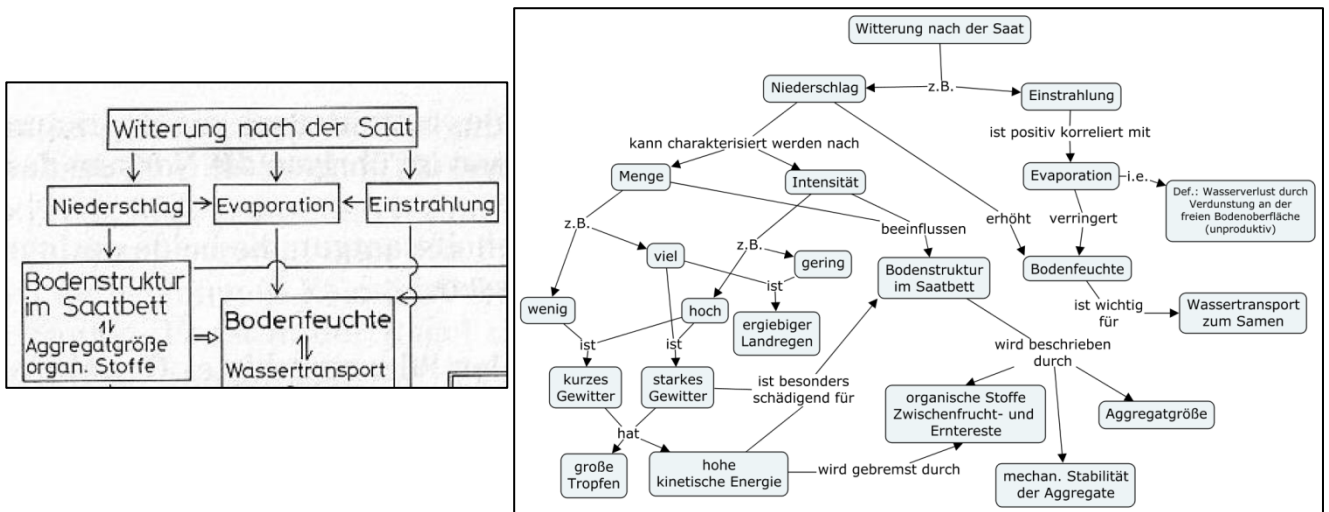


Abb. 1: Ausschnitt eines pflanzenbaulichen Flussdiagramms zu „Faktoren, die den Feldaufgang bestimmen“ (Beispiel aus Baeumer 1992, S. 135) und einer beispielhaften Umsetzung und Erweiterung als Konzeptkarte

Ergebnisse und Diskussion

Konzeptkarten und *Cmap Tools* wurden sehr vielseitig und grundsätzlich erfolgreich als didaktische Methode eingesetzt (Vorlesungen, Lehrgespräche, Brainstorming und anschließendes Sortieren, Strukturieren und Verknüpfen). Die am stärksten beeindruckenden Effekte zeigten sich bei der Verwendung für die Vorbereitung auf mündliche Prüfungen, wenn Studierende (auch in Lerngruppen) zu 10-12 vorgegebenen Fokusfragen eigene Konzeptkarten entwickeln(, hochladen) und in der Prüfung als Startpunkt des Prüfungsgesprächs nutzen durften. Einerseits führte die Notwendigkeit des Formulierens von *propositional statements* zu einem gesteigerten Argumentieren in Prozessen seitens der Studierenden. Andererseits boten gerade diese, manchmal gewagten oder fehlerhaften, *statements* in den Karten der Prüflinge sehr gute Startpunkte in ein ergiebiges Prüfungsgespräch. Es war eine deutliche Abkehr der Studierenden vom reinen und wenig verknüpften Auswendiglernen zu stark prozessorientiertem Denken erkennbar. *Cmap Tools* beförderte das klare und explizite Denken und regte zu vielfältigen Diskussionen an.

Literatur

Baeumer, K. 1992: Allgemeiner Pflanzenbau. 3. überarb. und erw. Auflage. Stuttgart: Ulmer.

Cañas, A. J. Hill, G., Carff, R., Suri, N., Lott, J., Gómez, G., Eskridge, T., Arroyo, M., Novak, J. D., Cañas, A. J. 2006: The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them, Technical Report IHMC CmapTools 2006-01, Institute for Human and Machine Cognition (IHMC).

Novak, J. D., Cañas, A. J. 2007: Theoretical Origins of Concept Maps, How to Construct Them, and Uses in Education, Reflecting Education Online Journal, Vol 3, No 1-2.

Methodology and indices for the spatial evaluation of different planting patterns

Robin Lieb¹, Lorenz Kottmann², Daniel Hermann³, Stefan Posch⁴ and Til Feike¹

¹Institute for Strategies and Technology Assessment, Julius Kühn-Institut (JKI) | Federal Research Centre for Cultivated Plants, Kleinmachnow; ²Institute for Crop and Soil Sciences, Julius Kühn-Institut (JKI) | Federal Research Centre for Cultivated Plants, Braunschweig; ³Institute for Application Techniques in Plant Protection, Julius Kühn-Institut (JKI) | Federal Research Centre for Cultivated Plants, Braunschweig; ⁴Institute for Computer Science, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
E-Mail: robin.lieb@julius-kuehn.de

Introduction

An optimized spatial planting pattern can help to minimize negative intraspecific competition for light, nutrients and water. Furthermore, the competitiveness against weeds can be increased and an improved microclimate may help reduce diseases. In addition to the conventional drill seeding technique, where the seeds are placed rather randomly within the row, there are now single grain seed drills, with more precise spacing within the row as well as prototypes of precision sowing machines, which enable an equidistant planting pattern.

So far, there is a lack of methods and criteria to assess and evaluate the spatial pattern of different sowing techniques in the field. Therefore, we developed a standardized and reproducible approach and respective indices.

Material and Methods

The methods were developed and tested building on two field experiments. First, a winter wheat experiment conducted in Berlin-Dahlem testing conventional vs. equidistant sowing since 2018. Second, an experiment conducted in Dahnsdorf in Southwest Brandenburg, testing winter wheat and winter rye in conventional vs. single grain sowing since 2019. Photos of the planting pattern realized by different sowing techniques were taken just after emergence (BBCH 9) using a RGB-camera mounted on a standardized photo-frame (0,25m²). The photos were processed using the GIS-software ArcGIS, tagging each point of plant emergence. Using Voronoi partitioning the theoretical planting space was allocated as a polygon to each plant (*cf.* Fig. 1).

Results and Discussion

Following indices relevant for spatial evaluation were derived: (i) number of plants, (ii) mean space per plant, (iii) coefficient of variation of space per plant (CVSP), as well as (iv) mean polygon-circle-ratio (MPCR), i.e., mean roundness/compactness of polygons. CVSP describes the evenness of the single plants' spaces in the different planting patterns. MPCR describes the mean of the ratio of the area of the individual plants' polygons to a circle of equal edge length; it ranges theoretically between zero and one. These indices enable a comparison of actual vs. target state and in combination, they allow a comprehensive comparative evaluation of different planting patterns.

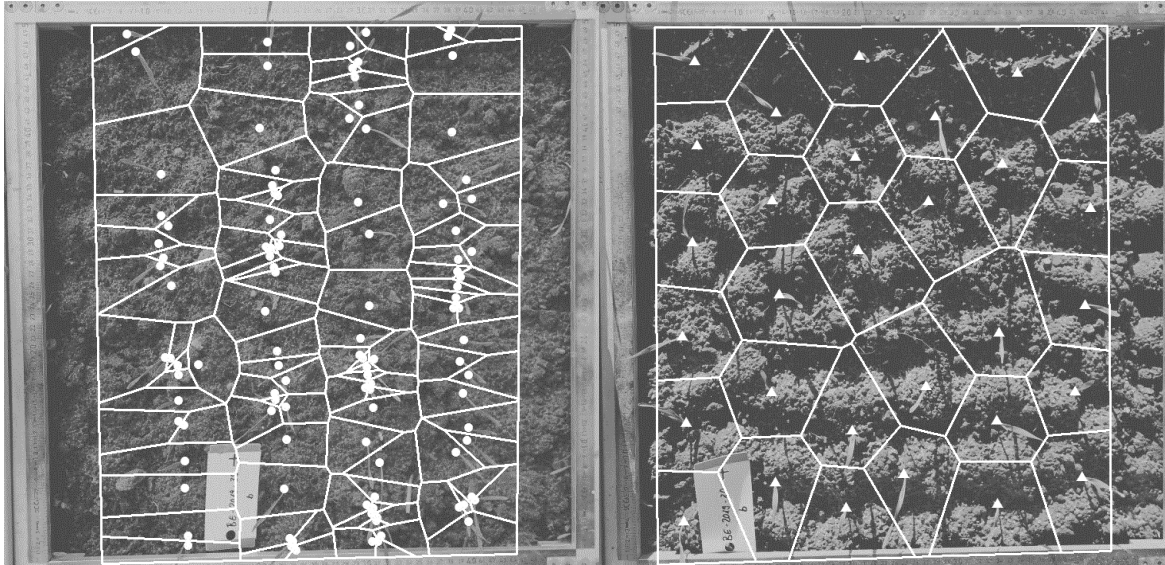


Figure 1. Planting pattern of conventional drill seeding (left) and equidistant single seeding (right). Points and triangles depict the point of single plant emergence from soil; polygons describe the theoretically available growth space of the individual plants.

Comparing the different sowing techniques, we find that the equidistant planting pattern outperforms the conventional and the single grain seed drill regarding both the roundness/compactness of polygons (MPCR) as well as the evenness of the single plants' spaces (CVSP). This can be explained by the uniform distances within the row as well as between adjacent rows.

Comparing the conventional and single grain seed drill we find an improved evenness (CVSP) but not an improved roundness of plant space (MPCR) in the single seed vs. conventional sowing technique. This shows that the employed single grain seed drill improved the spatial distribution of the seeds within each row, but not between the rows. Hence, the single seed system can only be called a precision seeding system within restrictions. The determined advantage of the equidistant single seeding calls for intensified efforts to develop respective high-performance equidistant single seed sowing machinery.

As the manual tagging of each plants emergence is very laborious and hence has its limitations regarding large-sale applications in experimental and practical agronomic applications, we are currently working on an AI-assisted image-recognition approach for tagging plant emergence.

Acknowledgments

This research was funded in the frame of the Agricultural Systems of the Future project NOcPS – Agriculture 4.0 without chemical synthetic plant protection (BMBF 031B0731C).

Enhanced soybean productivity by inoculation with locally isolated *Bradyrhizobium* strains in cool growing conditions

Richard A. Omari^{1,2}, Moritz Reckling¹, Mosab Halwani¹ and Sonoko Bellingrath-Kimura^{1,2}

¹Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg, Germany; ²Faculty of Life Sciences, Humboldt-University of Berlin, 10115 Berlin, Germany. E-Mail: Richard.omari@zalf.de

Introduction

Soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) consumption as food and feed for livestock in Europe has increased significantly in the last few decades, although domestic production has increased marginally. The EU encourages domestic grain legume production to reduce reliance on imports from the Americas, to minimize the negative environmental impacts associated with intensive cereal production (Cernay et al., 2015), and to diversify cropping systems. Although commercial rhizobia strains have been used in the past to inoculate field-grown soybean plants in Germany, nodulation efficiency has often been low compared to the origin where the strains were isolated. To enhance biological nitrogen (N) fixation and increase domestic legume production, native or established rhizobia strains that can effectively adapt to local conditions could be targeted for the development of inoculants. Yuan et al., (2020) successfully isolated promising rhizobia strains from arable fields in Northern Germany. These strains showed high symbiotic potentials with soybean in cold conditions. However, their effectiveness on soybean productivity has not yet been tested in field conditions. The objective of this study was to assess the ability of locally isolated *Bradyrhizobium* strain(s) to enhance soybean productivity in varying growing conditions of Northeast Germany.

Materials and Methods

Greenhouse and field experiments were conducted at the experimental site of the Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, Müncheberg, Germany in 2019. The soil in the area is classified as Podzoluvisol to Arenosol. Soils for both studies were from sites with no previous soybean cropping history. The area is characterized by spring droughts and dry summers with a mean annual temperature of 8.5 °C and annual long-term precipitation of 533 mm. In the greenhouse experiment, three *Bradyrhizobium* strains (GMF14, GMM36, GEM96) plus a reference strain (*Bradyrhizobium diazoefficiens* USDA110), each containing a minimum of 2×10^8 cells ml⁻¹ were inoculated to soybean seeds (cv. Sultana; 000) under irrigated and drought conditions. Non-inoculated soybean seeds were used as a control. The pots were arranged in a randomized block design and each treatment was replicated four times. In the field experiment, the three isolates (GMF14, GMM36, GEM96), commercial inoculant (USDA 110), and a non-inoculated control were tested in combination with three early maturing soybean cultivars (Siroca, Sultana, and Merlin) in a 5 × 3 factorial combinations of *Bradyrhizobium* and soybean cultivar, respectively. A similar inoculation procedure as in the greenhouse experiment was used. Each treatment was replicated six times.

Results and Discussion

Independent of the *Bradyrhizobium* strain, inoculated greenhouse-grown soybean plants showed high nodulation and that resulted in increased N uptake compared to field-grown soybean plants. Inoculation resulted in up to 68% higher shoot N uptake in the greenhouse and up to 39% in field conditions compared to the non-inoculated

control (Table 1 & 2). Consistently higher significant nodule number and nodule dry weights were observed in GMF14 and GMM36 under irrigated conditions. However, under drought conditions, minimal differences in nodulation were observed among the strains. Inoculation with strain GEM96 induced the highest nodulation in field conditions.

Table 1. Effects of Bradyrhizobium strains and moisture regimes on nodulation

Average values	Nodule dry wt. (g)	Nodule no.	Biomass wt. (g)	Shoot N (g kg ⁻¹)
Bradyrhizobia				
No inoculation	0.02 c	4.85 c	2.15 a	19.98 b
GMF14	0.14 ab	37.00 a	2.29 a	33.98 a
GMM36	0.16 a	31.50 ab	2.61 a	33.24 a
GEM96	0.08 bc	24.25 b	2.74 a	31.90 a
USDA110	0.13 ab	35.75 c	2.45 a	35.05 a
Moisture				
Drought	0.071 b	13.80 b	1.81 b	31.73 a
Irrigated	0.158 a	39.30 a	3.09 a	29.93 a

Values followed by the same letter(s) in each column are not significantly different at $p \leq 0.05$

Altogether, inoculation significantly increased protein content and grain yield up to an average of 24% and 32%, respectively compared to the non-inoculated control. While USDA110 was consistent in improving the grain yield of both Sultana and Siroca, GMM36 and GEM96 inoculation to Sultana and Siroca, respectively resulted in similar yields.

Table 2. Effects of Bradyrhizobium strains and soybean cultivar on nodulation and crop yield

Average values	Nodule dry wt. (g)	Nodule no.	Shoot N (g kg ⁻¹)	Protein content (g kg ⁻¹)	Grain yield (t ha ⁻¹)
Bradyrhizobia					
No inoculation	0.001c	0.60 c	15.22 d	326 c	0.99 d
GMF14	0.05 b	13.54 b	20.22 c	403 ab	1.20 c
GMM36	0.06 b	12.33 b	20.60 bc	391 b	1.25 c
GEM96	0.08 a	18.20 a	21.89 ab	412 a	1.38 ab
USDA110	0.06 b	13.02 b	21.91 a	408 a	1.40 a
Cultivar					
Siroca	0.60 a	12.11 a	20.62 a	407 a	1.27 b
Sultana	0.51 b	11.37 a	21.00 a	379 b	1.32 a
Merlin	0.47 b	11.15 a	18.27 b	378 b	1.12 c

Values followed by the same letter(s) in each column are not significantly different at $p \leq 0.05$

The ability of the present isolates to induce nodulation and enhance soybean yield to a similar extent as the standard strain in field conditions suggests their potential use as inoculum to increase soybean cultivation. There is a need to invest more in identifying more effective strains from sites with longer field-grown inoculated soybean cultivation histories as they could provide a means to expand the pool of inoculum resources in Europe.

Literature

- Cernay, C., Ben-Ari, T., Pelzer, E., Meynard, J. M., and Makowski, D. (2015). Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas. *Sci Rep* 5, 11171.
- Yuan, K., Reckling, M., Ramirez, M. D. A., Djedidi, S., Fukuhara, I., Ohyama, T., Yokoyama, T., Bellingrath-Kimura, S. D., Halwani, M., Egamberdieva, D., and Ohkama-Ohtsu, N. (2020). Characterization of Rhizobia for the Improvement of Soybean Cultivation at Cold Conditions in Central Europe. *Microbes Environ* 35, 1.

Beregnung von Ackerbohnen im Ökologischen Landbau: Effekte auf Kornertrag und N₂-Fixierung

C. Polkowski¹, J. Jungbluth¹, D. Neuhoff¹, R. Jung² und S. Siebert²

¹Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Abteilung Agrarökologie und Organischer Landbau, Universität Bonn

² Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Georg-August-Universität Göttingen

E-Mail: c.polkowski@uni-bonn.de

Einleitung

Die Ackerbohne (*Vicia faba*) spielt in ökologischen Fruchtfolgen eine wichtige Rolle als Eiweißpflanze. Die N-Fixierung und Ertragsleistung dieser Kulturart variiert jedoch vielfach standortabhängig. Ackerbohnen sind vor allem in der Blüh- und Kornfüllungsphase auf eine ausreichende Wasserversorgung angewiesen. Bedingt durch den Klimawandel zeichnet sich ein Trend zu vermehrter Trockenheit und zunehmend höheren negativen klimatischen Wasserbilanzen in den Monaten Mai bis Juli ab. Untersucht wurde die Wirkung einer zusätzlichen Beregnung auf den Ertrag und die biologische N₂-Fixierung von Ackerbohnen (zwei Jahre, drei Standorte). Die Projektförderung erfolgte im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖLN).

Material und Methoden

Die Feldversuche wurden 2019 und 2020 auf dem Campus Wiesengut der Universität Bonn (WG), dem Versuchsgut Deppoldshausen der Universität Göttingen (GD) sowie dem Betrieb ‚Biohof Büsch‘ aus dem Netzwerk Leitbetriebe Ökologischer Landbau NRW bei Weeze (WZ) durchgeführt. Die Standorte unterschieden sich hinsichtlich der klimatischen Bedingungen (langjähriger mittlerer Jahresniederschlag WG: 840 mm, GD: 650 mm, WZ: 740 mm) sowie hinsichtlich der Bodentypen (WG: Auensedimentböden, GD: Pararendzina, WZ: Sandböden). Es wurden standortbedingt verschiedene Bewässerungstechniken (Tröpfchenbewässerung und Überkopfberegnung) angewendet. Zudem wurden verschiedene Düngungsvarianten mit Phosphor, Kalium (PKS) und Mikronährstoffen (Blattdüngung, PKSM) appliziert. Die Sprossmasse wurde zum Zeitpunkt der Blüte (Miniplots) sowie zur Kornreife (Miniplots und Parzellendrusch) entnommen. Zu beiden Zeitpunkten wurde die Sprosstrockenmasse und die Anzahl der Triebe und Hülsen bestimmt. Zur Reife wurde weiterhin die Korntrockenmasse sowie das TKG ermittelt. Ferner wurden N-Gehalte und N-Isotopensignaturen in Spross und Korn gemessen. Die Berechnung der biologischen N₂-Fixierung erfolgte mittels der natural-abundance-Methode. Für die statistische Auswertung wurde die Open Source Software R (Version 4.0.3) verwendet. Die untersuchten Parameter wurden mit einer vierfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) zum Signifikanzniveau $\alpha=0,05$ auf den Einfluss der Faktoren Beregnung, Düngung sowie Standort und Jahr geprüft. Als Voraussetzung für die ANOVA wurde die Normalverteilung grafisch überprüft und die Varianzhomogenität mit Hilfe der varldent-Matrix erlaubt. Ein Tukey-Test ($\alpha=0,05$) wurde als Post-hoc Test verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Die zusätzliche Bewässerung führte zu einer statistisch signifikanten Steigerung des Sprosswachstums und des Kornertrages. Der Korntrockenmasseertrag wurde durch

Beregnung im Mittel aller Versuche um 89 % erhöht (Tab. 1). Maßgeblicher Grund hierfür war die beregnungsinduzierte mittlere Zunahme des Hülsenansatzes von 4,7 auf 7,0 Hülsen pro Pflanze sowie des TKG von 411 auf 460 g. Das höhere TKG kann als direkte Folge einer durch die Bewässerung deutlich verlängerten Blattflächendauer interpretiert werden. Weiterhin wurde die biologisch fixierte Stickstoffmenge (in kg N ha^{-1}) durch die Zusatzberegnung im Mittel aller Versuche verdoppelt (Tab. 1). Dieser Sachverhalt ist als pflanzenbaulich günstig einzustufen, da die fixierte N-Menge eng mit dem Stickstoffertrag korreliert. Letzterer nahm durch die Beregnung im Mittel aller Versuche um 66% zu. Höhere N_2 -Fixierleistungen von Leguminosen kommen insbesondere im Fall der innerbetrieblichen Verfütterung der Stickstoffbilanz des Betriebes und letztlich dessen Gesamtproduktivität zu Gute. Bei fast allen untersuchten Parametern wurde bedingt durch die unterschiedlichen Boden- und Klimabedingungen ein signifikanter Standorteffekt ermittelt. Vor allem die klimatischen Bedingungen in den Versuchsjahren führte zu den signifikanten Unterschieden. In beiden Jahren konnte eine negative klimatische Wasserbilanz in den Frühsommer-Monaten ermittelt werden, wobei die Bilanz z.T. bis zu -90 mm (GD, April 2020) pro Monat betrug. Diese konnte durch die Zusatzberegnung ertragssichernd ausgeglichen werden. Für alle Parameter (außer biologische N_2 -Fixierung) konnte zudem ein signifikanter Jahreseffekt festgestellt werden. Dies ist wiederum mit den vorherrschenden klimatischen Bedingungen erklärbar. Eine standortabhängige unbalanzierte Zusatzbewässerung könnte den Jahreseffekt beeinflusst haben WG 2019: 75 mm, WG 2020: 176 mm, GD 2019: 106 mm, GD 2020: 75 mm. Die Düngung mit PKS und Mikronährstoffen wies in keinem der Versuche eine ertragssteigernde Wirkung auf (Tab. 1). Grund dafür könnten die mangelnde Pflanzenverfügbarkeit der verwendeten Dünger (P) bzw. hinreichende Bodengehalte (K) gewesen sein. Der ausgebliebene Effekt der Mikronährstoff-Blattdüngung mit Wuxal Multimicro® kann mit den hinreichenden Bodengehalten (Stufe C, Ausnahme: Molybdän) erklärt werden. Zusatzberegnung zu Ackerbohnen hat sich somit als pflanzenbaulich vorteilhaft erwiesen. Derzeit wird geprüft, ob und unter welchen Bedingungen ökologisch angebaute Ackerbohnen aus betriebswirtschaftlicher Sicht beregnungswürdig sind.

Tab. 1 Einfluss der zusätzlichen Beregnung und Nährstoffversorgung auf den relativen Korn trockenmasseertrag (rel. TME) [100%: Bewässerung = $24,7 \text{ dt ha}^{-1}$, Düngung = $36,4 \text{ dt ha}^{-1}$, Standort = $29,1 \text{ dt ha}^{-1}$, Jahr = $24,5 \text{ dt ha}^{-1}$], den Kornstickstoffgehalt (N-Gehalt) und die biologisch fixierte Stickstoffmenge der oberirdischen Pflanzenteile (N_{fix}), gemittelt über die Faktoren Bewässerung, Düngung, Standort und Jahr. Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Tukey-Test, $\alpha=0,05$.

	Bewässerung		Düngung			Standorte		Jahr		
	ohne	mit	ohne	PKS	PKSM	GD	WG	WZ	2019	2020
Rel.TME (%)	100a	189,1b	100	100,6	93,7	115,1a	154,6b	100a	191,4a	100b
N-Gehalt (%)	4,54	4,33	4,54	4,45	4,50	3,98a	4,56b	4,83c	4,29a	4,70b
N_{fix} (kg N ha^{-1})	69,92a	127,43b	94,09	99,88	91,66	118,69b	87,65a	81,03a	115,87b	74,09a

Simulation von Optionen zur Reduzierung der Stickstoffauswaschung für den Handel mit virtuellen Ökosystemdienstleistungen

Claas Nendel^{1,2}, Anna C. Hampf¹, M. Reutter¹, M. Berg-Mohnicke¹, H. Pfeffer¹
und B. Matzdorf^{1,3}

¹Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Müncheberg

²Institut für Biochemie und Biologie, Universität Potsdam

³Institut für Umweltplanung, Leibniz-Universität Hannover

Einleitung

Deutschland steht unter hohem Druck, die Nitratemissionen aus der Landwirtschaft in die Gewässer weiter zu reduzieren. Derzeit ist der Zusammenhang zwischen beobachteten Nitratkonzentrationen in Brunnen in ganz Deutschland und der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung nicht ausreichend verstanden. Wir verwenden das mechanistische Agrarökosystem-Simulationsmodell MONICA auf einem Hochleistungs-Cluster-Rechner, um Pflanzenwachstum, Bewirtschaftung und die daraus resultierende Nitratauswaschung auf einer Hektarskala zu simulieren. Die Simulationen basieren auf exemplarischen Fruchtfolgen und einer Basisbewirtschaftung. Gegen diese Basislinie werden verschiedene Optionen zur Reduzierung der Nitratauswaschung getestet. Die Simulationen fließen in einen Online-Marktplatz für den Handel mit Ökosystemdienstleistungen ein.

Der AgoraNatura Online-Marktplatz (<https://agora-natura.de>) bietet Projekte zu Naturschutzmaßnahmen in Agrarlandschaften an und informiert potenzielle Unterstützer über die zu erwartenden Effekte auf Ökosystemleistungen. Neben Effekten auf Artenvielfalt, Bestäubungs- und Klimaleistung ist die potenzielle Reduzierung der Nitratausträge als Resultat der angebotenen Maßnahmen eine dieser Informationen. Interessierte Unterstützer (Privatleute, Unternehmen, Verbände, etc.) können Anteile (Zertifikate) an den Projekten erwerben, und somit die Maßnahmen finanziell unterstützen. Den Erwerb dieser Zertifikate können die Sponsoren wiederum zur Eigendarstellung verwenden.

Material und Methoden

Das Simulationsmodell MONICA (Nendel et al. 2011) rechnet massiv parallel auf einem 5.000-Kern-Clusterrechner. Wetter- und Phänologiedaten wurden aus dem 1 km²-Produkt des Deutschen Wetterdienstes (DWD) eingespeist. Simulationen für 2m tiefe Bodenprofile, basierend auf der BÜK250 Bodenkarte, wurden durchgeführt, um 30-Jahres-Mittelwerte auf 16,6 M Gitterzellen zu erzeugen. MONICA ist an einer Reihe von mehrjährigen Feldexperimenten kalibriert und getestet worden, die die Dynamik der Nitrat und Ammoniumwerte im Boden im Zusammenhang mit der N-Aufnahme der jeweiligen Fruchtfolge dokumentiert haben. Die Simulation des N-Austrags unterhalb der Wurzelzone basiert im Wesentlichen auf der Annahme, dass die erfolgreiche Reproduktion der Nmin-Bodenprofile auch für die Simulation der Tiefenverlagerung qualifiziert. N-Reduktion durch Denitrifikation unterhalb der Wurzelzone wird in MONICA nicht berücksichtigt. Die korrekte Simulation der N-Aufnahme durch die Pflanzen wird postuliert, wenn der Ertrag plausibel simuliert wird.

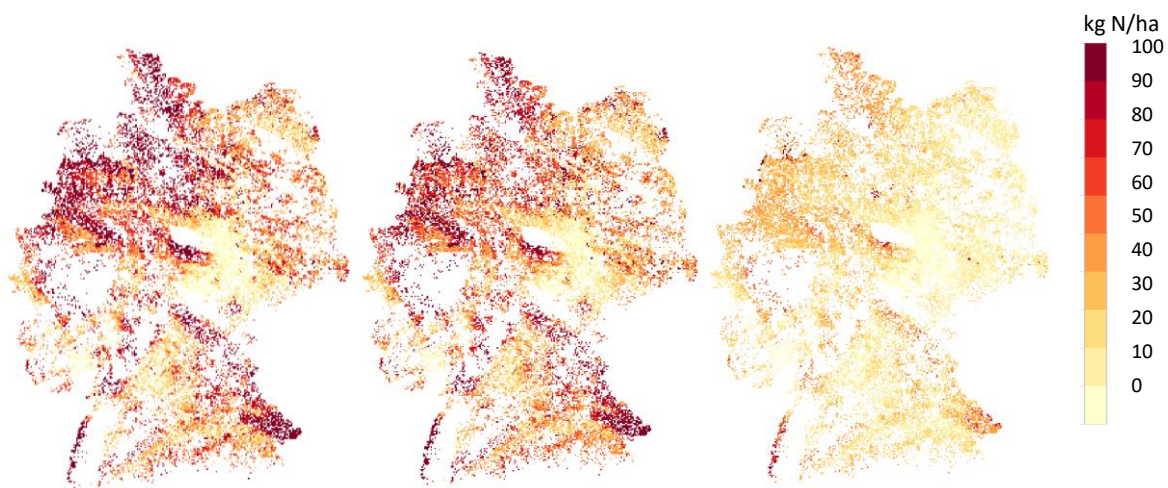


Abb. 1: Simulation des N-Austrags für verschiedene Szenarien der Landnutzung. Links: Intensive konventionelle Landwirtschaft. Mitte: Landnutzung mit Fokus auf Raubvogelschutz. Rechts: Landnutzung mit Fokus auf Amphibienschutz.

Ergebnisse

Die MONICA-Simulationen spiegeln die räumlichen Ertragsgradienten für die repräsentierten Kulturarten (hier: Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste, Winterraps, Silomais, Winterroggen, Luzerne, Grassilage) und deren inter-annuelle Dynamik in Deutschland gut wider. Die Ergebnisse der Szenarien-Simulationen zeigen die unterschiedliche Wirkung der angebotenen Maßnahmen in den verschiedenen Boden-Klima-Kombinationen Deutschlands (Abb. 1).

Schlussfolgerung

Die Simulationen dienen zur Bewertung des Kompensationsziels und als Anreiz für ein positives Engagement, das zunächst primär auf den Erhalt der biologischen Vielfalt gerichtet ist. In diesem Stadium helfen die Ergebnisse den Anbietern der Naturschutzprojekte noch nicht, die besten Flächen für ihre Maßnahmen zu finden und abzuschätzen, wo die höchsten Werte auf die kostengünstigste Weise und mit weiteren hohen ES, die für ein Angebot auf dem Markt relevant sind, erzielt werden können. Eine solche Funktionalität ist allerdings vorstellbar.

Referenzen

- Nendel, C., M. Berg, K.C. Kersebaum, W. Mirschel, X. Specka, M. Wegehenkel, K.O. Wenkel und R. Wieland (2011): The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecol. Model.* 222 (9), 1614–1625. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.02.018>.
- Albert, C., C. Schroter-Schlaack, B. Hansjurgens, A. Dehnhardt, R. Doring, H. Job, J. Koppel, S. Kratzig, B. Matzdorf und M. Reutter (2017): An economic perspective on land use decisions in agricultural landscapes: Insights from the TEEB Germany Study. *Ecosystem services* 25, 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.020>.

Reduktion von N-Verlusten durch Ernterückstandsmanagement - Eine modellgestützte Bewertung

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

Die Kombination aus hohen N_{\min} -Gehalten nach der Ernte und einer zunächst geringen N-Aufnahme durch die Folgefrucht birgt die Gefahr hoher N-Verluste im Herbst/Winter (Sieling und Kage, 2006). Beides ist Fruchtfolgen von Winterraps oder Ackerbohnen gefolgt von Winterweizen inhärent. Die Einarbeitung von Ernterückständen trägt zur Verringerung dieses Risikos bei: die zersetzenden Mikroorganismen decken ihren N-Bedarf teilweise aus dem mineralischen N-Pool und verhindern somit dessen Auswaschung (N-Immobilisation, Chen et al., 2014). Dieser Mechanismus kann durch einen Austausch der ursprünglichen Erntereste mit Biomasse unterschiedlicher Menge und Qualität (u.a. C:N-Verhältnis und Partikelgröße) beeinflusst werden. Ein praxisrelevantes Szenario für dieses Residuenmanagement ist die betriebsinterne Umlagerung von Weizenstroh (vergleichsweise weites C:N-Verhältnis) auf Flächen mit erhöhtem N-Verlustrisiko. Die Umweltbedingungen durch Boden und Klima sind wichtige Steuergrößen für die Boden-N-Dynamik und beeinflussen damit auch den beschriebenen Effekt (Butterbach-Bahl et al., 2013).

Material und Methoden

Ein von 2015 bis 2018 durchgeführter Feldversuch untersuchte die Auswirkungen dieses Ansatzes im Vergleich zur gängigen Praxis (Belassen des Vorfruchtstrohs) sowie zu zwei stärker kontrastierenden Behandlungen (alleiniges Entfernen der Ernterückstände sowie der Austausch mit Sägemehl). Die gewonnenen Daten wurden verwendet, um das Mineralisationsmodul eines mechanistischen Pflanzen-Boden-Modells (Henke et al., 2008) zu parametrisieren. Anschließend wurden in einer Szenarien-Studie sechs Standorte mit unterschiedlichen Klima- und Bodenbedingungen simuliert und die Auswirkungen der Nach-Ernte-Behandlungen untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

In der Praxis konnte gezeigt werden, dass beim Austausch von Raps- und Bohnenstroh mit Winterweizenstroh und Sägemehl die N_{\min} -Konzentration im Herbst signifikant niedriger war als bei der Kontrollbehandlung. Somit gingen auch die N_2O -Emissionen (Abb.1) und die N-Auswaschung in diesem Zeitraum zurück (Rothardt et al., 2021).

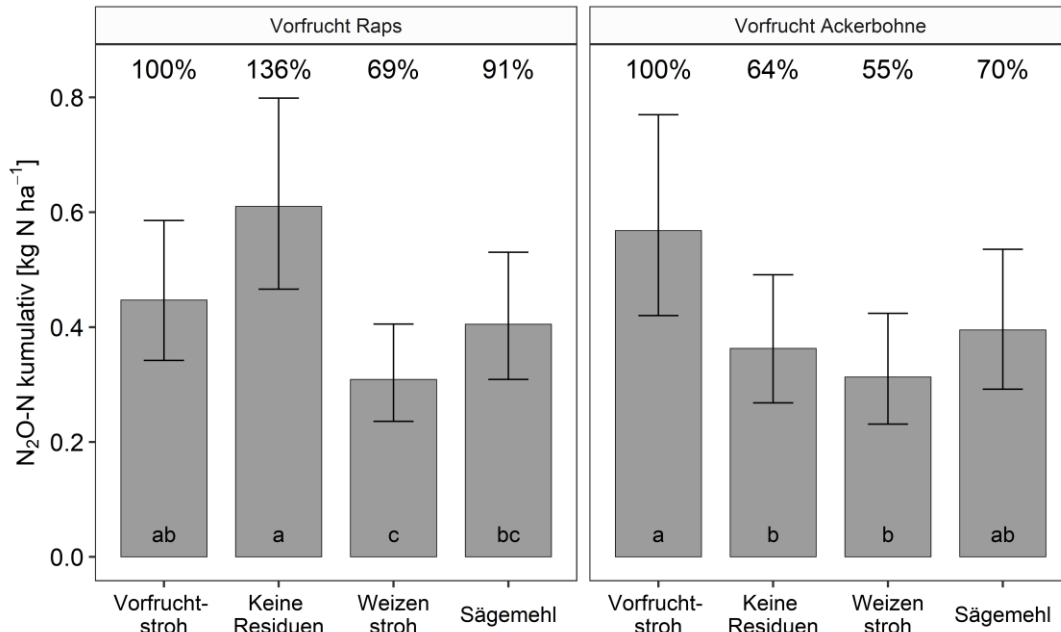


Abb. 1: Rücktransformierte mittlere kumulative N_2O -N-Emissionen bei mittleren Emissionsbedingungen (aus Rothardt et al., 2021), die Prozentangaben beziehen sich auf die Emissionen der Kontrollbehandlung (Vorfruchtstroh verbleibt auf der Fläche), kleine Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede innerhalb einer Fruchtfolge an, die Fehlerbalken stehen für das Konfidenzintervall zum Niveau 95 %.

Mittels des Modells sollen folgende Hypothesen überprüft werden:

- leichtere Böden = tendenziell höheres Verlustrisiko → deutlichere Verlustreduktion durch Residuenmanagement
- Standorten mit naturgemäß höherer N_{min} -Kapazität → geringeres Einsparpotenzial
- Geringe Niederschläge im Herbst/Winter → geringerer Immobilisationseffekt aber auch weniger Auswaschung

Eine Sensitivitätsanalyse ermöglicht zudem die Identifizierung von Treibern für die Verluste und zeigt die Parameter auf, die den Effekt des Residuenmanagements auf den Mineralisierungsprozess bestimmen.

Literatur

- Butterbach-Bahl, K., Baggs, E.M., Dannenmann, M., Kiese, R., Zechmeister-Boltenstern, S., 2013. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 368. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0122>
- Chen, B., Liu, E., Tian, Q., Yan, C., Zhang, Y., 2014. Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 429–442. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0207-8>
- Henke, J., Böttcher, U., Neukam, D., Sieling, K., Kage, H., 2008. Evaluation of different agronomic strategies to reduce nitrate leaching after winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using a simulation model. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 82, 299–314. <https://doi.org/10.1007/s10705-008-9192-0>
- Rothardt, S., Fuß, R., Pahlmann, I., Kage, H., 2021. Post-Harvest N_2O Emissions Can Be Mitigated With Organic Amendments. *Front. Environ. Sci.* <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712013>
- Sieling, K., Kage, H., 2006. N balance as an indicator of N leaching in an oilseed rape - winter wheat - winter barley rotation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 115, 261–269. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.01.011>

Wie die Verknüpfung von Pflanzenwachstumsmodellen, Fernerkundung und saisonalen Wetterprognosen zur Verbesserung des N-Düngemanagements beitragen kann

Marlene Palka¹, Ahmad M. Manschadi¹, Josef Eitzinger², Stefan Schneider³
und Thomas Neubauer⁴

¹Institut für Pflanzenbau/ Universität für Bodenkultur, Wien; ²Institut für Meteorologie und Klimatologie/ Universität für Bodenkultur, Wien; ³Organisationseinheit Remote Sensing/Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien; ⁴Institut für Information Software Engineering/Technische Universität, Wien. E-Mail: *marlene.palka@boku.ac.at*

Einleitung

Die Folgen des Klimawandels und einer verstärkten Klimavariabilität stellen vor allem in der jüngeren Vergangenheit vermehrt Herausforderungen für die Landwirtschaft dar: Temperaturanstiege, veränderte Niederschlagsmengen und –häufigkeiten und Extremwetterereignisse (1, 2). Doch obwohl die Witterungsbedingungen immer häufiger nicht mehr dem Durchschnitt der vergangenen Jahre entsprechen, werden seasonspezifische Wachstumsbedingungen und die daraus notwendigen Anpassungen bei Zeitpunkt und Menge der Düngemittel in der Praxis oft nicht berücksichtigt (3).

Um diesen Veränderungen in den Witterungsbedingungen Folge zu tragen und eine Stickstoff (N)-Düngepraxis zu entwickeln, die dem tatsächlichen Bedarf der Pflanzen entspricht, wird ein integrierter Ansatz aus einem Pflanzenwachstumsmodell, Fernerkundung und saisonalen Wetterprognosen vorgestellt. Saisonale Wetterprognosen bieten dabei die Möglichkeit, die zu erwartende Witterung so früh vorherzusagen, dass die Vorteile günstiger und die Nachteile weniger produktiver Bedingungen in der landwirtschaftlichen Praxis berücksichtigt werden können (4, 5). Pflanzenwachstumsmodelle dienen im Weiteren als Hilfsmittel, um solche Wetterprognosen in ackerbauliche Informationen von größerer praktischer Relevanz zu übersetzen (6). Methoden der Fernerkundung erleichtern schließlich Pflanzenbestände über große Flächen zu verfolgen und zu überwachen.

Material und Methoden

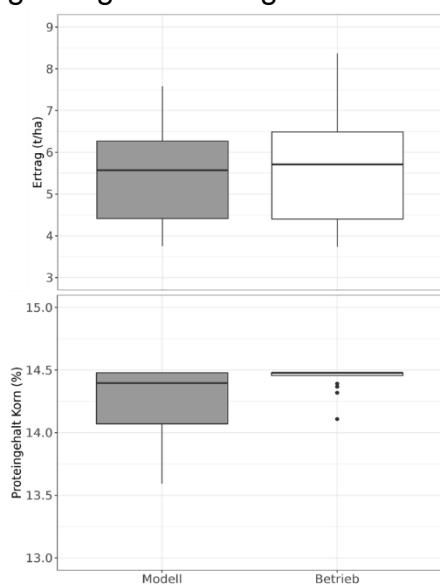
Zu Monatsanfang wurde jeweils ein Ensemble von 16 Wetterprognosen erstellt, das tägliche Wetterdaten über einen Zeitraum von 215 Tagen und eine räumliche Auflösung von 1x1km vorhersagt. Diese Wetterdaten wurden im nächsten Schritt im Pflanzenwachstumsmodell iCrop (7) zusammen mit schlaggenauen Bodendaten und genetischen Parametern verwendet, um (u.A.) mögliche Ertragsmengen und –qualitäten, Bodenwasser- und N-Gehalt, und den Bedarf der Pflanzen an N zu simulieren. In den Simulationen wurden außerdem unterschiedliche Managementstrategien in Form von unterschiedlichen N-Mengen (0-190 kg/ha), -zeitpunkten (Ende Februar-Mitte Mai) und einer unterschiedlichen Anzahl an N-Gaben (0-3) berücksichtigt. Mittels des CCCI-CNI Spektralindex (8) wurde die aktuelle N-Versorgung der Pflanzen (kg N Aufnahme/ha) bestimmt. Aus den Modellsimulationen wurden die zu erwartende Bestandesentwicklung berechnet und in Kombination mit der aktuellen N-Versorgung der Pflanzen seasonspezifische N-Düngemengen bestimmt. Dieser Prozess wurde für die Monate Januar-Juli 2021 durchlaufen und an die bis dahin gemessenen Werte und N Gaben angepasst.

Zur Quantifizierung des Potenzials dieses Ansatzes wurde auf einem Testbetrieb ein Winterweizenschlag (13 ha) in drei Teile geteilt: Ein Teil diente als Kontrolle und wurde nach einer betriebsüblichen Grunddüngung nicht weiter gedüngt, der zweite Teil wurde betriebsüblich und der letzte Teil anhand des integrierten Modellansatzes N-gedüngt. Ziel war es, im Modellteil die N-Düngemenge soweit zu reduzieren, dass die mittleren zu erwartenden Ertragsmengen und –qualitäten im Vergleich zum Betriebsteil nicht weiter gesteigert werden können. Die unterschiedlichen N-Teile wurden während und am Ende der Saison in Bezug auf Biomassezuwachs, N-Nutzungseffizienz, Ertrag und Kornqualität evaluiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die dargestellten Ergebnisse entsprechen dem Versuchsstand zur Einreichfrist der Beiträge für den Tagungsband.

Der Modellteil wurde im Vergleich zum Betriebsteil insgesamt um 60 kg N/ha weniger gedüngt. Im Vergleich der Simulationen über die Saison zeigt sich, dass die



Streuung der Werte aus dem Modellteil im Vergleich zum Betriebsteil zwar größer ist, die Mittelwerte sich allerdings nicht unterscheiden. Zwischen den beiden Varianten wurden bis zur letzten Probenahme keine Unterschiede in der Trockenbiomasse gemessen. Basierend auf den Prognosen vom Juni 2021 werden für den Modellteil (5,57 t/ha) und Betriebsteil (5,71 t/ha) keine signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Erträgen (13% Kornfeuchte) erwartet. Die maximal möglichen Erträge liegen im Betriebsteil allerdings höher (8,37 t/ha). Für die Proteingehalte im Korn werden sowohl im Modellteil (14,40%) als auch im Betriebsteil (14,49%) durchschnittlich mindestens 14% erwartet. Im Modellteil können die niedrigst möglichen Werte allerdings darunterliegen (13,60%).

Literatur

1. Leng G, Hall J. Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. *Science of the Total Environment*. 2019;654:811-21.
2. Ray DK, West PC, Clark M, Gerber JS, Prishchepov AV, Chatterjee S. Climate change has likely already affected global food production. *PLOS ONE*. 2019;14(5):e0217148.
3. BMLFUW. Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. Vienna, Austria: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; 2017.
4. Monjardino M, McBeath TM, Brennan L, Llewellyn RS. Are farmers in low-rainfall cropping regions under-fertilising with nitrogen? A risk analysis. *Agricultural Systems*. 2013;116:37-51.
5. Hammer GL, McLean G, Chapman S, Zheng B, Doherty A, Harrison MT, et al. Crop design for specific adaptation in variable dryland production environments. *Crop and Pasture Science*. 2014;65(7):614-26.
6. Rodriguez D, De Voil P, Hudson D, Brown JN, Hayman P, Marrou H, et al. Predicting optimum crop designs using crop models and seasonal climate forecasts. *Sci Rep*. 2018;8(1).
7. Soltani A, Sinclair TR. Modeling physiology of crop development, growth and yield. *Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield*. 2012:1-322.
8. Palka M, Manschadi AM, Koppensteiner L, Neubauer T, Fitzgerald GJ. Evaluating the performance of the CCCI-CNI index for estimating N status of winter wheat. *European Journal of Agronomy*. accepted.

Potential yield and water use efficiency of oilseed rape in Egypt - A modeling study using the CROPGRO canola model

Kai Bergmüller¹, Ashifur Rahman Shawon¹, Emir Memic², Dima Sabboura¹, Ahmed Kheir³, Kenneth J. Boote⁴, Timo Kautz⁵, El Sayed El Habbasha⁶ and Til Feike¹

¹Institute for Strategies and Technology Assessment, Julius Kühn-Institut (JKI) | Federal Research Centre for Cultivated Plants, Kleinmachnow; ²Working Group Cropping Systems and Modelling (340), University of Hohenheim, Germany; ³Soils, Water and Environment Research Institute, Agricultural Research Center, Egypt; ⁴Agricultural and Biological Engineering Department, University of Florida, United States; ⁵Crop Science, Humboldt Universität zu Berlin, Germany; ⁶Field Crops Research Department, National Research Center, Egypt. E-Mail: til.feike@julius-kuehn.de

Introduction

Production of oilseed rape (*Brassica napus* L.) might help to break the wheat-dominated crop rotations of Egypt and overcome the critical edible oil supply gap of the country. Despite first promising experimental results of oilseed rape cultivation (e.g., Mekki, 2012; Abdelraouf et al., 2021), there is still no commercial oilseed rape production in the most populous country of North Africa.

Crop models simulate the plant-soil-atmosphere system and are valuable tools to investigate genotype × environment × management-interactions. Crop models are especially suitable to evaluate the performance of novel crops in specific target environments. In the context of oilseed rape production in Egypt relevant questions include (i) suitability of different production regions, (ii) optimal sowing windows and (iii) irrigation management.

Material and Methods

Building on an extensive primary experimental data set of 20 year × location × sowing date combinations, covering three production regions of Egypt, we conducted a cultivar specific calibration of the CROPGRO canola model using the novel time-series estimator for DSSAT (Roell et al., 2020). Yield simulations for the local cultivar SERW4 were satisfactory with an RMSE of 0.39 t ha⁻¹ of simulated vs. observed yield levels. We then used the calibrated model to run virtual experiments for our three production regions over thirty years during 1991 to 2020 using site-specific soil and daily weather data. We tested eight different sowing dates between middle September and beginning of January investigating attainable yields and water use efficiency.

Results and Discussion

While in the northern delta (Edko) 30-year-average yields reached up to 2.7 t ha⁻¹, yields in newly reclaimed land in the west (Nurbariya), as well as in the south (Toshka) of Egypt only reached about 1.9 and 2.0 t ha⁻¹, respectively. Optimal sowing was later in the north (mid Oct - mid Nov) than in the west and south (beginning - end Oct). Moreover, evapotranspirative water use efficiency was highest in the north (7-8 kg m⁻³), followed by the west (5-7.5 kg m⁻³) and the south (4-7 kg m⁻³), with earlier sowing dates always related to higher water use efficiency. Setting irrigation management fixed, as reported in the experiments used for model calibration, led to higher yields compared to using the automatic irrigation option, which is based on plant available water thresholds. However, automatic irrigation would require significantly lower amounts of irrigation water compared to the fixed strategy, especially during earlier sowing. We find that cultivation of oilseed rape is quite possible in Egypt, especially in the northern regions. Further investigations should

include the testing of modern hybrid varieties in local field trials and the respective cultivar specific calibration of the crop model.

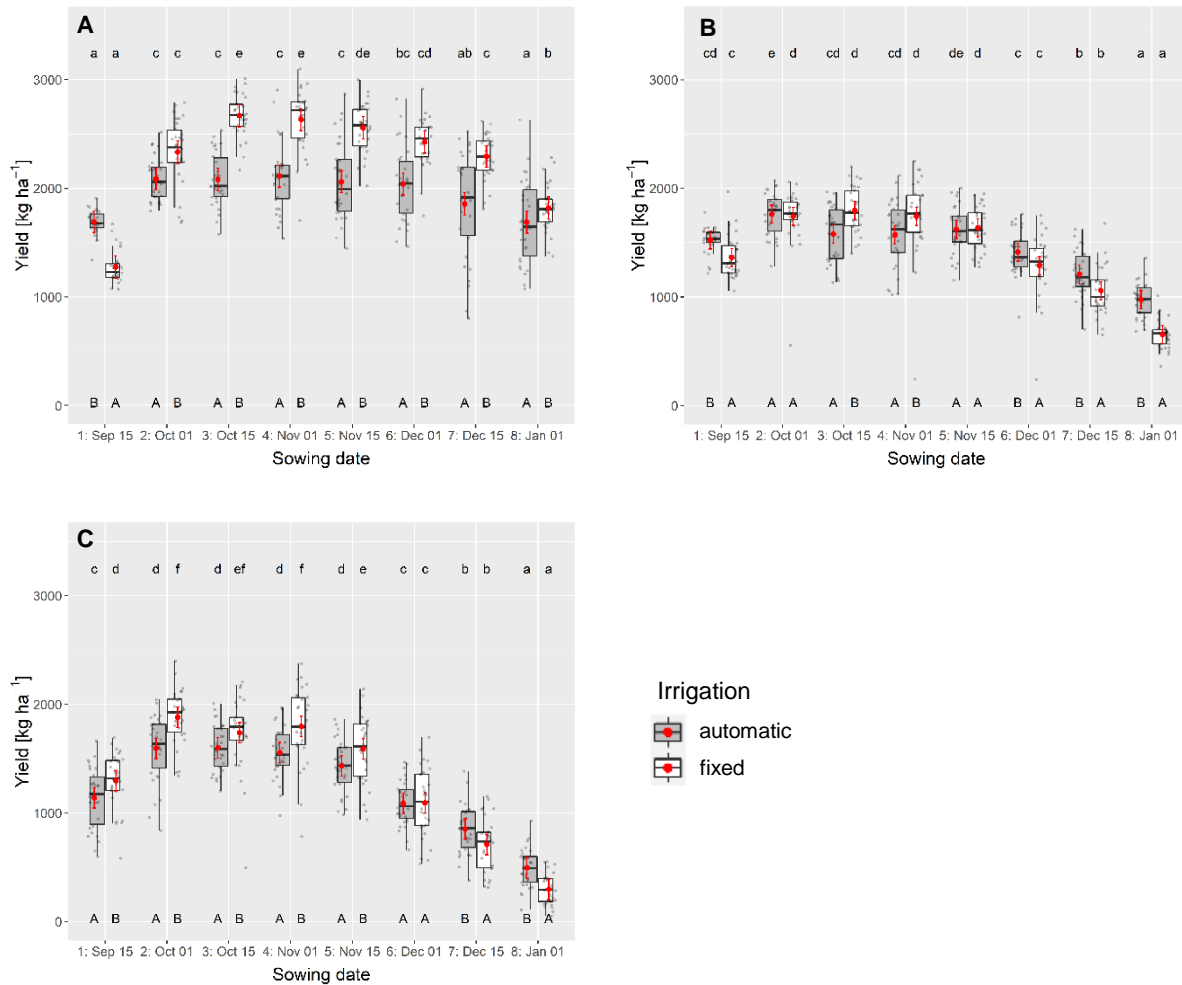


Figure 1. Potential yields at the Egyptian locations (A) Edko (northern delta), (B) Nurbariya (western desert) and (C) Toshka (south) simulated over the period 1991-2020 for different sowing dates during September 15th and January 1st under automatic vs. fixed irrigation. Independent for each locations, capital letters indicate significant differences between irrigation strategies for each sowing date; small letters indicate significant differences between sowing dates for each irrigation strategy ($p < 0.05$).

Acknowledgments

This research was funded by the German Egyptian Research Fund (GERF), co-financed by Egyptian Ministry of Higher Education and Scientific Research (MoHESR) and the German Ministry of Education and Research (BMBF; FKZ 01DH18024).

References

- Abdelraouf, R.E., El-Shawadfy, M.A., Dewedar, O.M., Hozayn, M. (2021) Improving yield and water productivity of canola under sprinkler irrigation and high frequency of N-fertigation. *Asian Journal of Plant Sciences* 20(1), pp. 143-156
- Mekki, B.B. (2013) Yield and quality traits of some canola varieties grown in newly reclaimed sandy soils in Egypt. *World Applied Sciences Journal* 25(2), pp. 258-263.
- Röll, G., Memic, E., Graeff-Hönninger, S. (2020) Implementation of an automatic time-series calibration method for the DSSAT wheat models to enhance multi-model approaches. *Agronomy Journal* 112(5), pp. 3891-3912.

Durchführung und Nutzung von Dauerfeldversuchen – Probleme, Anforderungen und Qualitätsstandards

Beate Stumpf¹, Janna Macholdt^{1,2}, Wilfried Hierold³ und Bernd Honermeier¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität, Gießen; ²Section of Environmental Chemistry and Physics, Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen, Denmark; ³Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Müncheberg.
E-Mail: beate.stumpf@mailbox.org

Einleitung

In Deutschland existieren insgesamt etwa 200 Dauerfeldversuche (DFV) mit einer Laufzeit von mindestens 20 Jahren, von denen derzeit 140 Versuche weiterhin durchgeführt werden (Grosse et al., 2020a). Die Daten dieser DFV liegen in der Regel als langjährige Zeitreihen vor, die sich zur Evaluierung von Bodenveränderungen und klimatischen Einflüssen eignen und zur Modellierung von Bodenprozessen genutzt werden können.

DFV sollten nach wissenschaftlichen Standards des landwirtschaftlichen Feldversuchswesens durchgeführt werden. Um die Daten dieser Versuche auch externen und zukünftigen Nutzern zugänglich zu machen, sollten sie den FAIR-Prinzipien entsprechen, also auffindbar (**findable**), zugänglich (**accessible**), kompatibel (**interoperable**) und wiederverwendbar (**reusable**) sein (Wilkinson et al., 2016). Die Umsetzung dieser Anforderungen ist jedoch aus unterschiedlichen Gründen (z. B. durch Variation im Versuchsdesign, begrenzte Ressourcen, unterschiedliche Versuchsdauer und Versuchsdurchführung) nicht einfach. Aus diesem Grund sind Empfehlungen zur Wichtung und Umsetzung von Standards bei der Durchführung und Auswertung von DFV sehr wichtig.

Material und Methoden

Basis der hier vorgestellten Ergebnisse sind Erfahrungen, die im Rahmen des laufenden Forschungsprojektes „BonaRes“ (Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie) zur Durchführung von DFV gewonnen wurden. Hierbei werden Informationen aus den laufenden DFV der JLU Gießen, dem ZALF Müncheberg und der Universität Aarhus berücksichtigt. Aus diesen DFV werden die Versuchsbedingungen und Methoden der vergangenen Jahrzehnte bezüglich Bodenheterogenität, Versuchsdesign, Änderungen in der Versuchsdurchführung (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sortenwahl, Düngung), Methoden der Beprobung sowie Auswertung und Archivierung von Daten (Daten-Repository) berücksichtigt.

Ergebnisse und Diskussion

Zur Charakterisierung der Bodeneigenschaften des Versuchsstandortes ist die Bestimmung des Bodentyps nach IUSS 2015 und die Ermittlung relevanter Bodeneigenschaften (u. a. Wasserkapazität, Bodendichte, Textur, Bodenstruktur, Wurzeltiefe, Hydromorphie, pH) erforderlich. Diese Informationen sollten auf der Basis eines repräsentativen Bodenprofils gewonnen werden, das in unmittelbarer Nähe zum DFV aufgenommen werden sollte. Es ist empfehlenswert, vor Beginn eines DFV mit Hilfe der Bohrstockmethode die horizontale Heterogenität des Versuchsbodens bezüglich der vorhandenen Körnungsarten zu bestimmen. Da derartige Untersuchungen in den meisten Fällen nicht vor Beginn eines DFV durchgeführt wurden, ist alternativ auch eine nachträgliche Bestimmung der

Bodenheterogenität mit Hilfe von Bodensonden oder durch Bohrstock-Aufnahme sinnvoll.

DFV sollten nach einem geeigneten Versuchsdesign durchgeführt werden. Jegliche Änderungen des Versuchs sollten sorgfältig abgewogen und nach Möglichkeit vermieden werden. Aus unterschiedlichen Gründen (Auswinterung, zunehmende Trockenperioden, Änderung der Rahmenbedingungen) kann es jedoch notwendig sein, Kulturpflanzen kurz- oder langfristig zu ersetzen. Beispiele für Änderungen nach Auswinterungen sind der Ersatz von Winterweizen bzw. Wintergerste durch Sommerweizen bzw. Sommergerste, die als marginale Veränderungen bewertet werden. Der Austausch der Zuckerrübe durch Mais (IOSDV Rauschholzhausen) oder durch Körner-Sonnenblume (IOSDV Iasi/Rumänien) stellt dagegen einen stärkeren Eingriff dar, der bei der Auswertung zu berücksichtigen ist. Unumgänglich ist dagegen der Sortenwechsel, der aus Gründen der Saatgut-Verfügbarkeit oder der sich verändernden Resistenzeigenschaften in den laufenden DFV im Mittel nach 2-3 Jahren (EV Gießen) oder nach 3-6 Jahren (IOSDV Rauschholzhausen) bei Zuckerrüben, Winterweizen, Wintergerste bzw. Sommergerste erfolgt. Diese Änderungen sollten bei der statistischen Auswertung berücksichtigt werden (Reckling et al., 2021).

Die Häufigkeit und Methode der Entnahme von Boden- und Pflanzenproben ist von der Fragestellung des DFV abhängig. Essenziell ist die jährliche Bestimmung der Biomasse pro Parzelle inklusive der Ertragsstruktur. Vorteilhaft ist auch die standardisierte Erfassung phänologischer und Wachstums-Parameter der Pflanzen. Bei Bodenproben sollte, wenn möglich, auch die Bodendichte und der Unterboden (Rammkern-Sonde) miterfasst werden.

Für die langfristige Auswertung von DFV-Daten sind Archive für Boden- und Pflanzenproben anzulegen und Daten-Repositorien zu nutzen (Grosse et al. 2020b), deren Erhaltung, Wartung und Pflege institutionell gesichert sein sollte.

Literatur

- Grosse, M., Hierold, W., Ahlborn, M. C., Piepho, H.-P., & Helming, K. (2020a). Long-term field experiments in Germany: Classification and spatial representation. *Soil*, 6, 579–596. <https://doi.org/10.5194/soil-6-579-2020>
- Grosse, M., Hoffmann, C., Specka, X., Svoboda, N. (2020b). Chapter 9: Managing long-term experiment data – a repository for soil and agricultural research. Long-Term Farming System Research, 167-182, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818186-7.00010-2>.
- Reckling, M., Ahrends, H., Chen, T.-W., Eugster, W., Hadasch, S., Knapp, S., Laidig, F., Linstädter, A., Macholdt, J., Piepho, H.-P., Schiffers, K., & Döring, T. F. (2021). Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(2), 27. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00681-4>
- Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, Ij. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., Blomberg, N., Boiten, J.-W., da Silva Santos, L. B., Bourne, P. E., Bouwman, J., Brookes, A. J., Clark, T., Crosas, M., Dillo, I., Dumon, O., Edmunds, S., Evelo, C. T., Finkers, R., Mons, B. (2016). The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data* 3. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

C- und N-Speicherung im Bodenprofil sowie PK-Gehalte des Bodens nach langjähriger mineralischer NPK- und Stallmist-Düngung - Ergebnisse aus dem Erschöpfungsversuch Gießen

Sophie-Kathrin Knoop, Beate Stumpf, Feng Yan und Bernd Honermeier

Professur für Pflanzenbau und Ertragsphysiologie, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Gießen, E-Mail: sophie.k.knoop@agrار.uni-giessen.de; bernd.honermeier@agrار.uni-giessen.de

Einleitung

Die C- und N-Gehalte in Ackerböden werden neben den Boden- und klimatischen Bedingungen vor allem durch die Art der Landnutzung und das Anbaumanagement beeinflusst. Neben der Wirkung organischer Düngemittel stellt sich auch die Frage nach der Bedeutung der mineralischen NPK-Düngung auf die C-/N-Gehalte und deren vertikale Verteilung im Boden. Das Ziel der durchgeführten Untersuchung bestand deshalb darin, auf der Basis eines langjährigen Dauerfeldversuchs den Einfluss der Stallung- und der mineralischen NPK-Düngung auf die C-/N-Gehalte im Ober- und Unterboden sowie auf den PK-Gehalt des Bodens zu klären.

Material und Methode

Der Erschöpfungsversuch (EV) Gießen (158 m ü. NN) wurde im Jahr 1954 angelegt (erstes Versuchsjahr mit Zuckerrüben = 1955) und hat bis zum Jahr 2020 insgesamt 66 Versuchsjahre bzw. 22 Rotationen (Zuckerrüben, Winterweizen, Sommergerste) durchlaufen. Der Boden des EV wird als Gley-Vega aus Auen-Ton mit einem Tonanteil von 40 % (nFK 123 mm, Bodenschätzung: LT4 Al 64/67) eingeordnet. Das Klima ist durch ein langjähriges Mittel der Niederschläge von 650 mm/Jahr und durch eine mittlere Lufttemperatur von 9 °C gekennzeichnet.

Der Versuch wurde nach der „Ertragsflächenmethode“ (Boguslawski 1942) mit den Prüffaktoren A „NPK-Düngung“ a_1 ohne NPK, a_2 PK, a_3 NP, a_4 NK, a_5 NPK und B „Dosierung/Stallung (SD)“ b_1 halbe Dosierung/ohne SD, b_2 volle Dosierung/ohne SD, b_3 volle Dosierung/mit SD (SD alle drei Jahre vor Zuckerrüben, 40 bzw. 30 t/ha) mit 4 Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße (zur Ernte) beträgt 18 m².

Am 09. 04. 2020 (vor der Aussaat der Sommergerste) wurden Bodenproben aus 0-30, 30-60 und 60-90 cm Tiefe entnommen. Die Bestimmung von P_{CAL} und K_{CAL} in den Bodenproben erfolgte nach VDLUFA A6.2.1.1. Die Ct- und Nt-Bestimmung des Bodens wurde nach entsprechender Probenvorbereitung (Siebung auf 2 mm, Kugelmühle, Probemenge 35 bzw. 40 mg) durch oxidative Verbrennung mit dem Elementar-Analysator UNICUBE durchgeführt.

Die Daten wurden mittels ANOVA nach einem linearen gemischten Modell mit R (Version 3.5.1) ausgewertet. Die Mittelwerte wurden auf der Basis eines multiplen Mittelwertvergleichs (post-hoc-Test, adjustiert nach Tukey) mit $p < 0,05$ bewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Auf der Basis der Mess-Ergebnisse des Jahres 2020 kann festgestellt werden, dass die langjährige Stallung (SD)-Anwendung zu einer signifikanten Erhöhung der Ct-Gehalte des Bodens (in 0-30 cm) von 1,22 % auf 1,59 % geführt hat. Neben dem SD-Effekt konnte auch ein Effekt der mineralischen N-Düngung auf die Ct-Gehalte des Bodens beobachtet werden (ohne NPK: 1,29 %, mit NK: 1,38 %, NP: 1,36 %, NPK: 1,40 %). Beide Hauptwirkungen wurden jedoch von einer signifikanten

Wechselwirkung A x B ($p = 0,015$) überlagert, was bedeutet, dass die Kombination von mineralischer N-Düngung (NP, NK und NPK) mit SD zu einer stärkeren Ct-Erhöhung im Boden geführt hat als die alleinige SD-Anwendung ohne zusätzliche mineralische N-Düngung (Kontrolle/PK x SD). Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass sowohl durch die direkte Stalldung-Zufuhr als auch durch die höheren Wurzel- und Ernterückstände eine Ct-Zunahme im Boden bewirkt wurde. Der Effekt der Ct-Zunahme durch SD setzte sich auch im Unterboden in der Schicht von 30-60 cm fort ($p = 0,02$), was in der Schicht von 60-90 cm jedoch nicht mehr der Fall war.

Auch der Nt-Gehalt des Bodens war in der Schicht von 0-30 cm sowohl durch die mineralische N-Düngung als auch durch SD signifikant erhöht. Somit dürfte auch hier die durch die mineralische N-Düngung erhöhte Wurzelmasse zu der Nt-Zunahme des Bodens beigetragen haben. In der Schicht von 30-60 cm war dagegen nur ein gesicherter SD-Effekt ($p < 0,001$) und kein N-Düngungseffekt zu beobachten.

Die im Frühjahr 2020 gemessenen NO_3^- N-Gehalte waren im Oberboden mit 32 kg/ha in der SD-Variante signifikant höher als in der Kontrolle ($p = 0,003$). Dieses Ergebnis ist insofern bemerkenswert, da die letzte SD-Anwendung im Herbst 2017, also bereits zweieinhalb Jahre vor der Bodenuntersuchung, erfolgte. In den unteren Bodenschichten wurden dagegen geringe und ausgeglichene NO_3^- N-Gehalte beobachtet.

Sowohl die P_{CAL} - als auch die K_{CAL} -Gehalte des Oberbodens unterlagen der Wechselwirkung zwischen den beiden Prüffaktoren. Das bedeutet, dass die Wirkung der mineralischen P/K-Düngung durch die regelmäßige SD-Zufuhr noch verstärkt wurde. Die höchsten P-Gehalte wurden somit in der Kombination PK/NP x SD und die höchsten K-Gehalte durch die Kombination NK/PK/NPK x SD erreicht.

Aus den vorliegenden Daten kann abgeleitet werden, dass die über 22 Fruchtfolge-Rotationen durchgeführte Stalldung-Anwendung zu einer Zunahme der Ct- und Nt-Akkumulation sowohl in der obersten (0-30 cm) als auch in der darunter liegenden Bodenschicht (30-60 cm) geführt hat. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass die mineralische N-Düngung in Kombination mit Stalldung eine synergistische Wirkung auf die C/N-Akkumulation im Oberboden (0-30 cm) hatte.

Literatur

Boguslawski, E. von, 1942. Ein Verfahren zur statistischen Untersuchung der Abhängigkeit der Ernteerträge von Standort und klimatischen Faktoren. Forschungsdienst 13, 301-320.

Ertragsrelationen ökologischer und konventioneller Anbausysteme auf Fruchtarten- und Fruchtfolge-Ebene: Ergebnisse eines elfjährigen Dauerfeldversuchs

Thomas Mösl, Harald Schmid und Kurt-Jürgen Hülsbergen

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme/Technische Universität München, Freising. E-Mail: thomas.moesl@tum.de

Einleitung

Die Ertragsrelation zwischen ökologischen und konventionellen Anbausystemen ist Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Arbeiten. Bisherige Untersuchungen haben sich hauptsächlich mit der Ertragsanalyse einzelner Fruchtarten beschäftigt, die Ertragsrelation von Fruchtfolgen ist kaum bearbeitet worden (Seufert et al., 2012). Ebenso wenig wurden bislang Unterschiede innerhalb der ökologischen und konventionellen Systeme berücksichtigt.

Material und Methoden

Der Systemversuch Viehhausen (SV) wurde im Jahr 2009 auf der Versuchsstation Viehhausen, 30 km nördlich von München, als Dauerfeldversuch angelegt. Die mittlere Jahrestemperatur lag im Beobachtungszeitraum (2009-2020) bei 9.2 °C, der mittlere Jahresniederschlag betrug 744 mm. Die vorliegende Bodenform ist pseudovergleyte Parabraunerde aus Löss, die Bodenart schluffiger Lehm. Weitere Bodenparameter die zu Versuchsbeginn aufgenommen wurden beinhalteten: (22% Ton, 14% Sand, 64% Schluff, $C_{org} = 1.24\%$, pH-Wert = 6.6, $P = 53.7 \text{ mg kg}^{-1}$, $K = 243.1 \text{ mg kg}^{-1}$). Ziel des Versuchs ist es die Wirkungen unterschiedlicher Pflanzenbausysteme auf die Ertragsleistungen, Bodeneigenschaften und -prozesse sowie Umweltwirkungen zu untersuchen. Der Versuch enthält vier ökologische sowie zwei konventionelle Systeme, die durch spezifisches Management, Düngung und Fruchtfolgen abgebildet werden (Tab. 1). Der Versuchsansatz unterscheidet sich hierbei von klassischen ein- oder zweifaktoriellen Experimenten durch die gleichzeitige Anpassung dieser drei Faktoren zum Zwecke einer systemkonformen Simulation der Anbausysteme. Untersucht wurden die Erträge der einzelnen Fruchtarten, sowie der gesamten Fruchtfolgen, aggregiert in Trockenmasse-, Bruttoenergie- und Getreideeinheiten-Ertrag. Für die Varianzanalyse wurden gemischte Modelle mit REML-Varianz-komponentenschätzern genutzt (Onofri et al., 2016).

Tab. 1 Anbausysteme und deren spezifische Bewirtschaftung, Düngung und Fruchtfolgen im SV

Anbausystem	Düngung	Fruchtfolge				
		1	2	3	4	5
Öko-Marktfrucht	Gründüngung	LKG	WW	TR + ZF	AB	WR
Öko-Milchvieh-Gülle	Gülle	LKG	WW + ZF	SM	AB	WR
Öko-Milchvieh-Stallmist	Stallmist	LKG	WW + ZF	SM	AB	WR
Öko-Biogas	Biogas-Gärrest	LKG	WW	TR + ZF	AB	WR
Konv-Marktfrucht	Mineral Dünger	Raps	WW + ZF	KM	WW	WR
Konv-Milchvieh-Gülle	Mineral Dünger + Gülle	Raps	WW + ZF	SM	WW	WR

AB – Ackerbohne, KM – Körnermais, LKG – Luzerne-Kleegrass, SM – Silomais, TR – Triticale, WR – Winterroggen, WW – Winterweizen, ZF – Zwischenfrucht

Ergebnisse und Diskussion

Im Winterweizen und Winterroggen zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den ökologischen und konventionellen Systemen, die mittlere Ertragsrelation betrug 0,49 bzw. 0,56 und deckte sich mit vorherigen Erkenntnissen. Silomais wies ebenfalls einen signifikanten Unterschied auf, jedoch bei einer günstigeren Relation von 0,77. Hervorzuheben ist die starke Differenzierung innerhalb der ökologischen Systeme. Ein signifikanter Ertragsvorteil organisch gedüngter Anbausysteme konnte vor allem im Winterroggen nachgewiesen werden. Bei den Leguminosen erzielte das Milchvieh-Stallmist System signifikant höhere Erträge.

Die Fruchtfolgeerträge wiesen deutliche Unterschiede zwischen den Aggregationsmaßstäben auf. TM und Energie Abfuhr wiesen ähnliche Relationen auf, die Milchviehsysteme profitierten vom Silomais und damit hohen TM und Energie Erntemengen. Das ökologische Milchvieh-Stallmist System erzielte aufgrund der hohen Luzerne-Kleegrass Erträge und der systemkonformen Strohabfuhr sogar signifikant höhere TM und gleichhohe Energie Erträge, verglichen mit den konventionellen Systemen. Bei Betrachtung des GE Ertrags konnten die ökologischen Systeme aufgrund der geringeren Bewertung des Kleegrasses nur noch eine Relation von 0,37 - 0,68 erreichen, wobei das Marktfruchtsystem in Folge der fehlenden Kleegrass-Abfuhr die geringste Relation aufwies. Zusammenfassend zeigte sich die Relevanz von Fruchtfolgeerträgen für den Systemvergleich, sowie die Notwendigkeit der Differenzierung der Anbausysteme, innerhalb der Bewirtschaftungsrichtungen.

Tab. 2 Mittelwerte der Fruchtarten- und Fruchtfolge-Erträge des SV im Zeitraum von 2011-2020, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test, $p \leq 0.05$)

	Ökologisch				Konventionell	
	Marktfrucht	Milchvieh Gülle	Milchvieh Stallmist	Biogas	Marktfrucht	Milchvieh Gülle
Luzerne-Kleegrass	16,8 ^b	17,0 ^b	18,1 ^a	17,1 ^b	-	-
Raps	-	-	-	-	4,3 ^a	4,3 ^a
Winterweizen (I)	5,0 ^c	5,2 ^c	5,0 ^c	5,9 ^b	10,7 ^a	10,8 ^a
Silo/Körner-Mais	-	14,7 ^c	16,5 ^b	-	(12,3)	20,3 ^a
Triticale	5,4 ^b	-	-	7,4 ^a	-	-
Ackerbohnen	2,7 ^b	2,7 ^b	3,2 ^a	3,0 ^{ab}	-	-
Winterweizen (II)	-	-	-	-	9,3 ^b	10,2 ^a
Winterroggen	5,8 ^c	6,9 ^b	7,6 ^b	7,4 ^b	12,5 ^a	12,4 ^a
TM Abfuhr	3,4 ^e	8,9 ^c	11,2 ^a	8,8 ^{cd}	8,3 ^d	10,6 ^b
Energie Abfuhr	63,0 ^c	163,6 ^b	205,7 ^a	161,1 ^b	161,9 ^b	203,0 ^a
GE Abfuhr	4,0 ^d	6,7 ^c	7,5 ^b	7,0 ^c	10,9 ^a	11,2 ^a

Erträge von Druschfrüchten normiert auf 86 % bzw. 91 % TS bei Raps in t FM ha⁻¹ und Feldfutter in t TM ha⁻¹
Fruchtfolge-Erträge in vom Feld abgefahrenen t TrockenMasse, GigaJoule und t GetreideEinheiten ha⁻¹

Literatur

ONOFRI, A.; SEDDAIU, G.; PIEPHO, H.-P. (2016): Long-Term Experiments with cropping systems: Case studies on data analysis. In: *European Journal of Agronomy* 77, S. 223–235. DOI: 10.1016/j.eja.2016.02.005.

SEUFERT, V.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. (2012): Comparing the yields of organic and conventional agriculture. In: *Nature* 485 (7397), S. 229–232. DOI: 10.1038/nature11069.

Methods of yield stability analysis in long-term field experiments

Moritz Reckling^{1,2}, Janna Macholdt³, Hella Ahrends⁴, Tsu-Wei Chen⁵, Werner Eugster⁶, Steffen Hadasch⁷, Samuel Knapp⁸, Friedrich Laidig⁷, Anja Linstädter⁹, Katja Schiffers¹⁰, Hans-Peter Piepho⁷ and Thomas F. Döring¹⁰

¹Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg; ²Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala; ³Institute of Agronomy and Plant Breeding I, Justus Liebig University of Gießen, Gießen; ⁴Department of Agricultural Sciences, University of Helsinki, Helsinki; ⁵Albrecht Daniel Thaer-Institute of Agricultural and Horticultural Sciences, Humboldt Universität zu Berlin, Berlin; ⁶Institute of Agricultural Sciences, ETH Zürich, Zürich; ⁷Biostatistics Unit, Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart; ⁸Technical University of Munich, Freising; ⁹Biodiversity Research / Systematic Botany, University of Potsdam, Potsdam; ¹⁰Institute of Crop Science and Resource Conservation, University of Bonn, Bonn. E-Mail: moritz.reckling@zalf.de

Introduction

In the face of a changing climate, yield stability is becoming increasingly important for farmers and breeders. Long-term field experiments (LTEs) generate data sets that allow the quantification of stability for different agronomic treatments. However, there are no commonly accepted guidelines for assessing yield stability in LTEs. The large diversity of options impedes comparability of results and reduces confidence in conclusions. To facilitate interpretation and understanding, the objective of this paper is to present a methodological guide and consistent terminology that aims to provide guidance for the most commonly encountered methodological issues when analyzing yield stability in agricultural LTEs. See Reckling et al. (2021) for the full paper.

Materials and methods

The examples pertain to data sets from LTEs and other long-term variety trial data sets (Table 1), representing different biophysical conditions and cropping systems in a temperate climate. The analysis was performed with the statistical packages R & SAS.

Table 1: Characterization of LTEs and long-term variety trial data sets used in this article

Country	Experiment	Rotation length	No. of blocks	First year ¹	Last year	Duration (years)	No. of treatments	Crops ²
Germany	Dikopshof	5	1	1955	2008	53	24	WW; PO
Sweden	Borgeby	8	4	1960	2015	55	3	OR, FP, SB, SW, SU, WW
Germany	Rengen	-	10	1991	2014	24	5	PG
Germany	Variety trials	-	-	1983	2016	33	-	WW, WR
UK	Broadbalk	-	1	1968	2013	45	5	WW

¹First year refers to initial year in data set; this may be different from the start year of the LTE

²Crop abbreviations: WW: winter wheat; PO: potatoes; OR: oil seed rape; FP: field pea; SB: spring barley; SW: spring wheat; SU: sugar beet; PG: permanent grassland; WR: winter rye

Results and Discussion

The major points we recommend are the following: Researchers should (1) make data quality and methodological approaches in the analysis of yield stability from LTEs as transparent as possible, (2) test for and deal with outliers, (3) investigate and include, if present, potentially confounding factors in the statistical model, (4) explore the need for detrending of yield data, (5) account for temporal autocorrelation if necessary, (6) make explicit choice for the stability measures and consider the correlation between some of the measures, (7) consider and resolve dependence of

stability measures on the mean yield, (8) explore temporal trends of stability, (9) report standard errors and statistical inference of stability measures where possible. For these issues we discuss the pros and cons of the various methodological approaches and provide solutions and examples for illustration.

For example, the “choice of stability measure” is challenging since there is a large number of stability indices and it is important to make an informed decision on which indices should be chosen to evaluate stability in a given LTE, for a given research question. Here we provide a “living list” of currently 42 yield stability indices and categorize them by their concept and whether they depend on other treatments (<https://www.doi.org/10.4228/ZALF.DK.148>). In the path leading to a choice of indices, it first needs to be recognized that there is no ‘right’ or ‘true’ index. So the question which one of the indices is the best one to represent ‘true’ stability cannot be answered. Different indices simply express and describe different properties of the same data set. In Figure 1 we illustrate differences and similarities between 11 different stability measures and the mean yield of six crops in combination with three treatments from the LTE Borgeby.

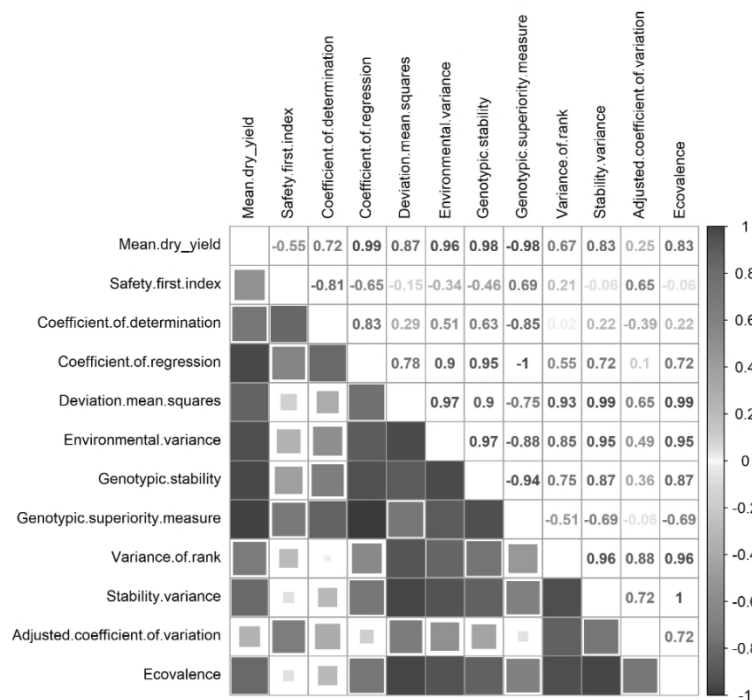


Figure 1. Correlation matrix showing comparisons between mean dry yield and 11 stability measures of six crop species in combination with three treatments (n=18) using the R package toolStability and the data set from Borgeby. Correlations are scaled by the grey-gradient of the corresponding cell, from highly positive correlation (black), no correlation (white) to negative correlation (grey with white frame). Stability measures are represented in the same order on the x- and y-axes.

We conclude to make ample use of linking up data sets, and to publish data, so that different approaches can be compared by other authors, and finally, consider the impacts of the choice of methods on the results when interpreting results of yield stability analyses. Consistent use of the suggested guidelines and recommendations may provide a basis for robust analyses of yield stability in LTEs, and to subsequently design stable cropping systems that are better adapted to a changing climate.

Literature

Reckling M, Ahrends H, Chen T-W, Eugster W, Hadasch S, Knapp S, Laidig F, Linstädter A, Macholdt J, Piepho H-P, Schiffers K, Döring TF (2021) Methods of Yield Stability Analysis in Long-Term Field Experiments. A Review. *Agronomy for Sustainable Development* 41 (2):27. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00681-4>

Innovative Konzepte zum Anbau von Sommermohn mit Körnerleguminosen

Katharina Luhmer^{1,3}, Hanna Blum¹, Josef Schmidt² und Ralf Pude^{1,3}

¹Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz – Nachwachsende Rohstoffe, 53359 Rheinbach ²Biolandhof Grenzmühle, 92681 Erbdorf ³Universität Bonn, Außenlabor Campus Altendorf, 53359 Rheinbach. E-Mail: kluhmer@uni-bonn.de

Einleitung

Der Mohn ist eine traditionelle Kulturpflanze, dessen Anbau jedoch durch Risiken gekennzeichnet ist, die in einigen Jahren auch zum Totalausfall des Bestandes führen können. Das Anbaurisiko auf mehrere Kulturen zu verteilen und die Flächennutzungseffizienz durch optimierte Ressourcenausnutzung zu erhöhen, sind zentrale Ziele des Mischanbaus^{1,2,3}. Ebenso kann eine Co-Kultur die Bodenbedeckung im gesamten Bestand erhöhen und somit zu einer verbesserten Unkrautkontrolle beitragen^{2,3}. Der gemeinsame Anbau von Mohn mit Körnerleguminosen zielt zudem vor dem Hintergrund der Dreschbarkeit beider Kulturen auf eine gemeinsame Ernte bei zusätzlichem Ertrag ab. Dies wurde daher im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten „Regio-Mohn“-Projekts (2018-2021) untersucht.

Material und Methoden

Als Mischungspartner wurde die Sommermohnsorte `Mieszko` mit zwei Lupinensorten (`Boruta`, `Boregine`) oder Beluga-Linsen kombiniert, sowie die jeweiligen Kulturen als Reinsaaten angebaut. Die Versuchspartzellen (je 30 m²) wurden als vollständig randomisierter Feldversuch in vier Wiederholungen auf einem langjährig ökologisch bewirtschaftetem Praxisbetrieb in Bayern (Friedenfels, 519 m ü NN, uL, Ackerzahl 30) angelegt. Der Mohn wurde mit einem Reihenabstand von 33 cm ausgesät (20.04.2019; 11.04.2020) und die Körnerleguminosen zwischen den Mohnreihen ausgebracht (20.04.2019; 13.04.2020). Die Saatstärken betragen 1,5 (Mohn), 85 (`Boregine`), 87 (`Boruta`) und 81 kg ha⁻¹ (Linse). Eine Unkrautregulierung fand 2019 nur maschinell (Hacke) in den Reinsaaten statt. 2020 wurden zusätzlich auch Reinsaaten ohne Hackgang angelegt. Die Pflanzenhöhe wurde während des Wachstums und zur Ernte dokumentiert. Der Unkrautbesatz in den Mohnparzellen wurde 2020 mit Hilfe von Boniturnoten zwischen 1 (gering) und 10 (sehr hoch) geschätzt. Die Ertragsparameter wurden manuell an je drei laufenden Metern pro Kulturpflanze und Parzelle bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Sowohl Sommermohn als auch Leguminosen konnten sich in beiden Versuchsjahren etablieren. Im Jahr 2019 war die Wuchshöhe in der Mohnreinsaat zur Ernte (87 cm) signifikant höher als die des Mohns im Gemenge (71-79 cm, Tab.1). 2020 war kein signifikanter Höhenunterschied zwischen den Varianten messbar. Das Wachstum der Leguminosen erfolgte gleichmäßig, blieb jedoch in allen Varianten unterhalb von 60 cm und damit niedriger als das der Mohnpflanzen. Zum Zeitpunkt des Schossens des Mohns wurde bereits eine signifikant höhere Verunkrautung (6,0-7,3) in den ungehackten Reinsaaten von Mohn und `Boruta` sowie in der Kombination Mohn und `Boruta` gegenüber den Linsen (gehackt und in Kombination mit Mohn) sowie der gehackten `Boregine`-Reinsaat (2,6-3,1) festgestellt. Die höhere Verunkrautung der

‘Boruta’-Varianten wurde zum Erntezeitpunkt bestätigt. Insgesamt wurde neben den gehackten Varianten der geringste Unkrautbesatz in den Varianten mit Linse (<5) festgestellt. In Bezug auf einen unkrautregulierenden Effekt konnte 2020 daher insbesondere die Linse als Mischungspartner Vorteile im Anbau mit Mohn bieten.

Die Mohnertragsparameter wiesen 2019 keine signifikanten Unterschiede zwischen Mohnreinsaat und Mohn im Gemenge auf, der Samenertrag war jedoch tendenziell in der Reinsaat erhöht (Tab. 1). 2020 war der Ertrag der beiden Mohn Reinsaaten (gehackt 948 kg ha⁻¹; ungehackt 760 kg ha⁻¹) signifikant höher als der Ertrag von Mohn mit Linse (418 kg ha⁻¹). Dies zeigt, dass ertragswirksame Konkurrenzeffekte zwischen den Mischungspartnern auftraten, die den Mohnertrag insbesondere in der Mischung mit Linse reduzierten. Die Erträge der Körnerleguminosen unterschieden sich 2019 nicht signifikant voneinander, tendierten jedoch in den Reinsaaten zu erhöhten Erträgen. 2020 war der Ertrag von ‘Boregine’ in Reinsaat (ungehackt 2.862 kg ha⁻¹, gehackt 3.514 kg ha⁻¹) signifikant höher als in Mischung mit Mohn (2.062 kg ha⁻¹), bei ‘Boruta’ war ebenfalls der Ertrag in Reinsaat etwa doppelt so hoch wie im Gemenge. Der Ertrag der Linse reduzierte sich im Gemenge (634 kg ha⁻¹) in geringem Maße gegenüber der Reinsaat (816 kg ha⁻¹).

Tab. 1 Ertragsparameter von Sommermohn ‘Mieszko’ (M) in Reinsaat sowie im Gemenge mit Linsen und Lupinen (‘Boruta’, ‘Boregine’) aus manueller Ernte am Standort Friedenfels 2019 und 2020. Kleinbuchstaben markieren signifikante Unterschiede zwischen den Varianten im jeweiligen Parameter und Jahr (ANOVA + Tukey-HSD, p<0.05)

		Höhe (cm)	Pflanzen pro m ²	Samenertrag (kg ha ⁻¹)	Strohertrag (kg ha ⁻¹)
26.08. 2019	M gehackt	87,3 ± 0,8 c	90,4 ± 21,1	842 ± 59	1.882 ± 177
	M + Linse	71,4 ± 3,7 a	90,4 ± 7,6	540 ± 284	1.148 ± 696
	M + Boruta	76,7 ± 2,2 ab	80,6 ± 2,7	594 ± 44	1.518 ± 24
	M + Boregine	78,7 ± 1,6 b	87,1 ± 5,0	580 ± 151	1.328 ± 276
19.08. 2020	M ungehackt	95,4 ± 9,5	193,1 ± 34,7	760 ± 253 a	4.293 ± 864 ab
	M gehackt	104,5 ± 8,2	143,8 ± 21,6	948 ± 63 a	4.992 ± 416 a
	M + Linse	89,8 ± 5,6	151,6 ± 25,0	418 ± 138 b	2.702 ± 480 c
	M + Boruta	93,9 ± 4,9	154,7 ± 27,1	680 ± 169 ab	3.733 ± 648 abc
	M + Boregine	101,6 ± 11,7	138,2 ± 47,8	618 ± 23 ab	3.552 ± 309 bc

Insgesamt zeigte sich der Mohn gegenüber den Lupinen konkurrenzstärker als gegenüber der Linse, die Linse konnte jedoch zu erhöhter Unkrautregulierung beitragen. Dies wäre in weiteren Versuchen genauer zu überprüfen. Der Mischanbau mit Linsen ist daher eher dann zu empfehlen, wenn der Vermarktungsschwerpunkt auf der Linse liegt. Demzufolge eignet sich die Lupine ‘Boregine’ aufgrund des geringen Unkrautbesatzes eher für eine Kombination mit Mohn.

Literatur

- [1] Lithourgidis, A.S.; Dordas, C.A.; Damals, C.A.; Vlachostergios, D.N. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*, 2011, 5, S.396-410
- [2] Liebmann, M.; Dyck, E. Crop Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. *Ecological Applications*, 1993, 3, S. 92-122.
- [3] Szumigalski, A.; van Acker, R. Weed suppression and crop production in annual intercrops. *Weed Science*, 2005, 53, S. 813-8

Einfluss des Gemengeanbaus auf die Erträge und Rohprotein- erträge verschiedener Körnerleguminosen im Ökolandbau

Nadja Rinke und Herwart Böhm

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Westerau. E-Mail: nadja.rinke@thuenen.de

Einleitung

Grobkörnige Leguminosen lockern die Fruchtfolge auf, erhöhen die Biodiversität in der Agrarlandschaft und besitzen die Fähigkeit mit Hilfe von Rhizobien Luftstickstoff in Knöllchen an den Wurzeln zu binden (Böhm et al., 2020). Daneben stellen die Körner ein proteinreiches und im eigenen Betrieb hergestelltes Futtermittel für Nutztiere dar (Bramm et al., 2006).

Der Gemengeanbau kann für die Produktion viele Vorteile bringen. So ist die Ertragshöhe von Leguminosen über die Jahre geringer und instabiler als bei Getreidekulturen. Der Anbau von einer Leguminose im Gemenge mit einem Getreide kann diese Nachteile ausgleichen (Raseduzzaman und Jensen, 2017). Durch die Nutzung verschiedener Stickstoffquellen wäre ein höherer Proteinertrag in den Gemengen im Vergleich zur jeweiligen Reinsaaten möglich (Rodriguez et al., 2020). Ziel der Untersuchung war ein Vergleich von Gesamt- und Teilerträgen sowie der Rohproteinerträge der Reinsaaten und der Gemenge.

Material und Methoden

Der Parzellenversuch wurde in den Jahren 2018 und 2019 auf dem Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts in Trenthorst/Wulmenau in einer randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen durchgeführt. Am Standort sind Braun- und Parabraunerden vorherrschend mit einem durchschnittlichem Jahresniederschlag von 705 mm und einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 8,8°C. Getestet wurden je zwei Sorten der Körnerleguminosen Futtererbse (*Pisum sativum* L., cv. Astronauta (Halbblatttyp) und Muza (Blatttyp), 90 keimfähige Körner pro m² (KK m⁻²)), Ackerbohne (*Vicia faba* L., cv. Tiffany und Fuego, 40 KK m⁻²), Schmalblättrige Lupine (*Lupinus angustifolius* L., cv. Boruta (endständig) und Boregine (verzweigt), 130 bzw. 100 KK m⁻²) und Weiße Lupine (*Lupinus albus* L., cv. Feodora (verzweigt) und Boros (endständig) 70 KK m⁻²). Sie wurden in den Anbausystemen Reinsaat und Gemenge mit Sommerweizen (cv. Quintus, Reinsaat 400 KK m⁻²) im Leguminose:Getreide-Saatstärkenverhältnis 75%:25% bezogen auf die jeweilige Reinsaat angebaut. Zur Abreife der Kulturen wurde ein Kerndrusch von 17,5 m² der Parzelle durchgeführt und das Erntegut danach gereinigt und die Gemenge getrennt. Für eine Stickstoffanalyse wurden die Proben vermahlen (1 mm Sieb), analysiert und mit dem Faktor 6,5 multipliziert, um den Proteingehalt zu berechnen. Eine Varianzanalyse erfolgte mit der Statistiksoftware SAS (9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2016) und der Prozedur MIXED mit einem anschließenden Post-Hoc-Test Tukey (P<0,05).

Ergebnisse und Diskussion

Die Gesamt- und Teilerträge zeigten einen starken Einfluss des Jahres. In 2019 waren die Gesamtkornerträge bei der Ackerbohne (AB), Schmalblättrigen (BL) und Weißen Lupine (WL) höher als im Jahr 2018. Die Futtererbse (FE) hingegen erzielte 2018 die höheren Gesamtkornerträge. Eine Wechselwirkung von Anbausystem (AnS) x Sorte der Leguminose (SL) konnte für FE festgestellt werden, aber nur bei cv. Muza war der Gesamtkornertrag im Gemenge (24,75 TM dt ha⁻¹) höher als in der Reinsaat (16,13 TM dt ha⁻¹). Eine Wechselwirkung von AnS x Jahr war ebenso bei

der Kultur BL festzustellen. So konnte für 2018 ein höherer Gesamtkornertrag im Gemenge (25,49 TM dt ha⁻¹) geerntet werden als in der dazugehörigen Reinsaaten (19,35 TM dt ha⁻¹). Im zweiten Versuchsjahr bestand kein signifikanter Unterschied. Für die Kultur WL wurde die Wechselwirkung AnS x Jahr ausgewiesen. So erreichten im Jahr 2018 die Gemenge höhere Gesamtkornerträge (27,09 TM dt ha⁻¹) als die Reinsaaten (17,84 TM dt ha⁻¹). Der *land equivalent ratio* (LER) ist ein Index, der den Ertrag pro Flächeneinheit angibt. Ein Index über 1 belegt den Ertragsvorteil des Gemenges gegenüber der Reinsaat beider Kulturen. So hatten alle Gemenge in den beiden Jahren einen Index von 1 oder höher, mit der Ausnahme der WL in 2019 mit 0,97.

Die Teilkornerträge der Leguminosen wiesen bei FE, AB und der BL eine Wechselwirkung von AnS x Jahr auf. Die Erträge der FE waren 2019 in beiden AnS signifikant geringer als 2018. Zusätzlich konnte für 2018 ein geringerer Teilkornertrag im Gemenge (14,83 TM dt ha⁻¹) im Vergleich zur Reinsaat (26,49 TM dt ha⁻¹) festgestellt werden. Die Kulturen AB, BL und WL waren ertragsreicher im Jahr 2019 als in 2018. Weiterhin zeigten diese Gemenge einen geringeren Teilkornertrag als die Reinsaaten.

Das Jahr beeinflusste ebenfalls die Rohproteinträge deutlich (Abb. 1). Die Kulturen FE und die AB wurden von Jahr x AnS und die FE zusätzlich von AnS x SL beeinflusst. Die WL zeigte einen signifikanten Einfluss des AnS.

Beide Jahre waren sehr warm und trocken, sodass die Ertragsleistungen auf einem relativ niedrigen Niveau lagen. Die Ergebnisse spiegeln den starken Einfluss des Jahres und auch des AnS auf die Korn- und Rohproteinträge wider. Der Gemengeanbau führt gegenüber der Reinsaat bei FE zu gleichen oder höheren Rohproteinträgen. AB und WL hingegen erzielten geringere Rohproteinträge in den Gemengen im Vergleich zur Reinsaat.

Neben den bereits erwähnten Vorteilen eines Gemenges zeigt der Ertrag pro Flächeneinheit, dass das Getreide drohende Ertragseinbußen ausgleichen und somit zu stabileren Erträgen in den Gemengen beitragen kann.

Literatur

- Böhm, H., Dauber, J., Dehler, M., Amthauer Gallado, D.A., de Witte, T., Fuß, R., Höppner, F., Langhof, M., Rinke, N., Rodemann, B., Rühl, G., Schittenhelm, S., 2020. Fruchtfolgen mit und ohne Leguminosen: ein Review. *Journal für Kulturpflanzen* 72, 489–509.
- Bramm, A., Böhm, H., Pahlow, G., Berk, A., 2006. Alternatives for the production of forage protein. *Proceedings of the 11th International Lupin Conference: Mexico, where old and new world lupins meet.*, 209-213.
- Raseduzzaman, M., Jensen, E.S., 2017. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *Eur J Agron* 91, 25-33.
- Rodriguez, C., Carlsson, G., Englund, J.-E., Flöhr, A., Pelzer, E., Jeuffroy, M.-H., Makowski, D., Jensen, E.S., 2020. Grain legume-cereal intercropping enhances the use of soil-derived and biologically fixed nitrogen in temperate agroecosystems. A meta-analysis. *Eur J Agron* 118, 126077.

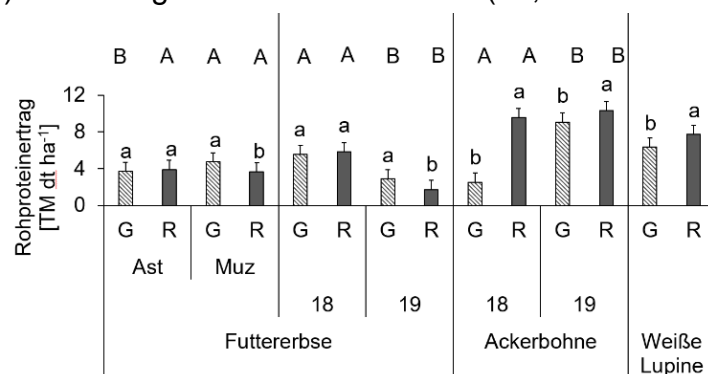


Abb. 1: Gesamtrohproteinträge [TM dt ha⁻¹] für verschiedene Körnerleguminosen in Reinsaat (R) und Gemenge (G). Nur ausgewählte Ergebnisse mit signifikantem Einfluss des Anbausystems wurden dargestellt. Großbuchstaben zeigen Unterschiede zwischen Sorten bzw. Jahren. Kleinbuchstaben verweisen auf Unterschiede zwischen den Anbausystemen. (Varianzanalyse mit anschließendem Post-hoc Tukey-Test mit P<0,05, Muz- cv. Muza, Ast- cv. Astronauta)

Mit Weißer Lupine und Hafer aufs Ganze – Optimierung der Saatstärkenverhältnisse im Gemenge für GPS oder Biogas im ökologischen Landbau

Hannah Holzgreve¹, Inken Cordes¹, Steffen Roux² und Herwart Böhm¹

¹Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst; ²Julius Kühn-Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, Groß Lüsewitz. E-Mail: hannah.holzgreve@thuenen.de

Einleitung

Die Diversifizierung von Fruchtfolgen ist ein Baustein alternativer Anbausysteme. Hier können Lupinen aufgrund ihrer ökosystemaren Leistungen und ihrer Fähigkeit Stickstoff zu fixieren von Nutzen sein. Da Lupinen jedoch wenig konkurrenzstark gegenüber Unkräutern sind (Stoddard, 2017) und teilweise eine ungleichmäßige Kornreife aufweisen (Jannasch und Martin, 1999), kann sich auch die Ganzpflanzenernte von Lupinen mit hoher Biomasseleistung im Gemenge mit Hafer als Biogassubstrat oder als Ganzpflanzensilage zur Fütterung anbieten, denn Hafer ist bekannt für seine gute Unkrautunterdrückung (Fradgley et al., 2017). Im Rahmen des vom BMEL/FNR-geförderten Verbundprojekts LuMi-opt werden Weiße Lupinen und Hafer im Gemenge und in verschiedenen Saatstärkenverhältnissen angebaut, um die ertragsstärksten Gemengekombinationen zu identifizieren.

Material und Methoden

Der Parzellenversuch fand 2019 und 2020 in Trenthorst/Wulmenau in Schleswig-Holstein am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau statt. Der Boden ist ein sandiger Lehm (Pseudogley-Braunerde) und die Bewirtschaftung erfolgt nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus. Der Versuch stand nach Silomais in der Fruchtfolge Klee gras (KG) 1 – KG2 – KG3 – Mais – Körnerleguminosen – Getreide. Es wurden drei Sorten Weiße Lupine (*Lupinus albus* cv. Energy, Rumbo, St07077) in substitutiver Kombination mit zwei Hafern (*Avena sativa* cv. Arborg, F7-Stamm *A. sativa* x *A. byzantina* (Abyz)) in verschiedenen Saatstärkenverhältnissen (75 : 25, 50 : 50 sowie 25 : 75 Lupine : Hafer der jeweiligen Reinsaatdichte von Lupine = 60 keimfähige Körner (KFK) m⁻² und Hafer = 300 KFK m⁻²) angebaut. Die Parzellen waren in randomisierten Blöcken in vier Feldwiederholungen angelegt.

Die Versuchsjahre wiesen Unterschiede in den Witterungsbedingungen zu Vegetationsbeginn und in der Folge im Unkrautmanagement auf. 2019 konnte aufgrund von Niederschlägen im Jungpflanzenstadium nur einmal gestriegelt werden, 2020 wurde drei Mal gestriegelt.

Abhängig vom Erreichen eines TS-Gehalts von 30-35% wurden die Parzellen variantenweise im Verlauf von 4 Wochen sukzessive beerntet. Die Ernte erfolgte für einen Quadratmeter von Hand, um u.a. die Unkrautbiomasse zu ermitteln. Anschließend folgte am selben Tag eine maschinelle Beerntung mit einem Grünfütterernter (F55, Haldrup) zur Ertragsbestimmung. Alle Proben wurden zur Trockenmasse-Bestimmung bei 105 °C für 48 h getrocknet.

Der Landequivalenz-Index (LER) (Mead & Willey, 1980) wurde für jede Parzelle als Verhältnis des Anteils der Kultur im Gemenge im Verhältnis zum Mittelwert der Reinsaat-Parzellen berechnet. Diese LER-Werte wurden zur Berechnung des Index Actual Yield Loss/ Gain (AYL) (Banik et al., 1996) verwendet. Die statistische Auswertung erfolgte mit R (Version 4.0.3) in R-Studio (Version 1.4.1103).

Ergebnisse und Diskussion

Witterung und Unkrautmanagement sorgten im Versuchsdurchschnitt für eine signifikant höhere Unkrautlast in 2019 mit durchschnittlich dreifach höherer Unkrautbiomasse pro m². Auf die GTM-Erträge wirkte sich dies vor allem bei der Lupinensorte Rumbo aus, die 2019 aufgrund ihrer besonders zögerlichen Jugendentwicklung gegenüber dem Unkraut nicht ausreichend konkurrenzstark und daher teilweise von komplettem Ausfall betroffen war, sodass ein signifikanter Jahreseffekt vorlag. Bei dieser Sorte ist das Unkrautmanagement ausschlaggebend für einen erfolgreichen Anbau. Dieser Schwäche zum Trotz wurde in beiden Jahren das höchste Unkrautauflkommen im Gemenge in der Kombination von Abyz mit Lupine St07077 in 75% Lupinensaatstärke festgestellt. Bei allen Gemengen war ein signifikanter Unkrautunterdrückungseffekt durch den Hafer zu beobachten, der sich in abnehmender Unkrautbiomasse bei höherer Hafersaatstärke zeigte. Ein vergleichbarer Effekt ist bei anderen Gemengekombinationen bereits bekannt (z.B. Gronle et al., 2015).

Der GTM-Ertrag lag im Versuchsdurchschnitt beider Jahre bei $81,5 \pm 20,1$ dt ha⁻¹. Obwohl sich ein höheres Ertragsmittel der Gemenge ($88,4$ dt ha⁻¹) im Vergleich zu sowohl den Lupinen- ($71,0$ dt ha⁻¹) als auch den Hafer-Reinsaaten ($72,5$ dt ha⁻¹) zeigte, ergab sich kein signifikanter Unterschied über beide Jahre. Die Wahl der Sorten beider Gemengepartner und ihre Kombination wirkte sich signifikant auf den GTM-Ertrag des Gemenges aus. Der LER der Gemenge schwankte ohne signifikante Varianten-unterschiede zwischen 0,94 für weniger produktive Gemenge bis 1,21. Der Durchschnitt des Gesamtversuchs lag bei 1,07 (2019 bei 0,99 und 2020 bei 1,18) und damit insgesamt nur knapp über dem Wert 1, über dem ein positiver Effekt des Gemengeanbaus vorliegt. Der AYL ermöglichte eine eindeutigere Beurteilung. Varianten mit 75% Lupinensaatstärke und dem Gemengepartner Arborg wiesen für alle Lupinensorten einen Ertragszuwachs im Vergleich zu den Reinsaaten beider Partner auf, während Gemenge mit niedrigeren Saatstärken teilweise Ertragseinbußen verzeichneten.

Insgesamt lagen die GTM-Erträge in einem befriedigenden Bereich, ohne jedoch an Flächenerträge z.B. von Mais heranreichen zu können. Eine positive Vorfruchtwirkung auf die folgende Winterung und eine potentiell hohe Qualität als GPS-Futtermittel könnten jedoch ausschlaggebend für den Anbau von Leguminosengemengen sein. Der Anbau im Gemenge zeigte eine ertragssteigernde Wirkung einiger Kombinationen.

Literatur

- Banik, P. (1996): Evaluation of wheat (*Triticum arvense*) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series system. *Journal of Agronomy and Crop Science* 176 (5), 285-294.
- Fradgley, N.; Creissen, H.; Pearce, H.; Howlett, S.; Pearce, B.; Döring, T.; Girling, R. (2017): Weed Suppression and Tolerance in Winter Oats. *Weed Technology* 31: 1-12.
- Gronle, A.; Böhm, H.; Heß, J. (2015): Weed suppressive ability in sole and intercrops of pea and oat and its interaction with ploughing depth and crop interference in organic farming. *Organic Agriculture*; doi: 10.1007/s13165-014-0095-x
- Jannasch, R. W. und Martin, R. C. (1999): The Potential for Capturing the Forage Yield of White Lupin by Intercropping with Cereals. *Biological Agriculture & Horticulture*, 17/2, 113-130. doi: 10.1080/01448765.1999.9754831
- Mead, R. und Willey, R. W. (1980): The Concept of a 'Land Equivalent Ratio' and Advantages in Yields from Intercropping. *Experimental Agriculture*, 16, 217-228.
- Stoddard, F. L. (2017): Grain Legumes: an Overview. In: Murphy-Bokern, D.; Stoddard, F. L.; Watson, C. A. (Hrsg.): *Legumes in Cropping Systems*. Wallingford: CABI, 70-87.

Zwischenfrüchte und Transfermulch als Düngestrategie für viehlose Ökobetriebe

S.M. Junge¹, M. Plass¹, D. Henzel¹, C. Weiler und M.R. Finckh¹

¹Universität Kassel, Fachgebiet Pflanzenschutz / ²Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Nordbahnhofstr. 1a, D-37213, Witzenhausen, Germany

Einleitung

Die Zahl viehloser Ackerbaubetriebe im Ökolandbau nimmt durch Spezialisierung und Umstellungsbetriebe sowie den neuen Anforderungen einer veganen Lebensmittelproduktion zu. Dies stellt das Nährstoffmanagement in Bezug auf Phosphor und Kalium aber insbesondere auf Stickstoff vor große Herausforderungen und führt zu Abhängigkeit von Nährstoffzukaufen (Foissy et al., 2013). Durch transferierten Mulch aus Gründüngern soll diese verringert und die innerbetrieblichen Nährstoffkreisläufe intensiviert werden. In einem Feldexperiment wurde geprüft, ob die Kombination von Zwischenfrüchten vor ökologisch erzeugten Kartoffeln und die Applikation von Transfermulch eine Düngung durch Handelsdünger kompensieren kann.

Material und Methoden

Der Versuch findet innerhalb eines 4-fach wiederholt ökologologisch pfluglos bewirtschafteten Langzeitexperimentes an der Universität Kassel in Neu-Eichenberg (schwer vergleyte Lössparabraunerde, 9,8°C, 653mm, 75BP) statt. Im Herbst 2019 wurden nach Weizen die Zwischenfrüchte Sandhafer-Ölrettich (abfrierend), Winterwicke und Wicktriticale im Vergleich zu Beikrautbrache als Kontrolle angebaut. Zur Kartoffel, 2020 wurden 100 Kg N über Haarmehlpellets als Kontrolle oder eine Mulchauflage von 50 t ha⁻¹ Klee gras (C/N 21) bzw. Wicktriticale (C/N 23) verwendet. Nmin-Gehalte des Bodens wurden in der Vorfrucht Weizen, den Zwischenfrüchten, den Kartoffeln und der Folgefrucht Weizen erhoben. Kartoffelerträge wurden von 13,5m²/Plot erhoben und in die Größen <35mm, 35-55mm und >55mm fraktioniert.

Ergebnisse und Diskussion

Eine lange Trockenheit vor und nach der Aussaat der Zwischenfrüchte und der feuchtwarme Februar 2020 sorgten für eine geringe Sprossmasseentwicklung (20.04.20): Beikrautbrache 12,7 t, Sandhafer-Ölrettich 11,9 t, Winterwicke 17 t und Wicktriticale 16,3 t FM ha⁻¹. Kühle und trockene Bedingungen im April / Mai waren ungünstig für den Knollenansatz und die Mineralisation. Erst im Juni gab es Niederschläge. Der Juli war wieder trocken, was die Mineralisation von Nährstoffen und den Wuchs der Knollen weiter verzögerte. Der August bot jedoch ausreichend Niederschläge und ermöglichte eine späte Ertragsbildung. In den ungemulchten, gedüngten Kontrollen waren die Nmin Gehalte (0-60cm) im Mai, Juni und August 105, 151 bzw. 100 kg N ha⁻¹. Im Vergleich verringerte Wicktriticale als Transfermulch die Gehalte um 25, 38 und 16%, Klee grasmulch um 24, 44, und 15%. Dies hängt mit der temperaturdämpfenden Wirkung von Mulch (Schonbeck & Evanylo, 1998) zusammen. Bezüglich der Markterträge gab es keine absicherbaren (Tukey HSD) Unterschiede zwischen den Varianten (Abbildung 1). Übergrößenanteile konnten durch die Mulchvarianten reduziert werden, was mit der verbesserte Wasserverfügbarkeit (Mulumba and Lal, 2008) zur Knollenbildung erklärt werden kann.

Die durch die lange Trockenphase verzögerte Mineralisation im Jahr 2020 verursachte hohe Nmin-Gehalte vor dem Winter nach Kartoffeln (17.Okt.2020): 115 kg N ha⁻¹ in der Kontrolle Brache-Ohne Mulch. Abhängig von den Zwischenfrüchten und dem Mulchmaterial betragen die Gehalte, in 0-90 cm, 120-200 kg N ha⁻¹. Die hohen N-Frachten des Mulchmaterials provozieren in Trockenjahren ein hohes Stickstoffauswaschungspotential und stellen die größte Herausforderung bei diesem Düngungsansatz dar. Hier müssen die in der Praxis oft sehr hohen Mulchgaben reguliert und durch geeignete Nachfrüchte inklusive catch crops gegengesteuert werden.

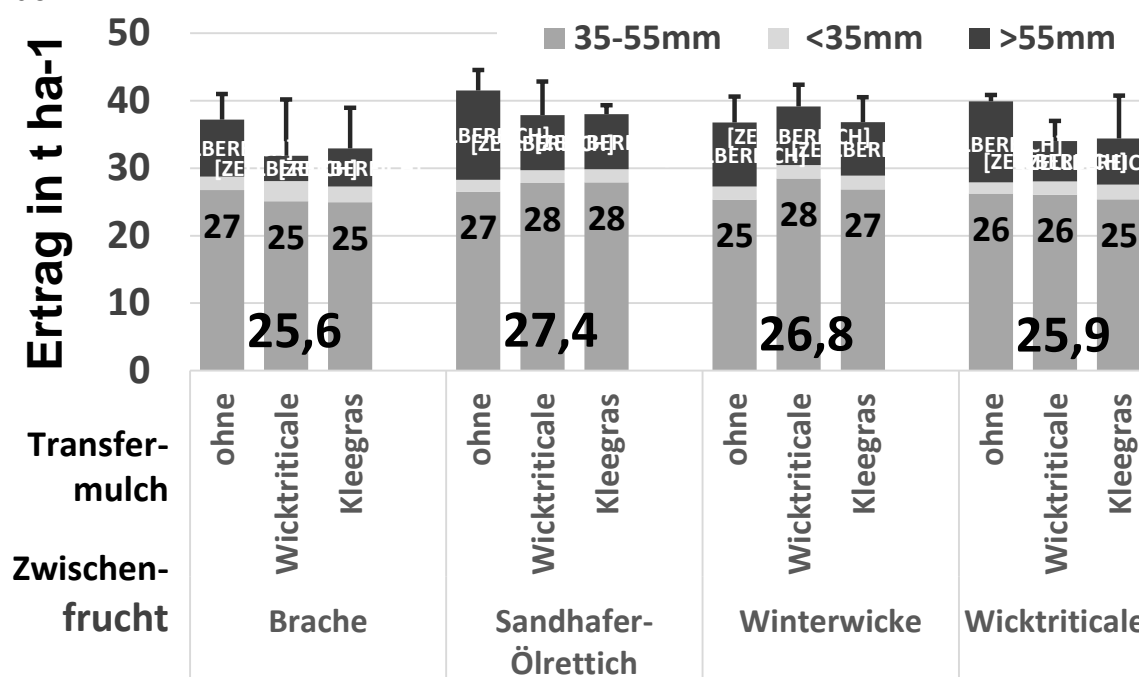


Abb. 1 Erträge und Verluste aus der Größensortierung. Die unteren grauen Balken geben die Markterträge (35-55mm), hellgraue die Untergrößen (<35mm) und dunkelgraue die Übergrößen (>55mm) wieder. Die Prozentwerte in den Balken stellen die relativen Verluste durch die Größensortierung dar. T gibt die Fehlerbalken in positiver Richtung an.

Transfermulch kann den Handelsdüngereinsatz kompensieren. Jedoch illustrieren die Effekte der verschiedenen Varianten auf Mineralisation, Ertrag und N-Auswaschungsgefahr die Bedeutung der vorhergehenden Zwischenfrucht, der Mulchart und der Folgekultur. Praktiker müssen für die Stickstoffflüsse sensibilisiert und vom Transfermulcheinsatz zum Transfermulchsystem bewegt werden um der Komplexität der Anwendung Rechnung zu tragen. Ansonsten drohen Ineffizienz bei der Düngung und hohe Grundwasserbelastungen mit Nitrit und Nitrat.

Literatur

- Foissy, D., Vian, J.-F., David, C., 2013 Managing nutrient in organic farming system: reliance on livestock production for nutrient management of arable farmland. *Org. Agric.* 3, 183–199. <https://doi.org/10.1007/s13165-014-0060-8>
- Mulumba, L.N., Lal, R., 2008 Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil Tillage Res.* 98, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.10.011>
- Schonbeck, M.W., Evanylo, G.K., 1998 Effects of Mulches on Soil Properties and Tomato Production I. Soil Temperature, Soil Moisture and Marketable Yield. *J. Sustain. Agric.* 13, 55–81. https://doi.org/10.1300/J064v13n01_06

Das Vorhaben wurde im Rahmen des Projektes **VORAN** (FKZ 2818OE016) durch Mittel des Bundesministeriums für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) über das Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) gefördert.

Teilflächenspezifische Düngung in kleinstrukturiertem Ackerbau – eine Analyse der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen

Thomas Koppenhagen, Rolf Weber und Markus Frank

Institut für Angewandte Agrarforschung, Hochschule für Wirtschaft & Umwelt Nürtingen-Geislingen, Neckarsteige 6-10, 72622 Nürtingen. E-Mail: markus.frank@hfwu.de

Einleitung

Es gibt sehr wenige Studien, welche die Nachhaltigkeitsleistung eines digital-unterstützten Ackerbaus im Vergleich zu herkömmlichen intensiven Bewirtschaftungsweisen bewerten (Sharma et al. 2020), insbesondere nicht vor dem Hintergrund kleinstrukturierter Agrarsysteme, wie diese in Süddeutschland vorherrschen. In diesem Projekt wurden daher in Praxisversuchen auf zwei Ackerbaubetrieben in Baden-Württemberg die Auswirkungen teilflächen-spezifischer Düngung auf die ökonomische und ökologische Leistung des Anbaus von Winterweizen und Wintergerste untersucht. Die Anbauversuche wurden im Rahmen des BMEL-geförderten Experimentierfelds „DiWenkLa“ („Digitale Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige kleinstrukturierte Landwirtschaft“) durchgeführt und ausgewertet.

Material und Methoden

Die Praxisversuche in Winterweizen und Wintergerste wurden betriebsüblich angelegt und bewirtschaftet. Für die Differenzierung der einheitlichen von der teilflächen-spezifischen (TFS) Düngung wurden die Winterweizen- bzw. Wintergerstenschläge in jeweils eine vergleichbare Kontroll- und eine Versuchsfläche unterteilt und unterschiedlich mineralisch (jeweils eine 70% und eine 100% N-Stufe) teilflächen-spezifisch bzw. einheitlich 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 der Software Skyfld 1.0 (Helm AG, Hamburg) erstellt. Die Bewertung der ökologischen und ökonomischen Dimension der Nachhaltigkeit erfolgte mittels der sog. Ökoeffizienzanalyse (Frank et al. 2012). Diese Methodik ist in der Lage, über den gesamten Lebenszyklus aller Inputs und Outputs des Produktionssystems Synergien bzw. Zielkonflikte zwischen der ökologischen und ökonomischen Leistung des Systems aufzuzeigen.

Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Versuchsjahr wurden im Mittel über die verschiedenen Wintergersten-Versuche Ertragssteigerungen bei der 70% N-Düngestufe von mehr als 10% erzielt, im Winterweizen von ca. 6%. Die entsprechenden durchschnittlichen Mehrerlöse durch die teilflächen-spezifische Düngung beliefen sich dementsprechend auf ca. 66-73 €/ha. Mittels der Ökoeffizienzanalyse wurde die ökologische Leistung der teilflächenspezifischen Düngung bewertet. Die höhere Ressourceneffizienz durch die teilflächenspezifische Düngung führte zu einer besseren Leistung bei Wirkkategorien wie z.B. dem Klimawandelpotenzial oder dem Eutrophierungspotenzial. Aufgrund der höheren Ressourceneffizienz im Fall der TFS-Düngung, insbesondere der mit einem sehr hohen Energieverbrauch einhergehenden Erzeugung von Mineraldüngern sowie der Feldemissionen von Lachgas, reduzieren sich die Umweltbelastungen pro Tonne produziertem Getreide in allen relevanten

Wirkkategorien. Der Kohlenstoff-Fußabdruck der Wintergerste bzw. des Winterweizens reduzierte sich bspw. um 3,4 % bzw. 4,3 %. Gleichzeitig verbesserte sich die Profitabilität des Anbaus um 6,69 €/t bzw. 6,45 €/t. Diese präliminären Daten deuten folglich auf eine Erhöhung der ökologischen und ökonomischen Leistung beider Produktionssysteme durch die teilflächen-spezifische Düngung hin. Die Auswertung weiterer mehrjähriger und mehrortiger Versuche ist notwendig, um die hier beobachteten Tendenzen abzusichern.

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

Kartoffelpflanzen unter Phosphormangel – eine Untersuchung der Wurzelsysteme und Phosphataseaktivitäten

Mareike Kavka¹, Julian Kirchgesser¹, Mousumi Hazarika², Kati Korn¹, Vanessa Paap¹, Silvia Bachmann-Pfabe², Klaus J. Dehmer² und Ralf Uptmoor¹

¹Pflanzenbau, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock; ²Groß Lüsewitzer Kartoffel-Sortimente (GLKS), Teilsammlungen Nord, Leibniz Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), Groß Lüsewitz. E-Mail: mareike.kavka@uni-rostock.de

Einleitung

Phosphor (P) ist ein essentielles Nährelement für alle Lebewesen, das in großen Mengen in Form von Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht wird. Von den Pflanzen nicht aufgenommener P kann ausgewaschen werden und führt dann in Oberflächengewässern zur Eutrophierung. Der Anbau P-effizienter Fruchtarten und Sorten und eine damit einhergehende reduzierte P-Düngung kann zum Umwelt- und Ressourcenschutz beitragen.

Kartoffelpflanzen werden generell als P-ineffizient angesehen. Ein Grund dafür ist das, im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen, nur schwach ausgeprägtes Wurzelsystem (Fixen and Bruulsema, 2014). Phosphor wird von Pflanzen in Form von anorganischem Phosphat über die Wurzeln aufgenommen. Phosphat wird von organischen P-Verbindungen durch Enzyme, die Phosphatasen, abgespalten. Sekretiert machen sie organische P-Verbindungen im Boden pflanzenverfügbar, intrazellulär helfen sie unter anderem beim P-Recycling (Duff et al., 1994). Die Phosphataseaktivität wird bei P-Mangel generell erhöht (Richardson et al., 2011).

Das Ziel der Untersuchungen war es herauszufinden, wie unterschiedliche Kartoffelsorten auf P-Mangel reagieren. Die Schwerpunkte lagen dabei auf der Wurzelsystemarchitektur sowie auf der Aktivität von extra- und intrazellulären Phosphatasen.

Material und Methoden

Die Reaktionen auf P-Mangel verschiedener Kartoffelakzessionen wurden in verschiedenen Versuchen untersucht. Dazu wurden *in vitro*-Pflanzen aus der Sammlung der Groß Lüsewitzer Kartoffelsortimente (IPK-GLKS) genutzt. Zweihundert Akzessionen, bestehend aus Wild- und Kulturkartoffeln sowie aktuellen Stärkesorten, wurden mit viel (HP) und mit wenig (LP) P gedüngt. In einem Topfversuch wurden Biomasse sowie P-Aufnahme und in einem Rhizotronversuch Merkmale der Wurzelsystemarchitektur gemessen. Zwei der Akzessionen wurden detaillierter untersucht: In weiteren Topfversuchen wurden die wurzelassoziierte und intrazelluläre saure Phosphataseaktivität erfasst sowie deren Spezifität gegenüber verschiedenen organischen P-Verbindungen. Außerdem wurden die beiden Akzessionen in einem Langzeit-Feldversuch mit verschiedenen organischen und anorganischen P-Düngern angebaut. Die Konzentrationen des pflanzenverfügbaren Phosphors im Boden reichten von 29 mg kg⁻¹ (ohne P-Düngung) bis 44 mg kg⁻¹ (kombinierte Düngung Rinderdung und TSP). Hier wurden der Ertrag, die P-Konzentration in der Pflanze und die Phosphataseaktivität im Boden gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

Innerhalb der Kartoffel gibt es große Unterschiede in der P-Aufnahme- und -nutzungseffizienz. Die Trockenbiomasse von 200 Akzessionen nach einem Monat Wachstum reichte von 0,17 g bis 4,73 g mit generell kleineren Pflanzen unter LP-Bedingungen. Auch die P-Konzentration sowie -Aufnahme war geringer unter LP. Insgesamt gab es eine große Variabilität in den Reaktionen auf LP, die auf die Möglichkeit zur Auswahl effizienter Pflanzen für den Anbau deutet.

In Mini-Rhizotronen bildeten die meisten Kartoffel-Akzessionen ein kleineres Wurzelsystem unter P-Mangel aus. Auch hier gab es insgesamt starke Unterschiede zwischen den Akzessionen in der Größe des Wurzelsystems.

Bei älteren Pflanzen zweier Akzessionen im Topf zeigte sich eine Verkleinerung des Wurzelsystems unter P-Mangel mit gleichzeitig erhöhtem Wurzel-Spross-Verhältnis. Die Pflanzen hatten mit zunehmender Reduzierung der P-Zugabe steigende Aktivitäten der wurzelsekretierten und intrazellulären sauren Phosphatasen der Wurzel, jedoch nicht der intrazellulären sauren Phosphatasen in jungen Blättern. In älteren Blättern war eine erhöhte Phosphataseaktivität unter P-Mangel zu sehen. Die Phosphatabspaltung durch wurzellosoziierte Phosphatasen von Phytat war weitaus geringer als von Glucose-6-Phosphat, ATP und Glycerol-2-Phosphat. Da im Boden organische P-Verbindungen vor allem in Form von Phytat vorhanden sind, können die wurzellosoziierten Phosphatasen der Kartoffel nur eine kleine Rolle bei der Erschließung organischer P-Verbindungen im Boden spielen.

Bei langjähriger Düngung mit verschiedenen P-Düngern im Feld wurde eine erhöhte saure Phosphataseaktivität im Boden bei organischer Düngung (Biokompost, Rinderdung) im Gegensatz zu anorganischer Düngung (TSP, Asche) gefunden, jedoch nicht in der Kontrolle ohne P-Düngung. Entgegen der Topfversuche unter kontrollierten Bedingungen wurden im Feld kaum Unterschiede in der P-Konzentration der Pflanze und im Ertrag zwischen den Düngevarianten gefunden, was die Möglichkeiten der P-Düngerreduzierung ohne Ertragsverlust bei Kartoffeln unterstreicht.

Literatur

- Duff, S. M., Sarath, G., and Plaxton, W. C. (1994). The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. *Physiol. Plant.* 90, 791–800. doi:10.1111/j.1399-3054.1994.tb02539.x.
- Fixen, P. E., and Bruulsema, T. W. (2014). Potato management challenges created by phosphorus chemistry and plant roots. *Am. J. Potato Res.* 91, 121–131. doi:10.1007/s12230-014-9374-z.
- Richardson, A. E., Lynch, J. P., Ryan, P. R., Delhaize, E., Smith, F. A., Smith, S. E., et al. (2011). Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant Soil* 349, 121–156. doi:10.1007/s11104-011-0950-4.

Ackerbau mit ganzjähriger Bodenbedeckung und Schafhaltung in einem Praxisfeldversuch

Joachim Bischoff*, Oliver Radtke***, Constanze Rusch* und Miriam Athmann**

* Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau, Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg

** Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Universität Kassel, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen

Einleitung

Den aktuellen Herausforderungen in der Landwirtschaft wird auf Bundesebene mit getrennten Strategien für die Bereiche Ackerbau, Nutztierhaltung und Grünland begegnet. Demgegenüber bietet die Kombination von Ackerbau, Nutztierhaltung und Grünland als komplexes System die Möglichkeit der Nutzung synergistischer Interaktionen für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und die Ertragsbildung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. In einem seit 25 Jahren laufenden Langzeit-Praxisfeldversuch zum Vergleich verschiedener Bodenbearbeitungssysteme wurde im Jahr 2020 ein Anbausystem mit Schafhaltung etabliert. Hierzu wurde eine bisher übliche Vierfelderfruchtfolge mit 1 x Blattfrucht, 3 x Halmfrucht und Sommerzwischenfrucht durch Luzerneanbau zu einer 7-Felderfruchtfolge erweitert. In jährlicher Abfolge stehen: Winterweizen/ Luzerne (2016) – Luzerne (2017) – Luzerne (2018) – Hafer-Luzerne-Mischkultur (2019) – Sommerweizen/ Sommerzwischenfrucht (2020) - Mais/ Futterroggen (2021). Die Bewirtschaftung erfolgte seit 2016 nach den Regelungen der EG-Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007 und der Durchführungsverordnung (EG) Nr. 889/ 2008.

Material und Methoden

Der Versuchsstandort befindet sich am Südrand der Magdeburger Börde im nordöstlichen Regenschattengebiet des Harzes. Die klimatologischen Durchschnittswerte von 1981–2010 betragen 511 mm Jahresniederschlag und 9,7 °C Jahresdurchschnittstemperatur. Der Boden am Versuchsstandort ist eine Löss-Schwarzerde aus stark tonigem Schluff (Normtschernosem). In die Auswertung wurden drei Bodenbearbeitungsvarianten einbezogen, und in der Direktsaatvariante wurde zusätzlich der Einfluss der Schafbeweidung ausgewertet: (1) konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug/Packer (25 cm Bearbeitungstiefe), (2) konservierende Bodenbearbeitung mit Grubber (15 cm) und (3a) Direktsaat seit 1996 ohne jede Bearbeitung und (3b) Direktsaat mit Schafweide. Die Schafweide erfolgte auf dem Ackerland von Mitte Oktober 2020 bis Anfang Januar 2021 auf 2.500-3.600 m² abgeäuzten Koppeln (Tabelle 1).

Tab.1: Schafweide auf Ackerland von Mitte Oktober bis Anfang Januar

Termin	Weidetiere	Koppel	Zeitdauer
Okt 20	450 Mutterschafe	3.600 m ²	8 h/ d
Okt 20	400 Mutterschafe	3.600 m ²	8 h/ d
Nov 20	82 Mutter-/ + 100 Jungtiere	2.500 m ²	4 h/ d
Dez 20	82 Mutter-/ + 100 Jungtiere	2.500 m ²	4 h/ d
Jan 21	82 Mutter-/ + 100 Jungtiere	2.500 m ²	4 h/ d

Geprüft wurden der Einfluss der Bodenbearbeitung sowie in der Direktsaatvariante der Beweidung auf ausgewählte bodenbiologische, -chemische und -physikalische Parameter sowie auf die Ackerbegleitflora und den Ertrag der Folgekultur.

Ergebnisse und Diskussion

Nach Tabelle 2 waren zwischen der wendenden Pflugarbeit und der konservierenden Bodenbearbeitung bei allen geprüften bodenphysikalischen Parametern z.T. beträchtliche Unterschiede festzustellen. In der Tendenz erhöhte sich die nutzbare Feldkapazität (nFK) durch langjährigen Pflugverzicht und konservierende Bodenbearbeitung. Nach 25 Jahren Direktsaat kam es zu einer wesentlichen Verringerung der Luftkapazität (LK), wobei der für das Pflanzenwachstum kritische Wert von weniger als 5 Vol.-% unterschritten wurde. Bei ähnlichen Lagerungsdichten wurden im Übergangsbereich von der Unterkrume zur Krumbasis (24-38 cm Bodentiefe) Luftkapazitäten von 3,4 Vol.-% in der Pflug-, 5,8 Vol.-% in der Grubber-, 0,6 Vol.-% in der Direktsaat- und 2,5 Vol.-% in der Direktsaatvariante mit Schafweide ermittelt. Es zeigte sich, dass der Huftritt von Mutterschafen mit Jungtieren in diesem ersten Versuchsjahr keine Nachteile für bodenphysikalische Eigenschaften brachte.

Tab. 2: Bodenphysikalische Parameter (April 2021)

	Bodentiefe [cm]				
	0-6	6-12	16-22	24-30	32-38
TRD [g/cm³]					
Pflug/ Packer (25 cm)	1,26	1,45	1,45	1,47	1,57
Grubber (15 cm)	1,27	1,31	1,54	1,57	1,55
Direktsaat	1,40	1,62	1,60	1,66	1,63
Direktsaat mit Schafweide	1,45	1,56	1,62	1,58	1,56
PV [Vol.-%]					
Pflug/ Packer (25 cm)	51,4	44,3	44,2	43,6	39,7
Grubber (15 cm)	50,8	49,6	41,1	40,1	41,0
Direktsaat	45,6	38,1	38,7	36,5	37,7
Direktsaat mit Schafweide	43,6	40,1	38,2	39,6	40,3
LK [Vol.-%]					
Pflug/ Packer (25 cm)	20,3	10,3	9,5	8,2	3,4
Grubber (15 cm)	17,7	16,1	6,1	4,4	5,8
Direktsaat	8,7	2,4	2,1	0,9	0,6
Direktsaat mit Schafweide	3,3	1,5	0,3	1,0	2,5
nFK [Vol.-%]					
Pflug/ Packer (25 cm)	19,1	19,4	20,4	21,0	21,3
Grubber (15 cm)	21,5	23,3	22,2	24,4	22,8
Direktsaat	25,1	22,3	18,9	18,5	20,0
Direktsaat mit Schafweide	25,0	22,2	21,8	21,5	22,3

Weitere acker- und pflanzenbauliche Prüfmerkmale sollen im Vortrag vorgestellt und diskutiert werden.

Wirkungen von Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und Gärrestdüngung auf Lachgasemissionen im ökologischen Maisanbau

Felizitas Winkhart, Harald Schmid und Kurt-Jürgen Hülsbergen

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising. E-Mail: felizitas.winkhart@tum.de

Einleitung

Die Nutzung der Biogastechnik und der Einsatz von Biogas-Gärresten hat im ökologischen Landbau in den letzten Jahren zugenommen. Die Langzeitwirkungen der Gärreste auf die Umsetzungsprozesse im Boden, die C- und N-Dynamik, die Ertragsbildung und die N₂O-Emissionen sind nicht vollständig geklärt (MÖLLER, 2015).

In einem Dauerfeldversuch mit Energiepflanzen-Fruchtfolgen in der Versuchsstation Viehhausen bei Freising werden die Wirkungen von Biogas-Gärresten auf Ertrag, Stickstoffdynamik im Boden, Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) und N₂O-Emissionen untersucht. Vorgestellt werden zweijährige Versuchsergebnisse von Mais-Varianten, die sich hinsichtlich der Vorfrucht, des Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahrens (Pflug, Mulchsaat, Einsaat in Weißklee) sowie der Düngung unterscheiden.

Material und Methoden

Ab Beginn der Vegetationsperiode im Jahr 2019 bis vier Wochen nach der Ernte im Jahr 2020 wurden die N₂O-Emissionen ein bis zwei Mal wöchentlich mit der „Closed-Chamber-Methode“ gemessen (HUTCHINSON und MOSIER, 1981), zudem wurden die Ammonium- und Nitratgehalte sowie die Bodenfeuchte wöchentlich ermittelt. Für alle Versuchsvarianten erfolgte eine Bestimmung der Erntemenge und der N-Gehalte im Erntegut.

Ergebnisse und Diskussion

In beiden Jahren zeigte Mais nach Grünroggen, Pflugbearbeitung und Gärrestdüngung (G-Mais) die signifikant höchsten N₂O-Emissionen mit 5,7 und 19,0 kg ha⁻¹ N₂O-N, bezogen auf den Zeitraum von Düngerausbringung bis Ernte. Bei einem vergleichsweise hohen Ertrag in 2019 und signifikant höherem Ertrag in 2020 wurden beim Mais nach gemulchter Zwischenfrucht (M-Mais) (85 % Leguminosen-Anteil) deutlich niedrigere N₂O-N-Emissionen gemessen.

Tab. 1: Kumulierte Emissionen in kg ha⁻¹ N₂O-N für den Zeitraum von Aussaat bis Ernte in den beiden Versuchsjahren 2019 und 2020.

Variante	Kumulierte Emissionen	Kumulierte Emissionen
	16.04.-24.09.2019 [kg ha ⁻¹ N ₂ O-N]	24.04.-29.09.2020 [kg ha ⁻¹ N ₂ O-N]
Mais nach Grünroggen, Pflug, ungedüngt (G-Mais-0)	1,0 a	3,3 a
Mais nach Grünroggen, Pflug, Gärreste (G-Mais)	5,7 b	19,0 b
Zwischenfrucht – Mulchen - Mais, Gärreste (M-Mais)	2,0 ab	6,8 b
Weißklee als Einsaat - Mais, Gärreste (W-Mais)	4,9 b	6,6 a

Die Art und Intensität der Bodenbearbeitung hatte neben der Gärrestdüngung deutlichen Einfluss auf die N-Dynamik im Boden, die Ertragsbildung und die N₂O-Flüsse. Im Versuch wurden unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus Silomaisserträge (TM) von maximal 21,1 t ha⁻¹ im G-Mais (2019) und 24,4 t ha⁻¹ im M-Mais (2020) erzielt.

Während des Winters lagen die Emissionen in allen Varianten auf einem niedrigen Niveau. Die Emissionen stiegen nach Düngerausbringung, Saat und Bodenbearbeitung und erreichten in der Variante Mais nach Grünroggen am 12.06.2020 das Maximum von 3.615,8 µg m⁻² s⁻¹ N₂O-N (siehe Abb. 1). Ab Mitte Juli sanken sowohl die Emissionen als auch die N_{min}-Vorräte im Boden.

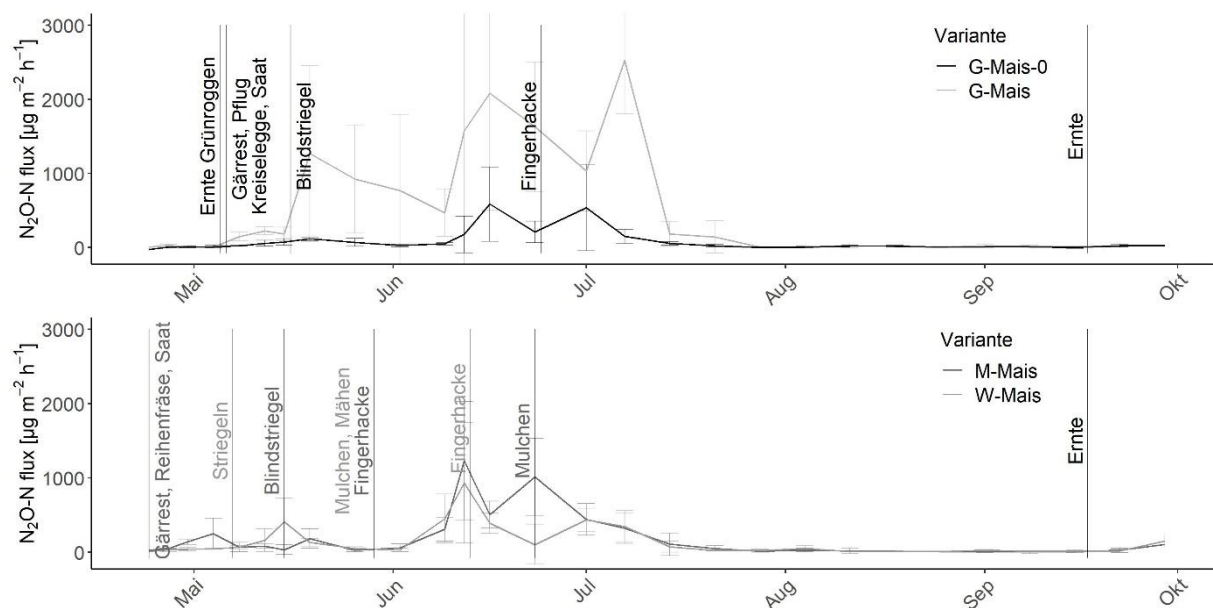


Abb. 1: Lachgasflüsse der vier Varianten für den Zeitraum von Saat bis Ernte im Jahr 2020.

Die Versuchsergebnisse bestätigen das hohe standortspezifische N₂O-Emissionspotenzial. Sie lassen darauf schließen, dass durch pflanzenbauliche Optimierung, wie die Verminderung der Bodenbearbeitungsintensität, die N₂O-Emissionen signifikant reduziert werden können ohne negative Ertragseffekte.

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.

MÖLLER, K., 2015: Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review, *Agronomy for Sustainable Development*. 35, 3, 1021–1041.

Gärreste im Winterraps – Was wird wirksam?

Jana Peters

Institut für Pflanzenbau und Betriebswirtschaft/Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Gülzow-Prüzen. E-Mail: j.peters@lfa.mvnet.de

Einleitung

Auch bei Winterraps ist eine Herbstdüngung unter widrigen ackerbaulichen Grundbedingungen notwendig, um einen schnellen und sicheren Start der Bestände für eine ausreichende Vorwinterentwicklung zu gewährleisten (Schulz 2012). Außerdem kann eine Herbstdüngung ertragssteigernd sein (Sieling et al. 2009), die Wirkungsmechanismen sind aber nicht eindeutig bekannt. Zusätzlich zeigten Versuche, dass der im Herbst eingesetzte mineralische Stickstoff selbst bei signifikanten Mehrerträgen deutlich schlechter verwertet wird als der Stickstoff aus der Frühjahrsdüngung (Peters und Schulz 2016). Wie sich eine organische Herbstdüngung hinsichtlich der Wirksamkeit bis ins Frühjahr einordnet ist zu prüfen, um die Gesamtdüngung im Winterraps auch unter den Aspekten der Klima- und Ressourceneffizienz zu optimieren.

Material und Methoden

Von 2014- 2020 wurde am Standort Gülzow in Mecklenburg-Vorpommern der Einsatz unterschiedlicher Gärrestemengen im Herbst mit Berücksichtigung in der Frühjahrsdüngung geprüft. Der Versuch gliederte sich in zwei Phasen (Tabelle 1). Regelmäßige Bodenprobenahmen zu Versuchsbeginn, Vegetationsende, -beginn und nach der Ernte begleiteten den Versuch. Zur Nutzung des Biomassemodells wurde die N-Aufnahme des Bestandes vor Vegetationsende prüfgliedweise ermittelt.

Tab. 1: Stufenbeschreibung des Faktors Herbstdüngung

PG	N-Herbstdüngung [kg/ha]	N-Frühjahrsdüngung [kg N/ha]			
		Erste Phase		Zweite Phase	
		1. Gabe (ASS)	2. Gabe (KAS)	1. Gabe (ASS)	2. Gabe (KAS)
1	ohne				
2	entspricht N-Gesamtmenge PG 3 (KAS)	100	nach Biomassemodell	100	nach Biomassemodell
3	20 NH ₄ -N mit Gärrest				60
4	40 NH ₄ -N mit Gärrest				40

Ergebnisse und Diskussion

Die Stickstoffdüngung findet sich in der N-Aufnahme der Bestände wieder. Beim Vergleich auf der Basis gleicher N-Gesamtgaben im Herbst wird bei mineralischer Düngung bis zum Vegetationsende mehr Stickstoff durch den Bestand aufgenommen als bei Gärrestdüngung. Die N-Aufnahme entspricht in der mineralisch gedüngten Variante ca. 50% der applizierten N-Gesamtmenge. In den Gärrestvarianten ist kurzfristig bekanntlich nur der Ammoniumanteil verfügbar. Allerdings finden sich unabhängig von der Düngungshöhe ca. 60-70% des applizierten Ammoniums in der Biomasse wieder (Abbildung 1).

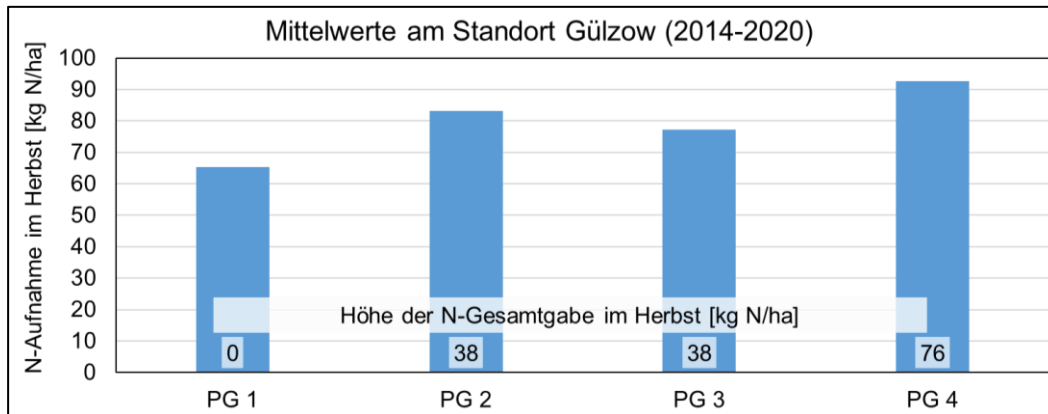


Abb. 1: N-Aufnahme vor Vegetationsende (Mittelwerte 2014-2020)

Die Nutzung des Biomassemodells als Instrument zur Optimierung der Gesamtdüngung im Winterraps ist beim Einsatz von Gärrestdüngung im Herbst weniger hilfreich. Dies wird durch extrem hohen N-Salden dieser Varianten (> 120 kg N/ha) untermauert. Die Umstellung des Versuches (zweite Phase) führte ohne Ertragsverluste zur gewünschten Verringerung der N-Salden (Abbildung 2).

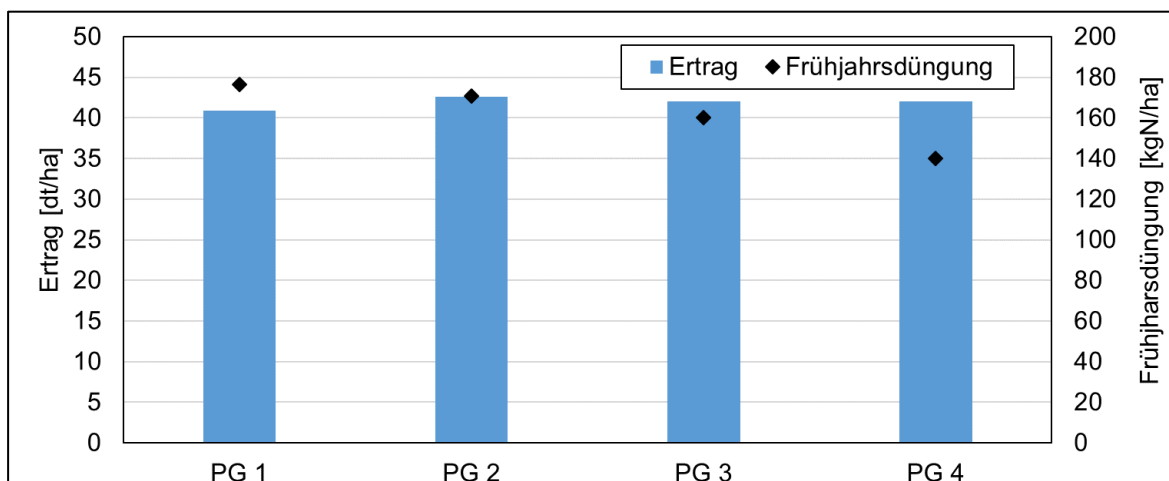


Abb. 2: Kornertrag und mineralische Frühjahrsdüngung (Mittelwerte 2018-2020)

Daraus lässt sich ableiten, dass bereits bei dem kurzfristigen Einsatz von Gärresten zu Winterraps im Herbst > 70% der N-Gesamtmenge des Gärrestes im Frühjahr angerechnet werden können.

Literatur

Peters, J.; Schulz, R.-R. (2016): Ökologische und Ökonomische Bewertung von Stickstoffgaben im Herbst zu Winterraps. In: Raps 34. (3), S. 48–51.

Schulz, R.-R. (2012): Ökologische und ökonomische Bewertung von Stickstoffgaben im Herbst zu Raps. Abschlussbericht. Hg. v. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei. Gülzow-Prüzen.

Sieling, K.; Sauermann, W.; Kage, H. (2009): Optimierung der Stickstoffdüngung zu Winterraps durch schlagspezifische Berücksichtigung von Bestandesparametern und Ertragspotenzial. Abschlussbericht für die Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. Hg. v. Christian-Albrecht-Universität zu Kiel und Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. Kiel.

Modellgestützte THG-Bewertung der Bioenergieerzeugung aus Mais, Raps und Weizen

Dorothee Neukam¹, Jana Puckhaber¹, Rima Rabah Nasser¹, Jarno Rouhiainen²,
Rene Dechow² und Henning Kage¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abt. Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität Kiel. E-Mail: neukam@pflanzenbau.uni-kiel.de

²Institut für Agrarklimaschutz, Thünen-Institut Braunschweig.

Einleitung

Die Bewertung der Klimawirksamkeit der Bioenergieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen anhand geeigneter Indikatoren ist eine wichtige Voraussetzung für politische Weichenstellungen und die Ableitung von THG-Minderungsstrategien. Wichtige Komponenten der Bewertung sind die Ertragsleistung und die Abschätzung der direkten und indirekten N₂O-Emissionen (aus Ammoniak-Volatilisation und Nitratauswaschung). Für die Abschätzung dieser Parameter wurden verschiedene Ansätze definiert, die sich in der Berechnungsweise und im Informationsinput unterscheiden. So werden beim Tier1-Ansatz nach IPCC (2006) globale Emissionsfaktoren unabhängig von Fruchtart und Klima- und Bodenbedingungen genutzt. Diese Informationen können hingegen bei GNOC, einem Tier2-Ansatz, benutzt werden um für verschiedene Fruchtart-Boden-Klima-Kombinationen differenziertere Abschätzungen vorzunehmen (Köble 2014). Allerdings wird bei diesem Ansatz keine Interaktion dieser Faktoren berücksichtigt. Das Zusammenspiel vieler standortspezifischer Einflussfaktoren und die Wirkung auf die für die THG-Bewertung relevanten Komponenten kann mit einem dynamischen Prozessmodell als Tier3 Ansatz abgebildet werden. THG-Kalkulatoren wie z.B. BioGrace (BioGrace 2015; BioGrace 2021) ermöglichen die Betrachtung der gesamten Prozesskette, wodurch ein Vergleich der THG-Wirksamkeit zwischen verschiedenen Bioenergieträgern aus landwirtschaftlich erzeugter Biomasse möglich ist.

Material und Methoden

Deutschlandweite Feldmessdaten aus Silomais-, Winterraps- und Winterweizenversuchen aus zahlreichen abgeschlossenen Forschungsprojekten wurden zusammengetragen und in ein einheitliches Datenformat überführt. Wie in Abb.1 dargestellt werden mit einem zunächst anhand dieser Daten kalibrierten und evaluierten Prozessmodell (implementiert in die Modellumgebung HUME; dynamische Berechnung von Pflanzenwachstum, Bodenwasser- und N-Haushalt) Szenarienrechnungen (langjährige Witterungsdaten, Variation der N-Düngung) durchgeführt und standortspezifische Niveaus der Ertragsleistung, direkter N₂O-Emissionen und der Nitratauswaschung ermittelt. Auch mit den GNOC- und IPCC-Ansätzen werden direkte und indirekte N₂O-Emissionen berechnet.

Mit dem BioGrace-Tool (BioGrace-I und Biograce-II Excel-Tool überführt in R-Tool) werden u.a. produktbezogene und flächenbezogene THG-Indikatoren berechnet und verglichen und zum Vergleich der Bioenergieträger genutzt.

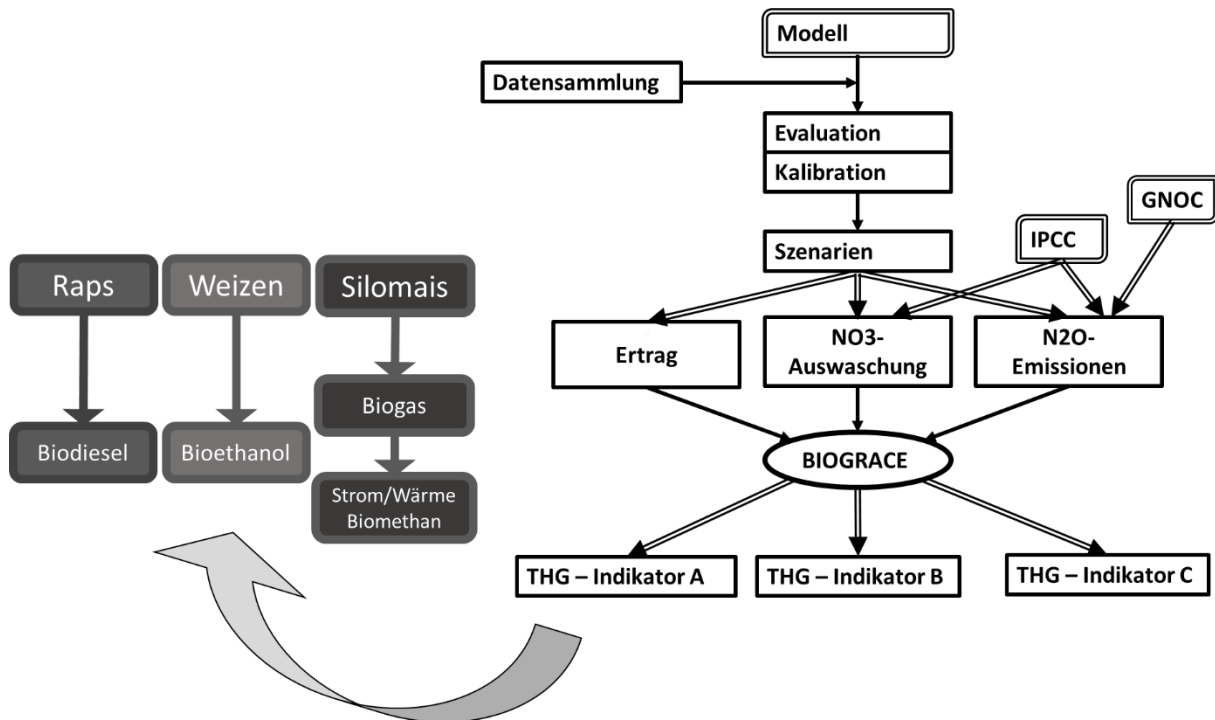


Abb. 1: Überblick über die einzelnen Schritte von der Datensammlung zur Bewertung der Bioenergieträger aus Mais, Raps und Weizen:

1. Erstellen der Datensammlung 2. Verwendung der Datensammlung zur Modellkalibration und-evaluation 3. Szenarienrechnungen mit HUME-Modell, IPCC und GNOC 4. Berechnung verschiedener THG-Indikatoren mittels BioGrace unter Verwendung der Szenarienergebnisse 5. Vergleich der THG-Indikatoren und Bewertung der Bioenergieerzeugung

Ergebnisse und Diskussion

Ergebnisse der Modellrechnungen, der Vergleich verschiedener THG-Indikatoren und die THG-Bewertung der Bioenergieträger aus Raps, Mais und Weizen werden dargestellt.

Literatur

BioGrace 2015: BioGrace I: Harmonised Calculations of Biofuel Greenhouse gas Emissions in Europe. BioGrace-I GHG calculation tool version 4d und calculation rules verfügbar unter <https://www.biograce.net>.

BioGrace 2021: BioGrace II: Harmonised Greenhouse Gas Calculations for Electricity, Heating and cooling from Biomass. BioGrace-II GHG calculation tool version 4 und calculation rules verfügbar unter <https://www.biograce.net>.

IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

Köble, R. 2014. The Global Nitrous Oxide Calculator - GNOC - Online Tool Manual (<http://gnoc.jrc.ec.europa.eu/>), Version 1.2.4 (27-May-2012). JRC Technical Reports. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport.

BioGrace II: Harmonised Greenhouse Gas Calculations for Electricity, Heating and Cooling from Biomass.

Klimaschutz durch Zwischenfruchtanbau? Ergebnisse eines 3-jährigen Verbundprojektes

Thomas Rübiger¹, Lisa Essich², Katja Holzhauser¹, Simone Merl³, Victoria Nasser⁴,
Ingo Pahlmann⁵, Iris Schaper⁶, Michaela Schlathölter⁷, Alexander Stracke⁸
und Henning Kage¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung/Christian-Albrechts-Universität, Kiel

²Institut für Kulturpflanzenwissenschaften/Universität Hohenheim, Stuttgart

³Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig

⁴Department Nutzpflanzenwissenschaften/Georg-August-Universität, Göttingen

⁵Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe

⁶Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover

⁷P. H. Petersen Saatzucht Lundsgaard GmbH, Grundhof

⁸Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen

E-Mail: raebiger@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Die Etablierung von Zwischenfrüchten bietet neben dem Leguminosenanbau eine gute Möglichkeit, die Greening-Auflagen der EU-Agrarpolitik zu erfüllen und die Biodiversität im Anbausystem zu erhöhen (Elhakeem et al., 2019). Durch Zwischenfruchtanbau kann neben der Minderung der N-Auswaschungsrisikos im Herbst und über Winter (Henke et al., 2008) auch das Risiko klimarelevanter indirekter Lachgasemissionen minimiert werden. Die Mineralisation ihrer Residuen kann einen großen Einfluss auf den mineralischen N-Pool im Boden haben: Bei engem C/N-Verhältnis wird das Material schnell abgebaut und erhöht gleichzeitig den Pool an mineralischem N, wodurch in der nachfolgenden Kultur die Mineraldüngergabe und die Herstellungsemissionen für Düngemittel reduziert werden. Jedoch steigt auch das Risiko direkter Lachgasemissionen. Ein weites C/N-Verhältnis führt hingegen zu temporärer Immobilisation von mineralischem Stickstoff und ggf. sogar zu einem erhöhten Düngebedarf. Ziel des deutschlandweiten Verbundprojektes „THG-ZwiFru“ ist es, das Minderungspotenzial von Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft durch einen standortangepassten Zwischenfruchtanbau zu quantifizieren.

Material und Methoden

Es wurden im August 2018 an vier Standorten in Deutschland einheitlich vier verschiedene Zwischenfrüchte sowie Brache als Kontrolle in vollständig randomisierten Parzellenversuchen nach Raps bzw. Erbse etabliert. An zwei Standorten (Hohenschulen, Westerweyhe) wurde als folgende Sommerung Silomais angebaut, an den anderen Standorten (Göttingen, Ihinger Hof) Zuckerrüben. Darauf folgend wurde Winterweizen etabliert. Direkte N₂O-Emissionen wurden mindestens wöchentlich mit der Closed-Chamber-Methode in Zwischenfrüchten und Sommerungen gemessen. Das N_{min}-Monitoring erfolgte monatlich für 0-90 cm Beprobungstiefe, um die N-Dynamik im Boden abbilden zu können. Die N-Düngung zur Sommerung und zu Winterweizen wurde jeweils in vier Gaben gesteigert (0 kg N, 50% Optimum, Optimal, 150% Optimum) und anhand der Ernternten wurden Ertragsfunktionen geschätzt und das Düngungsoptimum abgeleitet. In einem Begleitversuch wurde an drei Standorten der Einfluss des Mulchens vor Winter auf die N₂O-Emissionen und die Mineralisationsdynamik im Oberboden am Beispiel Ölrettich untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die Zwischenfruchtbestände konnten im Vergleich zur Brache die N_{\min} -Gehalte im Boden (0-90 cm Tiefe) um bis zu 48 - 72 kg N/ha bis Vegetationsende reduzieren. Der N_{\min} -Minderungseffekt war hierbei jahres- und standortspezifisch.

Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass Zwischenfruchtanbau jedoch mit signifikant höheren N_2O -Emissionen im Vergleich zur Brache verbunden ist. Die kumulierten N_2O -Emissionen betragen im Mittel der Standorte und Jahre zwischen 0,2 - 2 kg N_2O_N/ha für die Phase unter Zwischenfrucht sowie

zwischen 0,6 – 1,5 kg N_2O_N/ha während der Sommerung nach Zwischenfrucht. Bei der Kontrolle waren es im 1. Zeitraum 0,2 – 0,8 kg N_2O_N/ha und kg 0,03 – 0,8 N_2O_N/ha während der Sommerung. Ein Mulchen vor Winter verstärkte im 1. Versuchsjahr standortübergreifend diesen Effekt für Ölrettich signifikant (Abb. 1).

Das Potenzial, N-Dünger einzusparen, variierte je nach Zwischenfrucht und Standort. Durch Ölrettich konnten z.B. bei Mais 10 kg N/ha eingespart werden (Hohenschulen), in Westerweyhe mussten im Vergleich zur Kontrolle nach Ölrettich sogar 15 kg N/ha mehr gedüngt werden. Dies zeigt die Notwendigkeit, Zwischenfruchtanbau standortspezifisch zu gestalten. Auch im folgenden Winterweizen (nach der Sommerung) konnte eine Düngereffekt durch die Zwischenfrüchte festgestellt werden. Bei Ölrettich betrug das N-Einsparpotenzial ~ 30 kg an den Maisstandorten. Prozessbasierte Modelle würden die Möglichkeit bieten, die auftretenden Wechselwirkungen näher zu analysieren und somit zum Systemverständnis beitragen.

Literatur

Elhakeem, A., van der Werf, W., Ajal, J., Lucà, D., Claus, S., Vico, R.A., Bastiaans, L. (2019): Cover crop mixtures result in a positive net biodiversity effect irrespective of seeding configuration. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 285, 106627

Henke, J., Böttcher, U., Neukam, D., Sieling, K., Kage, H. (2008): Evaluation of different agronomic strategies to reduce nitrate leaching after winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using a simulation model. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 82 (3): 299–314

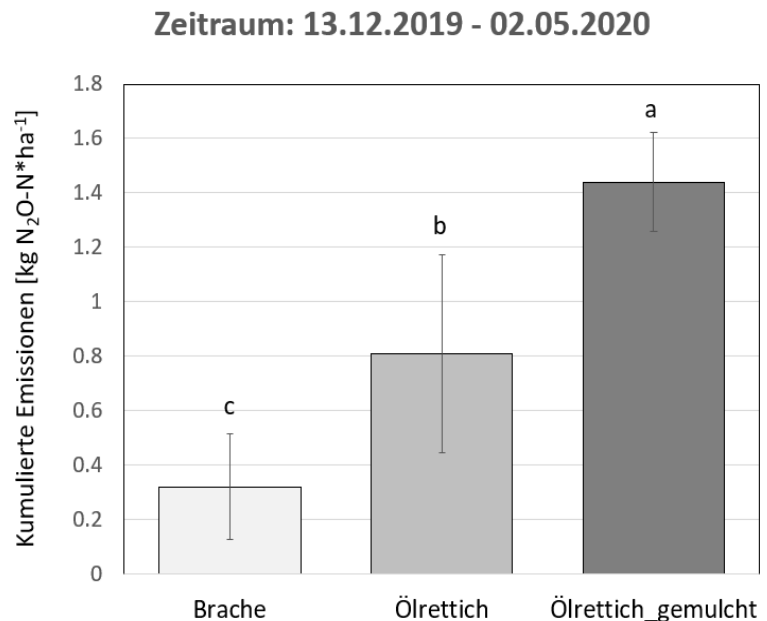


Abb. 1: Einfluss des Mulchens auf die N_2O -Freisetzung von ungedüngtem Ölrettich. Standort: Hohenschulen, Brache = Kontrolle

The bioeconomy potential of hemp (*Cannabis sativa* L.): challenges of new genotypes and cultivation systems to meet the rising demand for phytocannabinoids

Lisa Burgel

Universität Hohenheim

Introduction:

As part of the European Green Deal alternative raw materials need to be integrated into various industrial sectors, to reach a closed circular and zero waste economy (European Commission, 2019). These ambitious targets pose major challenges to the agricultural sector. A solution for a less environment-affecting crop production could be the selection of crops, which can be used in a broad range of ways for a sustainable economy along the agricultural value chain. Hemp as a prime example of a multifunctional crop is excellently suited for recycling management due to its versatility and the usability of the whole plant (roots, grains, leaves, flowers, stems). Hence, the real added value of hemp lies in its ability to produce different products with one crop. The medical benefits of hemp, based on the phytocannabinoids, are gaining attention worldwide. Above all, innovative markets in the food, cosmetics and pharma industry are growing fast, with a focus on cannabidiol (CBD), the leading cannabinoid of the hemp plant, as an ingredient for various products.

Basically, it is important to differentiate between industrial hemp, and medical phytocannabinoid-rich (PCR) cannabis. Industrial genotypes meet the 0.2% Δ^9 -THC limit mandated by the European Union (EU) legislation, and therefore, can be legally cultivated by farmers on a field scale. PCR genotypes contain high amounts of non-psychoactive cannabinoids such as CBD in the range of 10 – 30% while their Δ^9 -THC content is below 0.2%. These genotypes are currently being bred but are still barely available on the market. Cannabinoid extraction from industrial hemp cultivated on a field scale could provide a decisive advantage as the harvested biomass quantities could be significantly increased through better land use and cost management, compared to an indoor production system. In addition, the multi-functionality of the industrial hemp can provide added economic value. Therefore, existing cultivation systems for fiber and oilseed production have to be modified as the harvesting time and harvested organs are expected to differ greatly from previous systems (Burgel et al., 2020a). In order to achieve this, one specific objective of the thesis was to determine the yield potential of selected industrial hemp genotypes with regard to inflorescence and biomass yield as well as cannabinoid content, depending on genotype, growth stage and biomass fraction in an outdoor cultivation system.

Further, the choice of the appropriate cultivation system depends on the intended use of the raw material. A uniform flower yield between growth cycles is important. As all environmental factors can be controlled within an indoor system, these production systems guarantee a high quality standard, which is mandatory to produce medical grade cannabis to serve the pharmaceutical sector. Due to this fact, indoor cultivation is strongly moving into focus. As indoor cultivation is a high cost production system, because of processing costs and regulatory limitations, a cost effective production chain with an optimized use of space is one of the main targets. The adaptation of the plant architecture, through the targeted use of synthetic phytohormones could be a sustainable option, aiming for a small and compact plant morphology to reach high floral yields, and thus, high yields of CBD per unit area. For a higher level of standardization during the cultivation processes, the impact of exogenously applied phytohormones on the plant architecture of different PCR genotypes was investigated as well as yield potential of flowers and CBD contents (Burgel et al., 2020b). Additionally, the growth performance and yield potential of flowers and CBD contents of PCR

genotypes grown in different substrate compositions was evaluated to further optimize these systems (Burgel et al., 2020c).

Materials and methods: The cultivation of seven industrial hemp genotypes (Finola, Fédora17, Ferimon, Féлина32, Futura75, USO31 and Santhica27) was carried out in a two-year field experiment in 2017 and 2018. Sampling of leaves and inflorescence, took place at four specific growth stages: vegetative leaf stage (S1), bud stage (S2), full-flowering stage (S3), and seed maturity stage (S4). Dry matter of the sampled biomass fractions was recorded, and the content of CBD was analyzed.

Additionally, two greenhouse experiments were set up, to investigate a higher level of standardization for indoor systems. Specific PCR genotypes, namely KANADA, 0.2x and FED were treated exogenously with phytohormones, such as 1-naphthalenaecetic acid (NAA), a synthetic analogue of auxin concentrated to 10 mg L⁻¹, 6-benzylaminopurine (BAP), a synthetic analogue of cytokinins concentrated to 50 mg L⁻¹ and a mixture (NAA/BAP-mix) of both solutions on the plant architecture (total plant height, axillary branch length, and number of internodes). Furthermore, the differences in flower yields resulting from morphological changes in these genotypes and their CBD content was investigated. In addition, the impacts of the following substrate compositions: (a) peat-mix growth media (PM); (b) peat-mix substituted with 30% of green fibers (G30), and (c) pure coco coir fibers (CC), on growth performance, flower yields as well as CBD contents were tested for the specific PCR genotypes (KANADA and 0.2x).

Results and discussion: The results indicated that the content of cannabinoids highly depended on the genotype and growth stage. Thus, to improve existing cultivation systems of industrial hemp, inflorescence yields must be considered for an optimized harvest result. Selected genotypes such as Futura75, Fédora17, Féлина32, Ferimon, Finola were highlighted to have the highest CBD content (Figure 1). Taking into account that highest yields of threshing residues could be recorded after seed maturity (S4; Table 1), the further recycling of threshing residues for CBD production at field level is highly recommended.

Table 1. Mean dry weight (DW) of selected genotypes over the years 2017/18. Results are presented as mean values ± standard error. Means in one column followed by the same letter are not significantly different as indicated by *Tukey*-test ($\alpha=0.05$). S=vegetative growth stage, S2=bud stage, S3=full-flowering stage, S4=seed maturity stage (defined after Mediavilla et al., 1998).

Genotype	Upper-leaves	Lower-leaves	Inflorescence		
	DW [g m ⁻²]	DW [g m ⁻²]	DW [g m ⁻²]		
	S1 - S4	S1 - S4	S2	S3	S4
Fédora 17	215.85 ± 43.52 ^a	204.02 ± 44.73 ^a	11.16 ± 5.10 ^{bc}	60.82 ± 27.79 ^b	442.00 ± 201.98 ^a
Féлина 32	181.66 ± 36.63 ^{bc}	168.97 ± 37.26 ^a	4.90 ± 2.24 ^{bc}	52.35 ± 23.92 ^b	303.39 ± 138.64 ^a
Ferimon	159.10 ± 32.08 ^c	164.93 ± 36.16 ^a	6.82 ± 3.12 ^{bc}	56.59 ± 25.86 ^b	257.28 ± 117.57 ^a
Finola	121.65 ± 26.09 ^d	95.75 ± 23.80 ^b	205.48 ± 116.98 ^a	363.92 ± 207.18 ^a	352.54 ± 200.77 ^a
Futura 75	185.57 ± 37.42 ^{bc}	174.85 ± 38.34 ^a	4.46 ± 2.04 ^c	40.60 ± 18.55 ^b	259.56 ± 118.61 ^a
Santhica 27	206.46 ± 41.63 ^{ab}	229.59 ± 50.34 ^a	9.58 ± 4.38 ^{bc}	27.17 ± 12.41 ^b	408.99 ± 186.89 ^a
USO 31	164.80 ± 33.23 ^c	184.37 ± 40.42 ^a	14.45 ± 6.61 ^b	84.30 ± 38.52 ^b	299.97 ± 140.06 ^a
p-values					
Genotype [G]	0.0015	0.0390	0.1022		
Growth Stage [S]	0.8681	0.5810	0.0343		
GxS Interactions	0.1174	0.1749	0.0135		

Although the CBD maximum of the highlighted genotypes was reached at full flowering (S3), due to the optimized yield of threshing residues the calculated total CBD yield per square meter was highest after seed maturity. In conclusion, harvesting after seed maturity seems to be economically beneficial. These findings make selected industrial hemp genotypes excellent candidates for multipurpose cropping with respect to biomass production and CBD extraction, thus realizing the full potential of the plant by upgrading the directions of use (Burgel et al., 2020a).

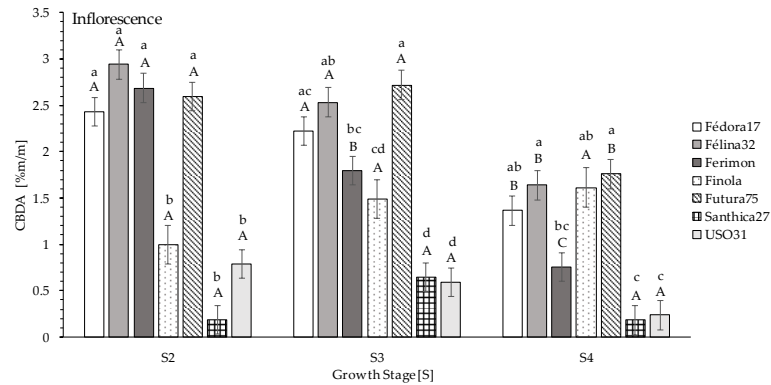


Figure 1. Mean content of cannabidiol acid (CBDA) of selected genotypes, over the years 2017/18. Means covered with the same lower-case letter and means covered with the same upper-case letter did not differ significantly at $\alpha=0.05$ as indicated by *Tukey*-test. S=vegetative growth stage, S2=bud stage, S3=full-flowering stage, S4=seed maturity stage (defined after Mediavilla et al., 1998).

Phytohormones can be used to beneficially influence plant architecture. A flexible adaptation of the plant morphology is provided to lay the foundation for sustainable indoor cultivation systems with reduced space requirements. The total plant height showed significant interactions between treatments and measurements over time. Finally, the total plant height over all genotypes was reduced significantly. At harvest NAA treated plants were shortest with a reduction of the total plant height of 28%, followed by a 18% (BAP) and 15% (MIX) reduction among the treatments in comparison to non-treated control plants. Further the length of axillary side branches showed a reduction of 58% (NAA), 19% (BAP) and 30% (MIX), as well as an average reduction of the counted number of internodes, resulting in 17 nodes (NAA), 19 nodes (BAP) and 18 nodes (MIX) among the phytohormone treatments, compared to 21 nodes in case of the control plants (Table 2). Although a more compact plant architecture could be reached through the treatment of phytohormones it is important to have a look at the yield parameters maximize CBD production.

Table 2. Mean of total plant height, length of axillary side branches and number of internodes of PCR genotypes, treated with NAA, BAP and NAA/BAP-mix and a control. Results are presented as mean values \pm standard error. Means in one column followed by at least one identical lower-case letter did not differ significantly as indicated by LSD test ($\alpha=0.05$).

Treatment	Plant height [cm]	Length of side branch [cm]	number of nodes
Control	96.67 \pm 4.43 ^a	45.26 \pm 5.41 ^a	21.1 \pm 0.53 ^a
NAA	69.20 \pm 4.43 ^b	19.23 \pm 2.25 ^c	17.34 \pm 0.53 ^b
BAP	79.53 \pm 4.43 ^b	36.46 \pm 4.21 ^{ab}	18.69 \pm 0.53 ^b
NAA/BAP-mix	81.74 \pm 4.43 ^b	31.63 \pm 3.77 ^b	18.38 \pm 0.53 ^b

Flower yield per plant showed significant interactions between genotype and treatment. Genotype KANADA had no biomass reduction through NAA or BAP treatments even though the plants were shorter with a reduced side branch length and number of nodes. Additionally, genotype KANADA indicated with 10.3% the highest CBD content. Genotype 0.2x had only a similar high floral yield when treated with BAP. Genotype FED showed a reduced floral yield among the treatments. Generally, it is important to point out, that phytohormones had no reducing effect on the CBD content. The application of phytohormone gives the possibility to influence the plant architecture in a beneficial way, without reducing flower yield or CBD content. The study showed in detail, that NAA led to more compact plant morphology with a consistently high floral yield for genotype KANADA, whereas CBD content was not affected. Management methods such as pruning and netting for morphological adjustments are very costly and have an increased risk of infections. Phytohormones could offer an alternative on a genotype-specific level, without injuring the plant by cutting or pruning (Burgel et al., 2020b).

Table 3. Mean flower dry weight (DW) of genotypes, treated with NAA, BAP and NAA/BAP-mix and a control. Results are presented as mean values \pm standard error. Means of treatments in one column followed by at least one identical lower-case letter and means of genotypes in one row followed by at least one identical upper-case letter are not significantly different as indicated by LSD test ($\alpha=0.05$).

Trait	Treatment	Genotype		
		KANADA	0.2x-genetic	FED
Flower DW [g plant ⁻¹]	Control	24.31 \pm 3.06 ^{aA}	20.83 \pm 3.79 ^{aA}	32.10 \pm 3.76 ^{aA}
	NAA	23.51 \pm 3.10 ^{abA}	7.61 \pm 3.10 ^{bbB}	5.39 \pm 3.10 ^{cb}
	BAP	22.97 \pm 3.11 ^{abA}	15.88 \pm 3.11 ^{abA}	17.61 \pm 3.13 ^{ba}
	NAA/BAP-mix	14.79 \pm 3.13 ^{baB}	8.57 \pm 3.11 ^{bb}	19.12 \pm 3.80 ^{ba}

A healthy root system is the key factor for high floral yields, which is essential for high CBD yields. Therefore, the results from the second indoor experiment investigated the highest root length density (RLD) for plants which were grown in the substrate composition substituted with organic green fibers (G30), with no significant difference to the commercial pure peat substrate (PM), but higher than plants which were grown in coco fibers (CC).

Table 4. Root length density (RLD) of genotypes treated with peat-mix (PM), peat-mix+30% green fiber (G30) and pure coco fiber (CC). Results are presented as mean values \pm standard error. Means of treatments in one column followed by at least one identical lower-case letter are not significantly different as indicated by LSD test ($\alpha=0.05$).

Trait	Substrate	Genotype
RLD [cm cm ⁻³]	PM	2881.65 \pm 317.92 ^{ab}
	G30	3087.51 \pm 306.93 ^a
	CC	2063.09 \pm 317.92 ^b

Flower yield showed a genotype-specific difference among the substrate treatments. Genotype KANADA had a reduced flower yield when grown in a substrate containing green fibers and coco fibers. Genotype 0.2x showed a stable high floral yield among substrate treatments. For both genotypes, no limiting effect on CBD content was enacted by the different substrates.

The different growth performance of the cannabis plants among the substrates could depend on air supply and water-holding capacity of the substrate material. Green fibers are not recommended as a stand-alone growing media (Gruda and Schnitzler, 2004; Domeño et al., 2010). But the high porosity and air holding capacity can optimize physical properties of peat to increase air space and improve re-wetting capacity (Barrett et al., 2016; Maher et al., 2008). However, peat moss is one of the main components in soilless substrates (Nelson, 2003). As moors get permanently destroyed by peat cutting what causes huge environmental problems, substrates containing peat moss have a rather bad CO₂ footprint. Overall, alternative mixtures to replace peat for horticulture purposes are needed (Blok et al., 2009). Based on the results, organic green fibers to partly replacing peat in commercial substrates, offers a genotype-specific option for constant plant growth, a comparable high floral yield and a stable CBD content (Burgel et al., 2020c).

Table 5. Flower dry weight of PCR genotypes, grown on peat-mix (PM), peat-mix+30% green fiber (G30) and pure coco fiber (CC). Results are presented as mean values \pm standard error. Means in one column followed by at least one identical lower-case letter and means in one row followed by at least one identical upper-case letter are not significantly different as indicated by Tukey test ($\alpha=0.05$).

Trait	Substrate	Genotype	
		KAN	0.2x
Flower DW [g plant ⁻¹]	PM	8.56 \pm 0.74 ^{aA}	8.68 \pm 0.94 ^{aA}
	G30	4.94 \pm 0.66 ^{bbB}	9.19 \pm 0.94 ^{aA}
	CC	3.84 \pm 0.74 ^{bbB}	7.90 \pm 0.94 ^{aA}

Conclusion: Even though industrial hemp genotypes have lower contents of cannabinoids they can be legally cultivated by farmers on a field scale. But outdoor plants are subject to climate conditions, which can vary from year to year and influence the cannabinoid

production. Whether field cultivation is suitable for producing cannabis flowers that might vary in their range of cannabinoids from batch to batch needs to be further investigated. But it could be an economically interesting option when isolating the pure compound (CBD). Overall, the preceding study highlighted, that selected industrial hemp genotypes can be used for cannabinoid production in combination with further applications. Thus, their multi-functional properties make them ideal for integration into agriculturally sustainable cropping systems for an economically efficient circular economy while using phytocannabinoids as dual use with fibers or seeds to provide an added economic value. Thus, industrial hemp has a high potential to be part of a sustainable bioeconomy, what is being targeted as part of the European Green Deal. Hemp should not be reduced to a single production target or only to the dual use of fibers and seeds, instead, it should be considered for possible multiple and cascading uses by upgraded directions of use.

Further, the optimization through morphological modifications and the choice of a suitable potting substrate have the potential to improve the standardization of cannabis indoor cultivation systems. This indicates that the high complexity of PCR cannabis genotypes needs to be evaluated for their response to new indoor growing systems developed at the genotype-specific level, with the overall aim of expanding high-quality cannabis production to meet the growing demand. Both indoor studies showed that, due to the high complexity of the plant, an evaluation on a genotype-specific basis is recommended, which underlines the diversity of cannabis genotypes available on the market. This poses great challenges to the producer.

References

- Barrett, G.E.; Alexander, P.D.; Robinson, J.S.; Bragg, N.C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems—A review. *Sci. Hortic.*, 212, 220–234.
- Blok, C.; Verhagen, J.B.G.M. (2009). Trends in rooting media in dutch horticulture during the period 2001–2005: The new growing media project. *Acta Hortic.*, 819, 47–58.
- Burgel, L., Hartung, J., Pflugfelder, A., & Graeff-Hönninger, S. (2020a). Impact of growth stage and biomass fractions on cannabinoid content and yield of different hemp (*Cannabis sativa* L.) genotypes. *Agronomy*, 10(3).
- Burgel, L., Hartung, J., Schibano, D., & Graeff-Hönninger, S. (2020b). Impact of Different Phytohormones on Morphology, Yield and Cannabinoid Content of *Cannabis sativa* L. *Plants*, 9(6), 725.
- Burgel, L., Hartung, J., & Graeff-Hönninger, S. (2020c). Impact of Different Growing Substrates on Growth, Yield and Cannabinoid Content of Two *Cannabis sativa* L. Genotypes in a Pot Culture. *Horticulturae*, 6(4), 62.
- Domeño, I., Irigoyen, I., & Muro, J. (2010). New wood fibre substrates characterization and evaluation in hydroponic tomato culture. *European Journal of Horticultural Science*, 75(2), 89–94.
- European Commission. (2019). Der europäische Grüne Deal. In *Mitteilung der Kommission und das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen*, COM (2019), 640.
- Gruda, N., & Schnitzler, W. H. (2004). Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants: I. Physical properties of wood fiber substrates. *Scientia Horticulturae*, 100(1–4), 309–322.
- Maher, M. J., Prasad, M., & Raviv, M. (2008). Organic soilless media components. In M. Raviv & J. H. Lieth (Eds.), *Soilless Culture: Theory and Practice*, 459–504.
- Mediavilla, V., Jonquera, M., Schmid-Slembrouck, I., Soldati, A. (1998). Decimal code for growth stages of hemp (*Cannabis sativa* L.). *J. Int. Hemp Assoc.*, 5, 68–74.
- Nelson, P.V. (2003). *Greenhouse Operation & Management*; Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA.

Effects of mixing alsike clover and black medic in variable environments

Heba H. Elsalahy^{1,2}; Sonoko D. Bellingrath-Kimura^{1,3}; Timo Kautz¹
and Thomas F. Döring⁴

¹Albrecht Daniel Thaer-Institute of Agricultural and Horticultural Sciences - Crop Science, Humboldt-University of Berlin, Berlin, Germany; E-Mail: Heba.elsalahy@agrar.hu-berlin.de

²Faculty of Science, Botany and Microbiology Department, Assiut University, Assiut, Egypt

³Research Area "Land Use and Governance", Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Humboldt-University of Berlin, Müncheberg, Germany

⁴Agroecology and Organic Farming Group, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Bonn, Germany

Summary

The positive effect of increased diversity on plant productivity is well established in natural and grassland communities; also, there is some evidence for positive mixture effects on weed suppression, drought resistance, and drought resilience in the long-term. In arable contexts, studies on mixtures have so far concentrated on combinations of plants from different families, e.g. cereals and legumes, as combining species with different properties can perform multiple functions. However, evidence of mixture effects in short-term cover crops remains scarce for arable cropping systems, specifically, in only-legume mixtures. Furthermore, so far, the underlying mechanisms of plant competition in species mixtures, starting from germination, that might have consequence in crop establishment and efficiency in providing several agro-ecological functions, have not yet been determined.

This study investigated the short-term effects of mixing only-legume cover crops on weed suppression, allelopathy, drought resistance and resilience, and seed germination. The main aim was to identify whether binary mixtures with contrasting traits would provide any of these benefits based on species asynchrony and response diversity. Two legume species, alsike clover (AC; *Trifolium hybridum* L.) and black medic (BM; *Medicago lupulina* L.) were chosen, thus both belong to the same functional group which is defined by the ability to fix nitrogen. The selection of the two species was done to maximize functional complementarity with respect to the response to water availability ('response diversity'). BM is a fast-growing perennial, described in the literature as well-adapted to warm and dry areas. Conversely, AC is described in the literature as a slow-growing drought-sensitive perennial, best adapted to cool and wet areas.

In cover cropping systems, integrated weed management implies careful selection of cover crop species, adjusting crop density, species proportions to reduce crop-crop competition and foster crop-weed competition, and finally management practice such as cutting and mulching. Therefore, the selected species were tested in two field trials sown in 2016 and 2017. Five AC:BM ratios (100:0, 67:33, 50:50, 33:67, and 0:100) were grown at three densities (50%, 100%, and 150% of recommended seed density). Cover crop and weed aboveground biomass were harvested three times over the growing season (after establishment in spring, in summer, and in autumn after mulching). Compared to fallow plots, all monocultures and mixtures showed early- season weed suppression in terms of biomass production and more efficiency

over time with an average reduction of 42% up to 96% in 2016, and 39% up to 89% in 2017. Significant mixture effects were observed over the whole growing season in one year indicating that the crop diversity effect on weeds was dependent on the growing environment. Weed suppression was significantly stronger at higher seed densities than at low density, but no significant differences were determined between 100% and 150% seed density. After mulching, no density effect was observed on crop biomass and weed biomass. The high efficiency of both species on weed suppression indicates that both species possess plasticity to suppress weeds when higher biomass productivity is limited by environmental conditions. However, their diversity effects are time and condition dependent. Appropriate seed density and mulching can successfully be employed in weed management, but seed density may not have an effect after mulching.

In the field, weed suppression is the result of the combined effects of allelopathy and competition, where the allelopathic compounds can be released into the environment during active plant growth, via leachates or root exudation. To disentangle the two mechanisms and investigate whether there is a mixture effect on allelopathy of the chosen species, root leachates of four donors (bare soil, AC, BM, and Mix) were collected and used to irrigate the two-legume species and two weed species, fat-hen (*Chenopodium album*; FH) and barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*; BYG), as receivers. On average of multiple measured parameters, a mixture effect on allelopathy was found on both legume species, indicating an additive negative effect of the mixture's leachates on the growth of both species. However, both weed species were almost equally suppressed in the mixture and the monocultures suggesting strong species identity effects on allelopathy. On average of the monocultures and the mixture, root leachates suppressed the overall growth of FH significantly ($P < 0.001$) by 83 %, whereas BYG was inhibited by 28%, indicating selective weed suppression. This finding demonstrates that species identity surpasses species richness on allelopathy and expresses caution regarding the autotoxicity and heterotoxicity of AC and BM that may affect their contribution to sustainable agricultural system performance.

According to the current state of the art in ecology, resilience to stress is enhanced by response diversity, i.e. if plants with different responses to the stress are combined.

Using comprehensive pot experiments with the two legume species and a 1:1 mixture demonstrated and explained how resilience to drought is possible with and without response diversity, i.e. in mixtures, but also in monoculture (sole crops). Thereby, challenging the widely held opinion that resilience depends on response diversity. Remarkably, the monoculture of the slow-growing species was equally resilient to drought as the mixture, indicating that response diversity was not required for the plants to show resilience. This has wide implications for designing agricultural systems and for developing a deeper understanding of resilience in plant communities. Mixture effect on resilience was significant at the end of the growing season indicating that crop diversity may contribute to drought resilience through growth asynchrony, but that species identity plays a crucial role in making systems more drought-resilient.

To understand whether there are effects of mixing plant species on germination,

mixture effects on germination were tested on the two legume species and a 1: 1 mixture of the two species in a comprehensive series of field, greenhouse, and laboratory experiments. In each of these experiments, we compared the mixture with the monocultures and combined this with various other factors including seed density, water availability, and temperature. The main finding in this point indicated that interaction among plants in mixtures may be ongoing as early as during germination, but that the direction of the mixture effect is affected by complex interactions with abiotic and biotic factors.

Taken together, in the line of agro-ecology and a trait-based approach in using plant traits to increase the benefits of cultivated systems regarding the services that have been tested in this thesis, mixing only-legumes can partially support the agroecological approach. Although complementarity and compensation effects were observed in only-legume mixtures, weed control, allelopathy, drought resistance, and resilience were more strongly affected by species identity than by species diversity. Therefore, designing mixtures based on species-specific traits is more important than increasing species diversity *per se* to ensure sustainable agricultural systems.

Ertragsstabilität, Ertragsentwicklung und Zuchtfortschritt im konventionellen und ökologischen Landbau

Samuel Knapp

Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Technische Universität München, aktuell Nordic Seed Germany, Nienstädt

Einleitung

Angesichts der vorhergesagten Zunahme der Weltbevölkerung, der negativen Umweltauswirkungen der landwirtschaftlichen Produktion und der häufigeren extremen Wetterereignisse muss die landwirtschaftliche Produktion gesteigert und gleichzeitig nachhaltiger und stabiler produziert werden. Unter vielen Ansätzen, um die Produktion nachhaltiger zu gestalten, verfolgt der ökologische Landbau das Ziel, die negativen Auswirkungen auf die Umwelt zu verringern, indem auf den Einsatz von Mineraldüngern und synthetischen Pestiziden verzichtet wird. Während die Umweltauswirkungen des ökologischen Landbaus häufig untersucht wurden, sind die Auswirkungen auf die Ertragsstabilität und die langfristige Ertragsentwicklung als Indikator für die Nachhaltigkeit kaum untersucht worden. Aufgrund der begrenzten Möglichkeiten erhöhter Inputs im ökologischen Landbau könnten verbesserte Sorten einen wichtigen Beitrag zur Ertragssteigerung darstellen. Während jedoch der Beitrag der Pflanzenzüchtung zur allgemeinen Ertragssteigerung in vielen Studien gezeigt wurde, ist der Beitrag der Pflanzenzüchtung im ökologischen Landbau noch nicht untersucht worden. Darüber hinaus ist es weiterhin eine offene Frage, ob eine spezielle Züchtung für den ökologischen Landbau vorteilhafter ist als auf Sorten zurück zu greifen, die für konventionelle Anbaubedingungen gezüchtet wurden.

Material und Methoden

Zur Untersuchung der verschiedenen Forschungsfragen wurden vier Datensätze verwendet: (1) eine globale Meta-Analyse mit 165 gepaarten Langzeit-Ertragsbeobachtungen mehrerer Kulturen, (2) Ertragsdaten mehrerer Kulturen aus dem DOK-Langzeitversuch in der Schweiz, bei dem verschiedene konventionelle und ökologische Bewirtschaftungsmethoden mit normaler und halber Düngung über 40 Jahre verglichen wurden, (3) Ertrags- und Qualitätsdaten aus konventionell und ökologisch bewirtschafteten Sortenempfehlungsversuchen mit Winterweizen aus Deutschland von 2001 bis 2017, und (4) konventionelle und ökologische Praxis-Erträge von Winterweizen aus Deutschland. Die Ertragsstabilität wurde mit der Varianz und dem Variationskoeffizienten, der für das Ertragsniveau korrigiert, über Jahre in der Meta-Analyse und im Langzeitversuch gemessen. Die Ertragsentwicklung wurde durch Regression auf das Beobachtungsjahr im Langzeitversuch sowie in den Sortenempfehlungsversuchen und den Praxiserträgen bestimmt. Der Züchtungsfortschritt wurde durch ein gemischtes Modell zur Trennung von genetischem und nicht-genetischem Trend und durch Regression auf das Jahr der Sortenzulassung innerhalb einzelner Versuche in den Sortenempfehlungsversuchen untersucht. Das Verhältnis der Sortenleistung zwischen den Systemen wurde durch eine Analyse der Varianzkomponenten und durch Korrelation der Sortenmittelwerte in den Sortenempfehlungsversuchen untersucht.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zur Ertragsstabilität waren sowohl in der Meta-Analyse als auch im Langzeitversuch ähnlich. Die absolute Stabilität, gemessen durch die Varianz über die Jahre, war bei beiden Anbausystemen ähnlich (Abbildung 1 für die Meta-Analyse). Die relative Stabilität, gemessen durch den Variationskoeffizienten und damit für die Unterschiede im Ertragsniveau korrigiert, war bei konventioneller Bewirtschaftung höher, was auf die höheren Erträge bei konventioneller Bewirtschaftung zurückzuführen war.

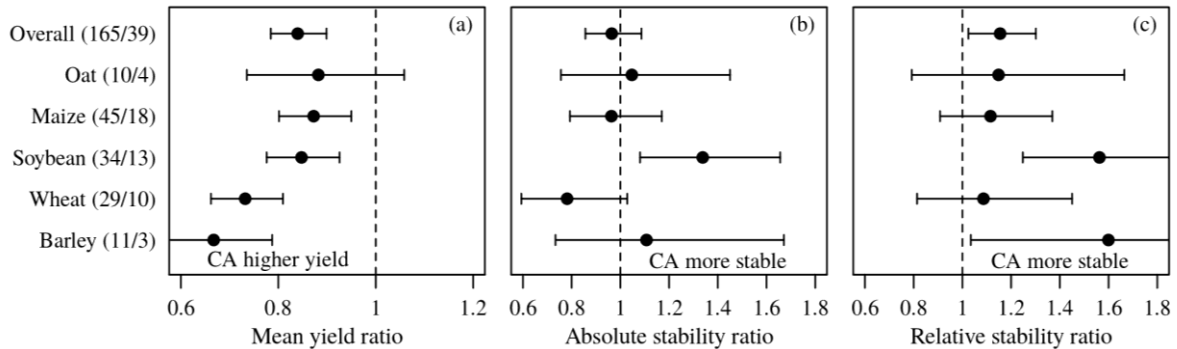


Abb. 1: Verhältnis des Ertrags (a), der absoluten Stabilität (b) und der relativen Stabilität (c) zwischen konventioneller (CA) und ökologischer Bewirtschaftung. Ein Verhältnis von 1 bedeutet keinen Unterschied. Bei Ertrag bedeutet <1 , dass konventionelle Bewirtschaftung einen höheren Ertrag hat, während bei beiden Stabilitäten >1 bedeutet, dass konventionelle Bewirtschaftung eine erhöhte Stabilität zeigt.

Während die Unterschiede in der Ertragsentwicklung im DOK-Langzeitversuch zwischen den Systemen in allen Kulturen geringfügig waren, stiegen die konventionellen Erträge in den Sortenempfehlungsversuchen und in den Praxiserträgen im Winterweizen in Deutschland (Abbildung 2). Im Gegensatz dazu stagnierten die ökologischen Erträge in den beiden letztgenannten Datensätzen.

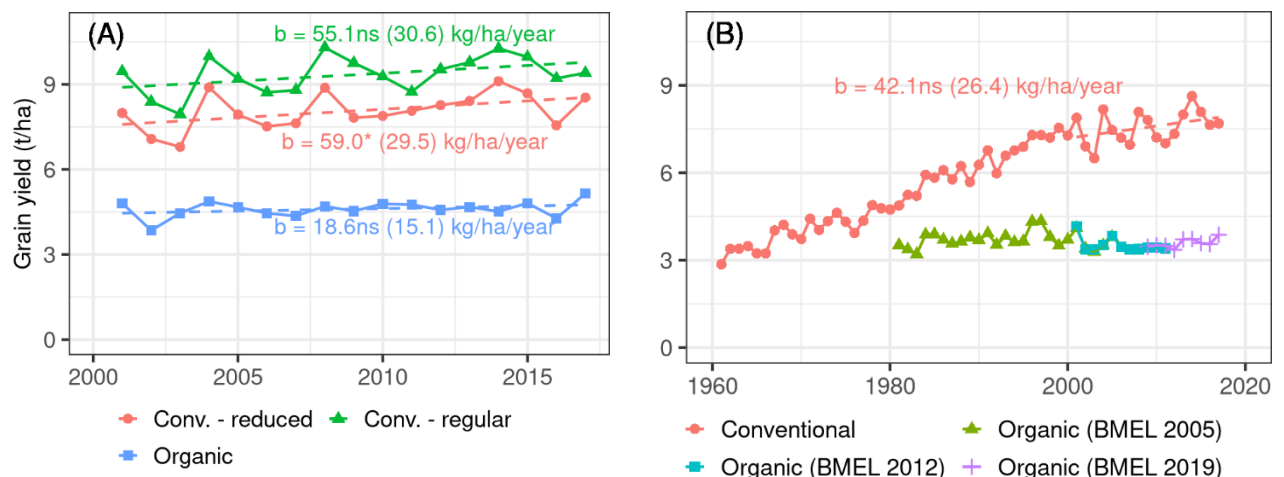


Abb. 2: Entwicklung der Weizenenerträge unter konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung in Deutschland in den Landessortenversuchen (A) und in den Praxiserträgen. Da die Datenreihen für die ökologische Bewirtschaftung nicht auf einer konstanten Datenbasis basiert, wurde hier keine Regression angepasst.

In den Sortenempfehlungsversuchen waren die Schätzer für den Züchtungsfortschritt für beide Systeme signifikant positiv. Es zeigte sich jedoch, dass der Schätzer für die ökologische Bewirtschaftung möglicherweise überschätzt wurde, da bei älteren Sorten Krankheitsresistenzen weniger wirksam sind. Dies könnte wiederum bedeuten, dass der effektive Züchtungsfortschritt unter ökologischer Bewirtschaftung gegen Null gehen könnte. Ökologisch gezüchtete Sorten zeigten insgesamt eine höhere Qualität bei den Merkmalen Proteingehalt, Sedimentationswert und Backvolumen, aber geringere Erträge und eine ähnliche Korn-N-Aufnahme im Vergleich zu konventionell gezüchteten Sorten. Bei den Ertrags- und Qualitätsmerkmalen zeigte die Analyse der Varianzkomponenten, dass die Interaktion zwischen Sorte und System gering war und die Sortenmittelwerte zwischen den Systemen hoch korreliert waren.

Diskussion

Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass das niedrigere Ertragsniveau durch den geringeren Input im ökologischen Landbau zu einer geringeren relativen Stabilität führt, die Erträge stagnieren und nicht vom erhöhten Ertragspotenzial moderner Sorten profitiert werden kann. Sowohl in der Meta-Analyse als auch im Langzeitversuch hingen die Ertragsunterschiede im Allgemeinen mit Stickstoff (N) Input zusammen, während im Langzeitversuch eine besonders starke Beziehung zum Anteil des in mineralischer Form ausgebrachten N (auch in organischen Düngern) bei Winterweizen und Kartoffeln beobachtet wurde. Da jedoch im Langzeitversuch die Aufwandmengen über die Behandlungen hinweg mit der Intensität des Pflanzenschutzes korreliert waren, war eine klare Trennung des Beitrags beider Effekte nicht möglich. Basierend auf dem Ertragsniveau der unbehandelten konventionellen Stufe in den Sortenempfehlungsversuchen könnte der Ertragsunterschied zwischen konventioneller und organischer Bewirtschaftung zu einem Drittel auf den Pflanzenschutz und zu zwei Dritteln auf den Unterschied in der Düngung zurückzuführen sein. Dies deutet darauf hin, dass eine Erhöhung der N-Verfügbarkeit, z.B. durch ein besseres N-Management, zu höheren Erträgen und damit zu einer besseren relativen Stabilität beitragen könnte und besser von modernen Sorten profitiert werden könnte. Obwohl die Pflanzenzüchtung möglicherweise nicht zu Ertragssteigerungen unter biologischem Management beigetragen hat, zeigte sich, dass sie erfolgreich dem Brechen von Krankheitsresistenzen entgegenwirken und so das Ertragsniveau aufrechterhalten konnte, welches ein wichtiger Bestandteil der Pflanzenzüchtung ist und bisher möglicherweise unterschätzt wurde. Auch wenn sich die direkte Selektion unter biologischer Bewirtschaftung nicht als vorteilhafter erwies und die Sortenmittel zwischen den Systemen stark korreliert waren, könnten bewirtschaftungsspezifische Merkmale wie Krankheitsresistenzen oder Unkrautunterdrückung für die unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten wichtig sein.

Der Beitrag funktioneller Ertragskomponenten zum Zuchtfortschritt in Winterweizen

T. Rose

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität, 24118 Kiel,
Deutschland, E-mail: rose@pflanzenbau.uni-kiel.de

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat das Thema der Ertragsentwicklung in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) starke Aufmerksamkeit hervorgerufen, weil dieser Prozess nach mindestens einem halben Jahrhundert kontinuierlichen Ertragsanstiegs (Calderini & Slafer, 1998) in vielen der wichtigsten Produktionsländer zum Erliegen gekommen ist (Lin & Huybers, 2012). Die Analyse eines historischen Sorten-Panels erlaubt, den Beitrag der Pflanzenzüchtung an der zurückliegenden Entwicklung zu quantifizieren und – durch eine Analyse der Ertragsbildungsprozesse – die bisher in der Züchtung genutzten Pfade zu beleuchten. Hieraus können weitere Entwicklungspotenziale abgeschätzt werden.

Im Rahmen dieser Analyse wurde der Ansatz nach Monteith (1977) genutzt:

$$GY = \sum R_{PAR} \times RIE \times RUE \times HI$$

wobei der Kornertrag (GY) als Produkt der von Aussaat bis Ernte eingestrahlten photosynthetisch aktiven Strahlung (R_{PAR}), der Strahlungsaufnahmeeffizienz (RIE), der Strahlungsnutzungseffizienz (RUE) und des Ernteindex (HI) bestimmt wird.

Durch eine Bestimmung des Crop Water Stress Index ($CWSI$) kann der Prozess des Stomatenschlusses durch mangelnde Wasserverfügbarkeit zusätzlich von der RUE abgegrenzt (Jackson, 1982) und somit die Genotypen durch physiologisch – und vermutlich auch genetisch – engere Merkmale beschrieben werden:

$$GY = \sum R_{PAR} \times RIE \times RUE_{pot} \times (1 - CWSI) \times HI$$

Eine realistische Schätzung der Werte der Ertragsgleichung sollte unter Freilandanbaubedingungen erfolgen (Araus et al., 2018).

Im Zuge dieser Arbeit wurde im Rahmen des BRIWECS-Projektes (Breeding Innovations in Wheat for Resilient Cropping Systems) in den Jahren 2015 – 2019:

1. Die nötige Methodik etabliert, um neben den destruktiven Merkmalen GY und HI , die Merkmale RIE und RUE über spektrale Sensorik (Bukowiecki et al., 2020) und den $CWSI$ über thermale Sensorik in großen Parzellenversuchen zu erfassen.
2. Die zurückliegende Sortenentwicklung (Im Kontext unterschiedlicher Managements) mit Hilfe der vollständigen Ertragsbildung nach Monteith (1977) analysiert, um zeitliche Trends zu quantifizieren und hierdurch aktuelle Grenzen und Potenziale abzuschätzen.

2. Material und Methoden

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse beziehen sich die Erntejahre 2018 und 2019, wobei im Jahr 2019 durch ein Regendach, das Mitte April geschlossen wurde, eine zusätzliche Umwelt geschaffen wurde (in der Folge „Rainout“). Die Parzellenversuche fanden auf dem Universitätsversuchsgut Hohenschulen statt, gelegen westlich von Kiel (Schleswig-Holstein) im östlichen Hügelland. Der vorherrschende Bodentyp ist lessivierte Braunerde aus Würmgeschiebelehm

(Ackerzahlen 45 bis 60). Die Aussaat erfolgte am 17.10.2017 bzw. Am 09.10. 2018. Das Experiment umfasste zwei Faktoren (Sorte und Management) in dreifacher Wiederholung, wobei der Faktor Management in der Wiederholung und der Faktor Sorte im Management genestet wurde. 50, in Deutschland angebaute Winterweizen-Sorten aus den Zulassungsjahren 1966 bis 2016 wurden in vier Managementvarianten getestet: optimale N- Düngung (220 kg N ha^{-1}) und vollständiger Pflanzenschutz, optimale N-Düngung und reduzierter Pflanzenschutz (kein Fungizide und keine Insektizide), reduzierte N-Düngung (110 kg N ha^{-1}) und vollständiger Pflanzenschutz, sowie reduzierte N-Düngung und reduzierter Pflanzenschutz. In allen Varianten wurden Herbizide und Wachstumsregulatoren eingesetzt. Die Kornerträge wurden durch Parzellendrusch nach vollständiger Abreife aller Bestände ermittelt und auf 100% Trockenmasse standardisiert. Der Harvestindex wurde mittels Handernte ermittelt. Die Strahlungsaufnahmeeffizienz kann unter Annahme eines Extinktionskoeffizienten (hier 0.7) bei Kenntnis des Bestandesflächenindex zu allen Vegetationszeitpunkten über das Lambert-Beer-Gesetz berechnet werden. Die Bestimmung der Bestandesflächeninidizes erfolgte hierfür mittels drohnenbasierter Spektraldaten (Parrot Sequoia™ Kamera), die eine Abschätzung über den gesamten Vegetationszeitraum erlauben (Bukowiecki et al., 2020). Als Trägersystem diente eine eBee-RTK von Sensefly. Hierdurch wurden regelmäßige Erfassungen der Parzellenversuche möglich. An Einzelterminen wurden zusätzlich Bestandestemperaturen mit dem thermoMAP (Sensefly) erfasst. Diese dient als Ausgangsgröße zur Bestimmung des CWSI. Die Biomasse (BIO) wurde als abgeleitete Größe aus GY / HI bestimmt. Die Strahlungsnutzungseffizienz wurde als abgeleitete Größe aus RI / BIO bestimmt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Über alle Parameter der Ertragsgleichung hinweg zeigt sich in der Beziehung zum Jahr der Sortenzulassung – unter Annahme eines linearen Modelles – eine Abnahme der Erklärungsgüte von der finalen Größe der Ertragsbildung (GY), über HI und BIO zu RIE und RUE (Abbildung 1). Dies ist auf züchterische Selektion zurückzuführen, die in der Vergangenheit im Wesentlichen auf der Bestimmung des Kornertrages basierte. Bei einer Betrachtung der einzelnen Sorten zeigt sich, dass hohe Erträge durch sehr unterschiedliche Kombinationen von Ertragskomponenten erreicht werden können und somit weitere Potenziale durch Rekombination und Selektion zu erhoffen sind (Daten nicht gezeigt). Auffällig ist die geringe Änderung der Strahlungsaufnahmeeffizienz über die Zulassungsjahre (Abbildung 1) bei gleichzeitiger hoher Bedeutung für die Ertragsunterschiede im Sorten-Panel (Abbildung 2). Im Gegensatz zu der häufig postulierten Hypothese, dass dieses Merkmal züchterisch vollständig ausgeschöpft ist (Long et al., 2006), scheinen weitere Verbesserungs- möglichkeiten zu bestehen.

Da über den betrachteten Zeitraum ein deutlicher Ertragsanstieg realisiert wurde (Abbildung 1) und es keine Hinweise gibt, dass dieser in den letzten Zulassungsjahren zum Erliegen gekommen ist (Daten nicht gezeigt), müssen die Gründe für ausbleibende Ertragszuwächse außerhalb der Züchtung gesucht werden (Klima, Fruchtfolgestellung, Böden).

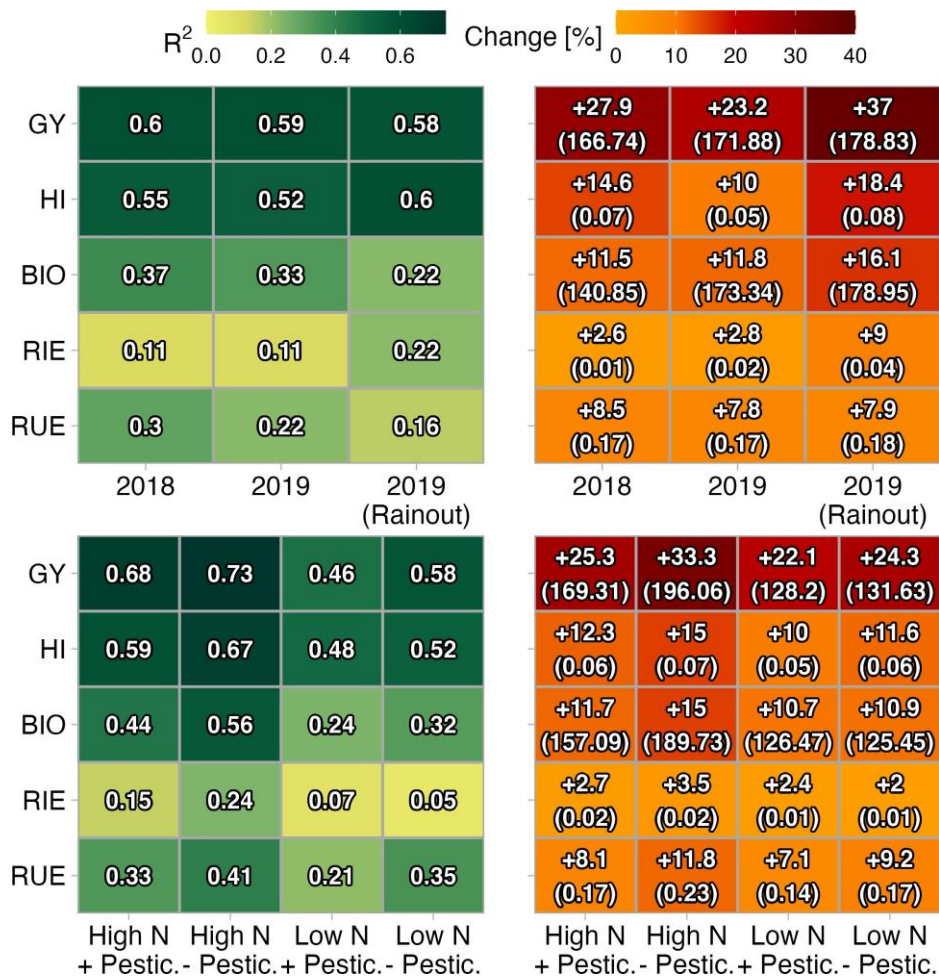


Abb. 1: Änderung über 50 Jahre Züchtungsgeschichte. Erklärungsgüte und mittlere Änderung der linearen Modelle zwischen Merkmal und Jahr der Sortenzulassung in den drei Umwelten im optimalen Management (oben) und in den vier Managements im Mittel der Jahre (hier ohne Rainout, unten).

Der beobachtete Ertragsanstieg war besonders groß bei reduziertem Pflanzenschutz (besondere Bedeutung der Resistenzzüchtung) und in den Trockenjahren 2018 und 2019 (Rainout). Bei reduzierter Stickstoffversorgung ist der Ertragsanstieg geringer, ist aber trotzdem eindeutig vorhanden. Abgesehen von Bedingungen mit niedrigen N-Input, hat die Züchtung somit unter suboptimalen Bedingungen höhere Ertragsanstiege realisiert. Für den Kornertrag als finale Größe der Ertragsbildung zeigen *HI* und *BIO* etwa gleichwertige Erklärungsgüten (Abbildung 2), wobei die Bedeutung von *BIO* unter niedriger N-Versorgung (Low N) und unter anhaltendem Trockenstress (2019 Rainout) zu- und unter spät aber stark einsetzendem Trockenstress (2018) abnimmt. Für *BIO* als Zwischenschritt der Ertragsbildung zeigt die *RUE* eine höhere Erklärungsgüte, wobei die *RIE* unter Trockenstress (2018 und 2019 Rainout) eine nahezu gleichwertige Bedeutung erreicht. Alle Ertragskomponenten auf gleicher Stufe sind positiv miteinander korreliert. Dies spricht für mögliche Ertragssteigerungen durch Rekombination und gegen fundamentale, physiologisch negative Interaktionen.

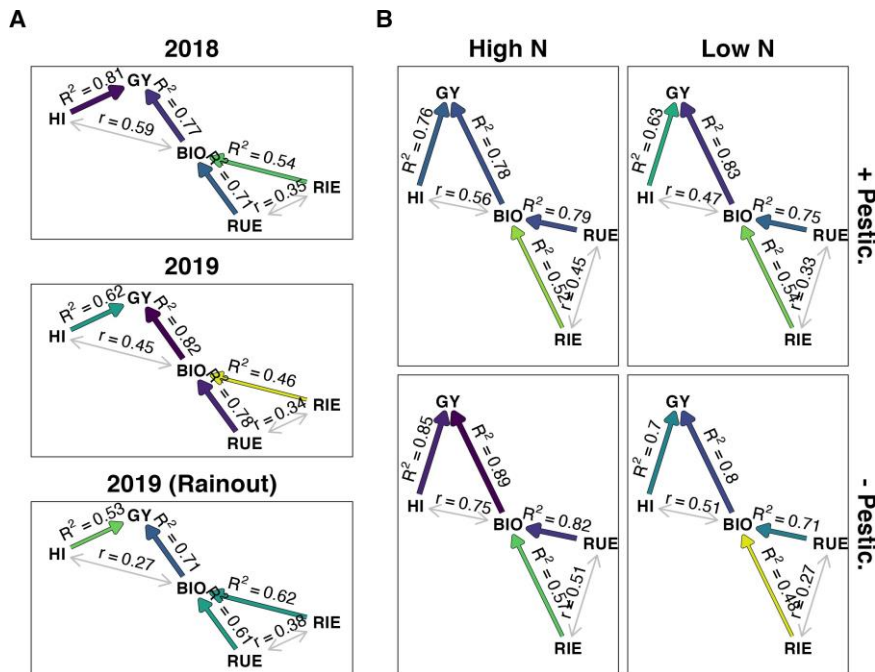


Abb. 2: Bedeutung der einzelnen Ertragskomponenten in unterschiedlichen Umwelten (A) und in unterschiedlichen Managements (B). Erklärungsgüte der linearen Beziehungen zwischen Ertragskomponenten mit impliziter Kausalität und Korrelationskoeffizienten zwischen den Ertragsbildungskomponenten auf gleicher Stufe.

Im Trockenjahr 2018 lassen sich 72% der finalen Biomasse und 52% des Kornertrages im Sortenpanel durch die nicht-invasive Bestimmung der Strahlungsaufnahmen und den CWSI erklären. Besonders unter suboptimaler Wasserversorgung könnten diese Methoden also zur frühen Selektion an Kleinstparzellen helfen. Der CWSI kann zu 47% die Unterschiede der RUE erklären (Abbildung 3). Innerhalb der Sorten der letzten 10 Jahre ($n = 13$) können 67% erklärt werden, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Erklärungsgüte im Gesamt- Panel durch davon unabhängige Variation überprägt ist.

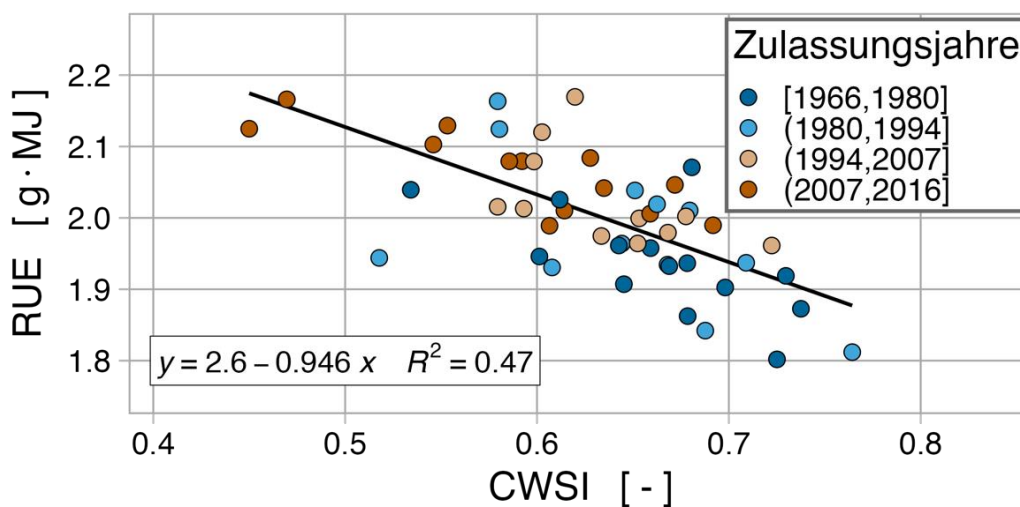


Abb. 3: Beziehung zwischen RUE und CWSI am 01.06.2018 im Optimal-Management.

Quellenangaben

- Araus, J. L., Kefauver, S. C., Zaman-Allah, M., Olsen, M. S., & Cairns, J. E. (2018). Translating high-throughput phenotyping into genetic gain. *Trends in plant science*, 23(5), 451-466.
- Bukowiecki, J., Rose, T., Ehlers, R., & Kage, H. (2020). High-throughput prediction of whole season green area index in winter wheat with an airborne multispectral sensor. *Frontiers in plant science*.
- Calderini, D. F., & Slafer, G. A. (1998). Changes in yield and yield stability in wheat during the 20th century. *Field Crops Research*, 57(3), 335-347.
- Lin, M., & Huybers, P. (2012). Reckoning wheat yield trends. *Environmental Research Letters*, 7(2), 024016.
- Long, S. P., ZHU, X. I. N., Naidu, S. L., & Ort, D. R. (2006). Can improvement in photosynthesis increase crop yields. *Plant, cell & environment*, 29(3), 315-330.
- Monteith, J. L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 281(980), 277-294.

Milch ausschließlich vom Gras? Bewertung der Graslandbeanspruchung durch Milchkühe im historischen Ablauf

Martin Komainda, Anna von Kameke und Johannes Isselstein

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Graslandwissenschaft, Göttingen. E-Mail: martin.komainda@uni-goettingen.de

Einleitung

Der Selbstversorgungsgrad bei Konsummilch in Deutschland im Jahr 2020 lag bei knapp 112% (Statista 2021). Die Verwertung von Graslandaufwüchsen erfolgt überwiegend durch die Tierhaltung und hier konkurrieren Rinder vorwiegend mit Pferden und kleinen Wiederkäuern. Die Kuhmilchproduktion geht demnach nur auf einen Teil der vorhandenen Graslandfläche zurück. Daten zu Art und Umfang der Graslandbeanspruchung und Grasmilchproduktion durch Milchkühe in Deutschland sind rar, obwohl diese Art der Erzeugung aus der Perspektive der Nahrungsmittelleffizienz sinnvoll erscheint (Wilkinson 2011). Eine Bewertung der Beanspruchung des Graslands durch Milchkühe ist folglich angebracht. Ziel dieser Arbeit ist es, als Diskussionsgrundlage für den Workshop „Milch ausschließlich vom Gras“, einen ersten Impuls zur Abschätzung der Grasmilchproduktion durch Milchkühe für ganz Deutschland zu geben.

Material und Methoden

Berücksichtigt werden hier dekadenweise Daten zwischen 1964 und 2014 der vom BMEL publizierten statistischen Jahrbücher zu Art und Umfang pflanzlicher und tierischer Erzeugung, um die historische Entwicklung der durchschnittlich aus Grasland erzeugten Milch zu errechnen. Daten zum Anbauumfang relevanter Futterpflanzen (Dauergrünland, Ackergras, Luzerne, Klee, Grünmais und Futterrüben) sowie zur mittleren Tagesmilchleistung wurden direkt übernommen. Erträge dieser Kulturen wurden aus Auswertungen der LSV-Daten von Laidig et al. (2014) zurückgerechnet und um Angaben von Voigtländer und Lang (1979) sowie Seitner (1975) für das Dauergrünland ergänzt. Die ermittelten Erträge wurden um 30% nach unten korrigiert, um Praxisniveau darzustellen. Potentielle Lagerverluste wurden nicht berücksichtigt. Konkrete mittlere Angaben zu Energiegehalten der Grobfuttermittel im Zeitablauf sind nicht verfügbar. Es wurden deshalb abschätzig über die fünf Dekaden konstante mittlere Werte von 5.5, 5.4, 6.4, 6.4 und 7.0 MJ NEL kg⁻¹ TM für Dauergrünland, Ackergras inklusive Luzerne und Klee, Silomais, Futterrüben und Krafffutter unterstellt. Die Ableitung mittlerer für ganz Deutschland gültiger Rationen der einzelnen Tierkategorien und ihre historische Entwicklung sind systembedingt mit Unsicherheiten belegt. Aus KTBL Daten (2018) sowie nach Jeroch et al. (2008) und LFL (2018) wurden mittlere Energiebedarfswerte sowie eine Ration für Milchkühe abgeleitet. Zur Vereinfachung wurde angenommen, dass Milchkühe je kg Milch 0.15 kg Krafffutter erhalten. Um der historisch gewachsenen Bedeutung von Silomais und der abgenommenen Bedeutung des Futterrübenanbaus Rechnung zu tragen, wurden Rüben und Mais vereinfachend als energiereiches Grundfutter in eine Kategorie zusammengefasst. In **Szenario 1** wird unterstellt, dass im Jahr 1964 jede Milchkuh 4.1 kg TM Tag⁻¹ (vorwiegend Rüben) dieser Futtermittel erhielt. Zudem wird unterstellt, dass diese Menge je Dekade um 1 kg auf 9.1 kg Tier⁻¹ Tag⁻¹ in 2014 (ausschließlich Mais) angestiegen ist (Tab. 1). Für Milchkühe wurden einheitlich 3.3 MJ NEL kg⁻¹ Milch sowie ein Erhaltungsbedarf von 37.7 MJ NEL Kuh⁻¹ und Tag⁻¹ unterstellt. In **Szenario 2** wird Milch ausschließlich vom Gras erzeugt. In beiden

Ansätzen berechnet sich die Kuhmilchleistung aus Gras residual nach Berechnung der Kraftfutter- und Mais-/Rübenmilch anhand der Energiebereitstellung dieser Futtermittel, jedoch anteilig nach Erhaltungs- und Leistungsbedarf. Dabei wird nicht zwischen Dauergrünland und Ackergras (bzw. Luzerne- und Klee gras) unterschieden.

Tab. 1. Kennzahlen der beiden Szenarien (Sz). E-bedarf: Energiebedarf

Jahr	Milch	KF		Mais/Rüben		E-bedarf Erhaltung	E-bedarf Leistung	Anzahl Milchkühe
	kg je Tag	kg je Tier und Tag		kg je Tier und Tag		MJ NEL		tsd
		SZ 1	SZ 2	SZ 1	SZ 2			
1964	9.8	1.5	0	4.1	0	37.7	32.3	5825
1974	10.8	1.6	0	5.1	0	37.7	35.6	5462
1984	12.6	1.9	0	6.1	0	37.7	41.6	5684
1994	14.7	2.2	0	7.1	0	37.7	48.5	5192
2004	18.1	2.7	0	8.1	0	37.7	59.6	4285
2014	20.6	3.1	0	9.1	0	37.7	67.9	4311

Ergebnisse und Diskussion

Die Steigerung der individuellen mittleren Tagesmilchleistung erhöhte den entsprechenden Energiebedarf für Leistung um 52%. Machte der Leistungsenergiebedarf 1964 noch 46% aus, lag dieser Wert 2014 bereits bei 64% des Gesamtenergiebedarfs (Tab. 1). Der Anteil von Grasmilch an der Gesamtkuhmilchproduktion machte den Berechnungen zu Folge nicht mehr als 62% (1964) aus und erreichte 2014 einen Wert von 51%; bei einem Milchkuh-Graslandflächenanspruch von etwa 0.81 Mio. ha (Tab. 2). Eine völlige Umstellung auf gras-basierte Milch ohne Verringerung der Produktionsvolumina, erscheint unrealistisch: bei derzeit etwa 4.5 Mio. Gesamtgraslandfläche verblieben nur noch etwa 1.1 Mio. ha für andere Ökosystemleistungen inklusive der Versorgung von Pferden, anderer Rinder und kleiner Wiederkäuer. Eine umfangreiche Sensitivitätsanalyse dieser vorläufigen Ergebnisse steht noch aus. Eine zwingend erforderliche Plausibilisierung der Berechnungen um den Bedarf der Graslandfläche aller weiteren Nutztiere und Verwertungsrichtungen wird an dieser Stelle nicht vorgenommen.

Tab. 2. Menge täglich produzierter Milch aus Kraftfutter, Mais/ Rüben sowie Gras (kg) und die für beide Szenarien resultierenden Graslandflächenansprüche.

Jahr	KF-Milch		Mais-/ Rübenmilch		Grasmilch		Flächenanspruch Mio. ha	
	SZ 1	SZ 2	SZ 1	SZ 2	SZ 1	SZ 2	SZ 1	SZ 2
	1964	1.4	0	3.7	0	8.4	9.8	1.64
1974	1.7	0	4.8	0	9.1	10.8	1.30	3.3
1984	2.1	0	6.2	0	10.5	12.6	1.21	3.6
1994	2.6	0	7.7	0	12.1	14.7	1.01	3.5
2004	3.5	0	9.6	0	14.6	18.1	0.85	3.2
2014	4.2	0	11.3	0	16.4	20.6	0.81	3.4

Literatur

Literatur wird auf Anfrage geteilt.

Herausforderungen der Direktsaat von Soja und Mais im Ökologischen Landbau im Trockengebiet

Gollner, G., Surböck, A. und Friedel, J.K.¹

¹Universität für Bodenkultur, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Ökologischen Landbau, Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien. E-Mail: gabriele.gollner@boku.ac.at

Einleitung

Die Direktsaat (no-till), eine Anbaumethode ohne Bodenbearbeitung, kann im ökologischen Landbau realisiert werden, indem ein Zwischenfruchtbestand mit einer Quetschwalze (Roller Crimper) flach gewalzt und anschließend das Saatgut der Hauptfrucht in den unbearbeiteten, mit Mulch bedeckten Boden abgelegt wird. Die wichtigsten Vorteile der Direktsaat sind eine verminderte Bodenverdunstung, die Förderung des Bodenlebens sowie ein geringerer Maschineneinsatz bzw. die Arbeitszeiterparnis bei der Beikrautregulierung. Eine wichtige Rolle bei diesem System spielen die überwinternden Zwischenfrüchte vor der Direktsaat. Diese sollen eine ausreichend hohe Biomasse entwickeln, was ausreichende Niederschlagsmengen voraussetzt, und erst zur Vollblüte umgewalzt werden, damit sie sich nicht wiederaufrichten und weiterwachsen. Ebenso wichtig ist der Einsatz einer geeigneten Direktsämaschine, die das Saatkorn präzise durch die Mulchmatte der Zwischenfrucht in den Boden ablegt. Es sollte untersucht werden, ob unter den trockenen klimatischen Bedingungen im Osten Österreichs dieses Anbausystem im ökologischen Landbau erfolgreich durchgeführt werden kann.

Material und Methoden

Ziel der im Jahr 2019/2020 durchgeführten Praxisfeldversuche im Weinviertel in Niederösterreich war die Prüfung und Optimierung des Direktsaat-Verfahrens für Soja und Mais im Rahmen des EIP Projektes KLIWA*. Als Zwischenfrüchte wurden Roggen (cv. Bonfire, 130 kg/ha Saatstärke, Saat 08/2019) vor Soja (cv. Lenka, 60 Körner/m² Var. BÜ, 72-80 K/m² DSF und DSS) bzw. Wickroggen (Pannonische Wicke 110 kg/ha, Roggen cv. Bonfire 20 kg/ha, Saat 09/2019) vor Mais (cv. Pioneer, Danubio, KWS2323: 8 K/m² BÜ, 9.6 K/m² DS) etabliert. Folgende Varianten wurden in 3-facher Wiederholung getestet: Sojaversuche: betriebsüblicher Anbau BÜ (mit mechanischer Beikrautregulierung), Direktsaat früh DSF (Direktsaat in den stehenden Roggenbestand vor Vollblüte Roggen, späteres Walzen des Roggens), Direktsaat spät DSS (Direktsaat und Walzen des Roggens gleichzeitig zur Vollblüte Roggen); Maisversuche: betriebsüblicher Anbau BÜ (mit mechanischer Beikrautregulierung), Mais-Direktsaat DS (ohne Beikrautregulierung). Die Auswirkungen der Versuchsvarianten auf ausgewählte Bodenparameter sowie die Entwicklung und Erträge der Hauptkulturen wurden untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Nur bei einem von drei Praxisversuchen entwickelte sich der Sojabestand bei Direktsaat erfolgreich und erreichte einen zur betriebsüblichen Variante vergleichbaren Kornertrag (siehe Tab. 1). An diesem Standort war der Beikrautdruck gering und die Saatechnik optimal. An den beiden anderen Standorten verhinderten ein oder mehrere Faktoren (starker Hasen- und Mäusefraß und/oder Beikrautdruck) die Etablierung des Soja-Direktsaatbestandes.

Tab. 1: Trockenmasse-Erträge Zwischenfrucht (ZF) und Soja am Standort Senning

*Innovationsprojekt KLIWA: Klimaresilienz durch wassersparenden Bio-Ackerbau

Variante	Biomasse-Ertrag ZF (kg ha ⁻¹ / Erntetermin)	Kornertrag Soja (dt ha ⁻¹ / % zu BÜ)	Strohertrag Soja (dt ha ⁻¹)
BÜ	656* / 18.03.20	22,0 a / 100%	23,9 a
DSF	3514 / 07.05.20	24,3 a / 110%	22,5 a
DSS	4119 / 22.05.20	27,8 a / 126%	22,4 a

Legende: BÜ: betriebsüblich *Variante durch Wildverbiss stark beeinträchtigt, DSF: Direktsaat früh, DSS: Direktsaat spät, Mittelwerte mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (Tukey-Test p<0,05)

Schwierigkeiten der Bio-Direktsaat und die ausschlaggebenden Faktoren für einen erfolgreichen Anbau: gute Entwicklung der Zwischenfrucht vor der Direktsaat mit ausreichender Biomasse, geringer Beikraut- und Wilddruck, richtiger Zeitpunkt des Umwalzens der Zwischenfrucht (Blüte Roggen) sowie geeignete Sätechnik, Verwendung einer Soja-Sorte mit rascher Jugendentwicklung und erhöhte Saatstärke (+20% bei DS), sowie ausreichend Niederschläge nach der Direktsaat für einen erfolgreichen Aufgang.

Bei der Direktsaat von Mais in eine gewalzte Wickroggen-Zwischenfrucht wurde auf allen Standorten ein hoher Feldaufgang und auf zwei von drei Standorten eine ausreichend hohe Biomasse der Zwischenfrucht erreicht. Aufgrund von Beikrautdruck und Wiederantreiben des Wickroggens wurde die Entwicklung der jungen Maispflanzen gehemmt, der Mais-Ertrag entsprach nur zu 50% dem Ertrag der betriebsüblichen Variante (siehe Tab. 2). Im Versuch wurden die Direktsaat-Varianten händisch vom Beikraut befreit, für eine effizientere Bearbeitung zwischen den Maisreihen in der Praxis ist der Einsatz von Reihenmulchern zu prüfen.

Tab. 2: Trockenmasse-Erträge Zwischenfrucht (ZF) und Mais (MW aller Versuche)

Variante	Biomasse-Ertrag ZF (kg ha ⁻¹ / Erntetermin)	Korn-TM (dt ha ⁻¹ / % zu BÜ)	Stroh-TM (dt ha ⁻¹ / % zu BÜ)	Korn/Pflanze (g)
BÜ	1433 / Ende März - Anfang April	122 b / 100	112 b / 100	165 b
DS	7467 / Mitte Mai - Anfang Juni	65 a / 53	81 a / 72	92 a

Legende: BÜ: betriebsüblich, DS: Direktsaat; Stroh: Ernterückstände – Blätter, Stängel, Lieschen; ZF: Zwischenfrucht; Mittelwerte (MW) mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (Tukey-Test p<0,05)

Erste Ergebnisse zu Soja in Bio-Direktsaat nach Winterroggen gibt es vom LTZ in Deutschland, wo unter suboptimalen Witterungsbedingungen Erträge von 23-30 dt/ha erreicht wurden (LTZ 2015). In Praxisversuchen des FiBL hat sich die Bio-Direktsaat von Mais in eine gewalzte Gründüngung (Winter-Futtererbse, cv. EFB33) bewährt (Dierauer et al. 2014).

Die Erfahrungen aus der ersten Vegetationsperiode zeigten, dass eine erfolgreiche Direktsaat im ökologischen Landbau durchaus möglich ist, es jedoch auf die Details ankommt. Damit die Direktsaat im Trockengebiet funktioniert, sind ausreichende Niederschlagssummen entscheidend, die im Untersuchungszeitraum Mai - August 2020 fast durchgehend überdurchschnittlich hoch waren. Die Ergebnisse aus der Vegetationsperiode 2020/21 bleiben abzuwarten.

Literatur

Dierauer, H., Hegglin, D., Böhler, D. (2014): Direktsaat von Mais im Biolandbau. Zwischenbericht FiBL, Schweiz. Praxistipp Nr. 005, OKNet-arable.

<http://orgprints.org/22242/1/dierauer-boehler-2012-Direktsaat-Mais-zwischenbe-richt.pdf>

LTZ (2015): Direktsaat von Sojabohnen im Ökolandbau. Versuchsberichte zur Pflanzenproduktion; Hrsg.: LTZ Augustenberg. <http://www.ltz-bw.de/pb/Lde/Startseite/Arbeitsfelder/Versuchsergebnisse>

Wirkung verschiedener Walzverfahren auf den untersten Hülsenansatz und weitere Ertragsparameter beim ökologischen Anbau von Sojabohnen (*Glycine max* (L.) Merrill.)

Hagemann, D.¹, Bühlmeier, J., Beiküfner, M.¹, Kühling, I.² und Trautz, D.¹

¹Hochschule Osnabrück; ²Uni Kiel. E-Mail: david.hagemann@hs-osnabrueck.de

Einleitung

Um auch die tief ansetzenden Hülsen der Sojabohnen erfassen zu können, ist das Walzen der Flächen in den USA und Kanada gängige Praxis. Dies ermöglicht eine tiefere Schneidwerksführung und damit geringere Ernteverluste. Problematisch am Walzen im Voraufbau ist die erhöhte Gefahr von Bodenerosion und Verschlammung, sowie das hohe Arbeitsaufkommen zur Saatzeit (BERGLUND und HELMS 2003, ENDRES und HENSON 2004, DEJONG-HUGHES et al. 2018). Um diesem entgegenzuwirken wird der Walzzeitpunkt teilweise auf den Nachaufbau verschoben. In der Literatur wird als Folge mechanischer Belastung von Pflanzen häufig von verkürzten und verdickten Internodien berichtet (SCHOPFER und BRENNICKE 2016, JAFFE 1980, MÜCKE 2016). Wie sich die Ermöglichung einer tiefen Schnittführung durch Walzen im Nachaufbau auf Ertrag und weitere Pflanzenparameter auswirkt, wurde in diesem Versuch ermittelt.

Material und Methoden

Auf dem ökologischen Versuchsbetrieb Waldhof der Hochschule Osnabrück wurden in den Jahren 2018 und 2019 die Sorten Abelina und Amandine zu BBCH 11 und BBCH 12/13 mit einer Glatt-, Prismen- bzw. Cambridgewalze gewalzt und die Auswirkungen auf den untersten Hülsenansatz (UHA) und Ertragsparameter untersucht. Der dreifaktorielle Versuch wurde in sechsfacher Wiederholung angelegt und neben den Ertragsparametern die Pflanzenverletzungen in Folge der Walzungen, Höhe des UHA, Bestandesdichte, Pflanzenlänge und Ernteverluste erfasst. Die Aussaat erfolgte am 20.04.18/ 14.05.19 mit 70 keimfähigen Körnern m⁻² und Impfung mit HiStick Force 48 (BASF). Die Walzungen wurden zur Mittagszeit mit 6 km h⁻¹ durchgeführt, um eine möglichst große Flexibilität der Pflanzen aufgrund des geringeren Turgors zu gewährleisten. Zur statistischen Auswertung wurde separat für beide Jahre eine Varianzanalyse im gemischten Modell mit Block:Walztermin:Walztyp als ‚random‘ Faktor in R (R CORE TEAM 2019). durchgeführt. Als Post-hoc-Test wurde der Tukey-HSD-Test ($\alpha = 0,05$) angewendet.

Ergebnisse und Diskussion

Der Ertrag der Sorte Abelina lag im Jahr 2019 knapp 2 dt ha⁻¹ über dem von Amandine (Tab.1). Dies lässt sich mit der höheren Bestandesdichte von Abelina (62/47 Pfl m⁻² 2018/19) im Vergleich zu Amandine (60/40 Pfl m⁻²) begründen.

Tab. 1: Bohnenertrag der Sorten (86 % TM dt ha⁻¹) (\pm Standardabweichung)

	2018			2019		
Abelina	18,2	(\pm 5,83)	a	14,6	(\pm 2,89)	a
Amandine	18,4	(\pm 3,48)	a	12,8	(\pm 2,16)	B

Auch der erhöhte UHA von Abelina (13/18 cm) könnte dazu geführt haben, dass durch verbesserte Beerntbarkeit der Ertrag höher als bei Amandine (12/17 cm) war. Die Ernteverluste waren allerdings nur 2019 bei Abelina mit 8 % signifikant geringer

als bei Amandine (11 %). Der späte Walztermin (BBCH 12/13) bewirkte einen signifikant niedrigeren UHA (12/15 cm) gegenüber der Kontrolle (13/19 cm), was auf eine deutliche Krümmung des untersten Internodiums zurückzuführen ist (Abb. 1 a). Auswirkungen auf den Stängeldurchmesser konnten abseits von Sortenunterschieden nicht signifikant abgesichert werden. Ertragsunterschiede, die sich auf die unterschiedlichen Walzvarianten zurückführen lassen, gab es nicht (Abb. 1 b), sodass sich signifikante Unterschiede zumeist auf Sorteneffekte zurückführen lassen. Die Auswahl des Walztyps kann daher betriebsspezifisch erfolgen. Lediglich die Prismenwalze wirkte besonders zu BBCH 13 sehr aggressiv.

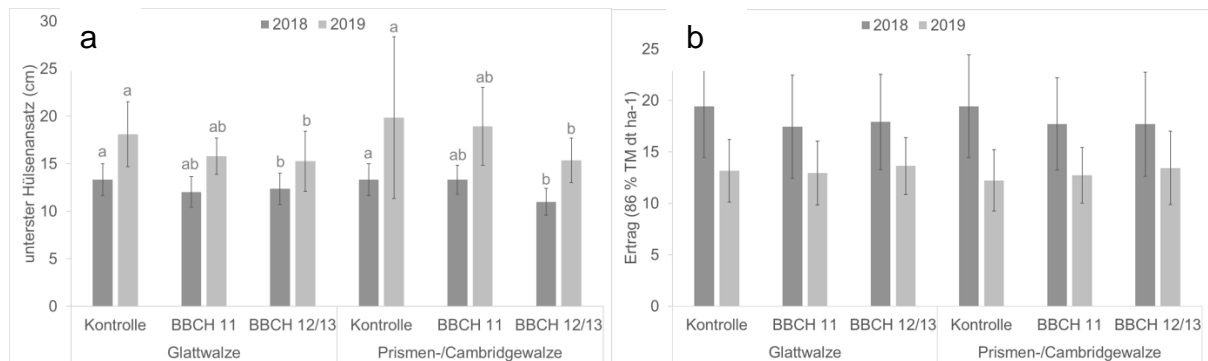


Abb. 1: a) Unterster Hülsenansatz und b) Kornertrag (Mittelwert aus 6 Wdh. \pm Standardabweichung) in den untersuchten Varianten, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der Walztermine eines Versuchsjahres zueinander.

Auf steinigem Boden kann das Walzen die Beerntbarkeit verbessern, allerdings wirkt hier die mechanische Beikrautregulierung dem Einebnungseffekt entgegen, da in den Boden gedrückte Steine wieder auf die Bodenoberfläche und an die Reihe geschoben werden. Ohne mechanische Eingriffe in den Boden nach dem Walzen kann das Walzen sinnvoll sein. Zum Brechen von Arbeitsspitzen und Reduzieren der Erosionsgefahr kann das Walzen auf den Nachauflauf verschoben werden, sollte dann aber zwischen BBCH 11 und 12 erfolgen, um Pflanzenverletzungen und niedrige unterste Hülsenansätze zu vermeiden.

Literatur

- BERGLUND, D. R. und HELMS, T. C. (2003): Soybean Production. EXT NDSU Extension Service <https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/5450/a250.pdf?sequence=1>.
- DEJONG-HUGHES, J., HOLEN, D. und GLOGOZA, P. (2018): Rolling soybean in the Upper Midwest <https://extension.umn.edu/soil-management-and-health/rolling-soybean-upper-midwest#cost-and-return-on-investment-1235065> (Zugriff am 20.05.19).
- ENDRES, G. und HENSON, B. (2004): Impact of Field Rolling on Soybean Performance <https://www.ag.ndsu.edu/carringtonrec/documents/agronomyrd/docs2004/04%20Soybean%20Rolling.pdf> (Zugriff am 20.05.19).
- JAFFE, M. J. (1980): Morphogenetic Responses of Plants to Mechanical Stimuli or Stress. *BioScience* 30, 239–243 doi: 10.2307/1307878.
- MÜCKE, M. (2016): Mechanische Unkrautregulierung in Sojabohnen. Sojabohnenfeldtag, 8.6.2016, Klein Süstedt (Zugriff am 18.11.19).
- R CORE TEAM (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing Version 3.6.2, <https://www.R-project.org/>.
- SCHOPFER, P. und BRENNICKE, A. (2016): Pflanzenphysiologie. 7. Aufl., Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.

Ableitung der Vorfruchtwirkung heterogener Kleeanteile im Klee gras anhand von NDVI-Werten im Ökologischen Landbau

Tobias Reuter¹, Konstantin Nahrstedt², Lucas Wittstruck², 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

Räumliche Heterogenitäten der Bodeneigenschaften führen zu einer ungleichmäßigen Bestandsentwicklung. Eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung kann dies ausgleichen, wodurch Ressourcen effektiver genutzt werden können (DUNGAIT et al. 2012). Da im ökologischen Landbau nur wenige schnell lösliche Stickstoff (N)-Düngemittel zur Verfügung stehen, müssen Unterschiede im Feld mittelfristig durch die Fruchtfolge ausgeglichen werden (FRICKE 2012). Klee gras gemenge können hierbei entscheidenden Einfluss auf die Nährstoffversorgung innerhalb einer Fruchtfolge nehmen, da der Leguminosenanteil mikrobiell N aus der Luft fixiert und so die Bodenqualität signifikant verbessert (RASMUSSEN et al. 2012). Vor diesem Hintergrund sollte untersucht werden, ob sich Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)-Daten eignet um die Klee gras fläche in Teilflächen einzuteilen. Weiterhin wird betrachtet, ob sich diese Zonen auch in der Nachfrucht widerspiegeln.

Material und Methoden

2020 wurden auf einer ökologisch bewirtschafteten Klee gras fläche an 48 Messstellen (50 x 50 cm) regelmäßig die Ertragsanteile von Klee abgeschätzt. Im Anschluss an den Klee gras umbruch im März 2021 erfolgte Untersuchung der N_{\min} -Gehalte in den Tiefen 0 – 30/30 – 60/60 – 90 cm. Nach Aussaat des Sommerdinkels (24.03.21) ist an den Messstellen von 2020 der Blattflächenindex (LAI) mit einem LI-COR LAI-2200C Plant Canopy Analyzer ebenso gemessen worden wie die Wuchshöhe des Dinkels. Zeitnah zu jeder Bonitur erfolgten in 2020 Drohnenbefliegungen (UAV) mit einer DJI Matrice M210 in 25 m Flughöhe. Die mitgeführte Multispektralkamera (MicaSense Altum) lieferte Bilder in den Wellenlängen Blau (475 nm), Grün (560 nm), Rot (668 nm), Red Edge (717 nm) und Nahes Infrarot (840 nm) mit einer Bodenauflösung von 1,1 cm. Der rote Kanal und der nahe Infrarotkanal wurden genutzt, um den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) zu berechnen: $NDVI = (Nahes\ Infrarot - Rot) / (Nahes\ Infrarot + Rot)$. Für jede Messtelle ist der Mittelwert gebildet worden. In Quantum GIS (3.20.0 2021) wurden die NDVI-Werte des Klee gras bestands und die LAI-Werte des Sommerdinkel interpoliert (inverse distance weighted). Anschließend erfolgte unter Verwendung eines k-means-clustering Algorithmus die automatisierte Zuweisung zu je zwei Klassen (1=hoch, 2=gering) und die Einteilung des Feldes in zwei Zonen. Darauf folgten Levene-Tests zur Überprüfung der Varianzhomogenität und t-Tests zur Identifizierung signifikanter Unterschiede in den Teilflächen (Irrtumswahrscheinlichkeit: 0,05). Dazu wurde die Programmierumgebung R Studio (4.0.5 2021) genutzt.

Ergebnisse und Diskussion

Am 31.07.2020 war Klee mit durchschnittlichen 65 % Hauptertragsbildner im Klee gras. Zwischen Kleeanteil und NDVI bestand eine positive Korrelation ($R=0,62$). Dabei unterschieden sich die auf der Versuchsfläche aufgrund der NDVI-Werten gebildete Zonierungen (1 hoch/2 niedrig) hinsichtlich des Kleeanteils signifikant voneinander. In der Folgekultur Dinkel zeigte sich ebenfalls, dass sich die Zonen zu mehreren Terminen signifikant im LAI und für einen Termin in der Wuchshöhe unterschieden.

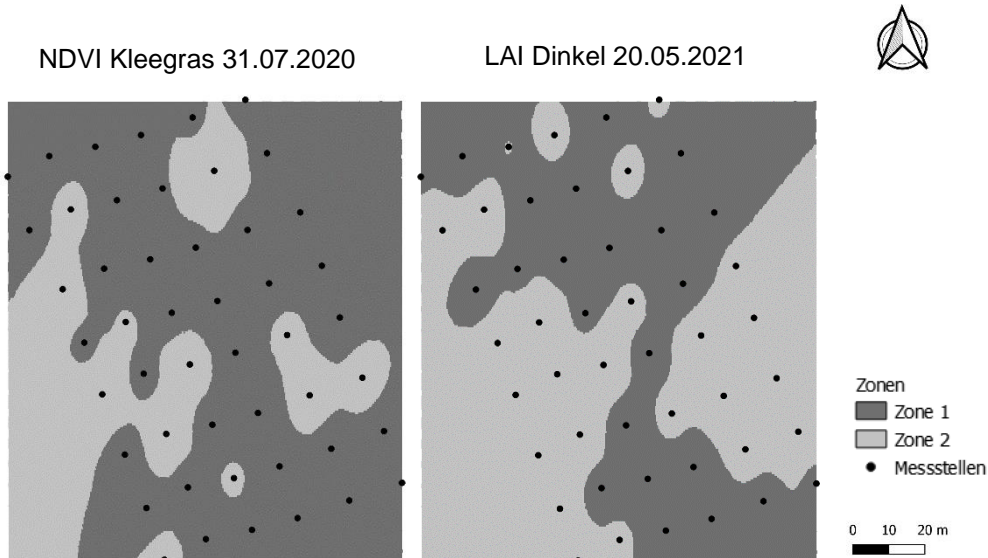


Abb. 1: Zonenkarten basierend auf NDVI-Karten des Klee grasbestandes (links) und LAI-Karte des Dinkelbestandes (rechts). Zone 1 weist hohe, Zone 2 geringe Werte auf.

Der LAI steht positiv im Zusammenhang mit dem Ertrag (REVILL et al. 2021). Ebenso weist Zone 1 einen signifikant höheren N_{\min} -Gehalt auf. Durch den höheren Klee biomasseanteil könnte mehr Stickstoff fixiert worden sein, der bei der Nachfrucht zu einem vermehrten Wachstum geführt hat. Die Betrachtung der Vorfrucht wurde bereits erfolgreich zur Gestaltung von Managementzonen angewandt (BREUNIG et al. 2020). Während aufgrund der NDVI-Werte 36 Messstellen in Zone 1 ausgewiesen wurden, waren es beim LAI nur 23 (vgl. Abbildung 1). Dies weist darauf hin, dass noch weitere Bodenparameter den N_{\min} -Gehalt beeinflussen können. In beiden Karten sind am westlichen bzw. östlichen Rand Bereiche mit geringerem Ertragspotential identifiziert worden. Daraus kann geschlossen werden, dass der NDVI zur Ausweisung von ertragspezifischen Teilflächen in der Nachfrucht geeignet ist.

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, Förderkennzeichen 28DE103B18 und 28DE103C18.

Literatur

- BREUNIG, F. M., GALVÃO, L. S., DALAGNOL, R., DAUVE, C. E., PARRAGA, A., SANTI, A. L., DELLA FLORA, D. P., CHEN, S. (2020): Delineation of management zones in agricultural fields using cover-crop biomass estimates from PlanetScope data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 85 (4), 102004.
- DUNGAIT, J. A. J., CARDENAS, L. M., BLACKWELL, M. S. A., WU, L., WITHERS, P. J. A., CHADWICK, D. R., BOL, R., MURRAY, P. J., MACDONALD, A. J., WHITMORE, A. P., GOULDING, K. W. T. (2012): Advances in the understanding of nutrient dynamics and management in UK agriculture. *Sci. Total Environ.* 43439–50.
- FRICKE, T. (2012): Sensorische Erfassung von Grünlandbiomassen als Grundlage für ein teilflächenspezifisches Management im Ökologischen Landbau. Universität Kassel.
- RASMUSSEN, J., SØEGAARD, K., PIRHOFER-WALZL, K., ERIKSEN, J. (2012): N_2 -fixation and residual N effect of four legume species and four companion grass species. *Eur. J. Agron.* 36 (1), 66–74.
- REVILL, A., MYRGIOTIS, V., FLORENCE, A., HOAD, S., REES, R., MACARTHUR, A., WILLIAMS, M. (2021): Combining Process Modelling and LAI Observations to Diagnose Winter Wheat Nitrogen Status and Forecast Yield. *Agronomy* 11 (2), 314.

Langjähriger Vergleich der Vorfruchtwirkung von Klee gras und Körnerleguminose auf die zweite Nachfrucht Sommergerste im ökologischen Landbau

Urbatzka P.¹, Eckl T.², Heiles E.³, Salzeder G.² und Castell A.¹

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, Freising; ² LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising; ³ Bayerische Staatsgüter, Versuchsstation Puch. E-Mail: Peer.Urbatzka@LfL.Bayern.de

Einleitung

Im ökologischen Pflanzenbau ist die Gestaltung der Fruchtfolge von wesentlicher Bedeutung, da die Nährstoffversorgung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit gesichert werden muss. Im viehlosen Betrieb bildet der Leguminosenanbau die Grundlage für die Stickstoffversorgung. Gerade die ökologische Erzeugung von Qualitätsware, welche nicht direkt nach Leguminosen angebaut werden, stellt hohe Anforderungen an die Fruchtfolgegestaltung. Zwei Dauerfeldversuche der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) lassen einen Vergleich zwischen verschiedenen Leguminosenarten auf die die zweite Nachfrucht Sommergerste zu. Für die erste Nachfrucht Winterweizen wurde dieser bereits publiziert (Castell et al. 2015).

Material und Methoden

Der Fruchtfolgeversuch wurde zur Ernte 1998 als Blockanlage mit drei Wiederholungen an den Versuchsstationen Puch (sL, Bodenzahl 64, langjährige Mittel: 8,0 °C, 820 mm) und Viehhausen (uL, Bodenzahl 61, langjährige Mittel 786 mm und 7,8 °C) je in Oberbayern mit fünf bzw. sechs Fruchtfolgen angelegt. In diesem Beitrag werden zwei dieser Rotationen verglichen. Die dreifeldrige Fruchtfolge besteht aus Leguminose – Winterweizen (mit legumer Untersaat einer Zwischenfrucht) – Sommergerste. Als Leguminose wird Klee gras bzw. Körnerleguminose angebaut. Die Körnerleguminose war von 1998 bis 2003 Erbse und Ackerbohne und ab 2004 Sojabohne. Nur in Puch wurde die Sojabohne ab 2011 wieder durch die Ackerbohne ersetzt. Details finden sich in Castell et al. (2016). In diesem Beitrag wird die Vorfruchtwirkung auf die zweite Nachfrucht Sommergerste (cvs. Ria, Primadonna und Grace) vorgestellt.

Das Klee gras wird gemulcht. In beiden Fruchtfolgen erfolgt mit Ausnahme von Calciumsulfat in Viehhausen zu den Leguminosen keine Düngung in der gesamten Rotation. Jedes Fruchtfolgefeld wird jedes Jahr angebaut. Die Bruttoparzellengröße beträgt 150 m². Die Malzqualität wurde je Wiederholung nach MEBAK (2006) analysiert, der Rohproteingehalt wurde nach Kjhldahl bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgte mit SAS 9.3. Die Auswertung umfasst die Jahre 2005 bis 2013.

Ergebnisse und Diskussion

Im Schnitt der Jahre lag der mittlere Ertrag an beiden Standorten um 53 bzw. 31 % nach Vorfrucht Klee gras signifikant höher als nach Vorfrucht Körnerleguminose (Tab. 1). Beide erhobenen ertragsbildenden Parameter Bestandesdichte und TKM fielen mit Ausnahme der Bestandesdichte in Viehhausen nach Vorfrucht Klee gras signifikant höher aus als nach Vorfrucht Körnerleguminose (Tab. 1). Nach Vorfrucht Klee gras wurde ebenfalls ein signifikant höherer Rohproteingehalt im Korn (nicht dargestellt) und im Malz der

Sommergerste (Tab. 2) festgestellt. Demnach fiel die Stickstoffverfügbarkeit für die Sommergerste in der Fruchtfolge mit Klee gras mit Ausnahme des frühen Zeitpunktes für die Anlage der ährentragenden Halme an einem der beiden Standorte besser aus als in der Fruchtfolge mit Körnerleguminose.

In der Malzqualität wurden dagegen nur wenige statistische Unterschiede festgestellt: nach der Vorvorrucht Körnerleguminosen war in Puch der Friabilimeterwert tendenziell und in Viehhausen der Eiweißlösungsgrad signifikant höher als nach Vorvorrucht Klee gras (Tab. 2). Anscheinend ist die Malzqualität ohne Rohproteingehalt über die Stickstoffverfügbarkeit während dem Wachstum der Sommergerste ggf. mit Ausnahme des Eiweißlösungsgrades kaum zu beeinflussen.

Tab. 1: Ertrag, Sortierung und ertragsbildende Parameter von Sommergerste in Abhängigkeit der Vorvorrucht

Ort	FF	Kornertrag (dt/ha)	Sortierung 2,5-2,8 mm (%)	Sortierung >2,8 mm (%)	TKM (g)	Bestandesdichte (Ähren/m ²)	hl-Gewicht (kg/hl)
Puch	KG	42,2 A	25,8 B	61,8 A	42,8 A	477 A	67,3 A
	KL	27,6 B	30,7 A	55,4 B	40,5 B	375 B	65,9 B
Viehhausen	KG	38,4 a	32,5 b	50,4 a	41,7 a	502 a	70,1 a
	KL	29,4 b	36,4 a	44,1 b	39,9 b	471 a	68,1 a

Mittel der Jahre 2005 bis 2013; FF = Fruchtfolge, KG = FF mit Klee gras, KL = FF mit Körnerleguminose; verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK, $p < 0,05$), n.s. = nicht signifikant

Tab. 2: Malzqualität von Sommergerste in Abhängigkeit der Vorvorrucht

Ort	FF	RP-Gehalt Malz (%)	Friabilimeterwert (%)	Eiweißlösungsgrad (%)	löslicher N *	Endvergärungsgrad (%)	Extraktgehalt (%)
Puch	KG	9,7 A	90,2 A ¹	50,9 A	813 A	83,4 A	82,5 A
	KL	8,8 B	95,0 A	54,4 A	798 A	83,8 A	82,3 A
Viehhausen	KG	9,9 a	89,0 a	50,3 b	803 a	83,6 a	82,6 a
	KL	9,2 b	91,6 a	53,1 a	785 a	84,1 a	82,8 a

Legende siehe Tab. 1; ¹ tendenzieller Unterschied (SNK, $0,05 < p < 0,1$); * mg je 100°g Malztrockensubstanz

Literatur

Castell A, Salzeder G, Schmidt M, Urbatzka P (2015): Einfluss der Fruchtfolge auf Ertrag und Qualität von Winterweizen in viehhaltenden und in viehlosen Betriebssystemen - Ergebnisse eines Dauerfeldversuches. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 182-185

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

MEBAK (2006): Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission, Band 1: Rohstoffe, MEBAK e. V, Freising

Einfluss des Klee-grasmanagement auf die N_{\min} -Werte der Nachfrüchte im ökologischen Landbau

Peer Urbatzka¹ und Stefan Zott²

¹ Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, ² Bayerische Staatsgüter, Neuhof; E-Mail: peer.urbatzka@LfL.bayern.de

Einleitung

Im ökologischen Landbau ist eine Abfuhr des Klee-grases mit Rückführung eines Teiles der Nährstoffe über organische Düngung die bessere Alternative zur reinen Mulchnutzung. Hintergrund ist eine höhere N_2 -Fixierung der feinsamigen Leguminosen (Dreyman 2005), die Vorteile der Verwertung des Aufwuchses und die Möglichkeit einer organischen Düngung der Nachfrüchte. Allerdings stellt sich für vieharme Betriebe ohne eine Futter-Mist-Kooperation oder einer Nutzung in der Biogasanlage die Frage, welches Klee-grasmanagements eine Alternative zum Mulchen darstellt. In diesem Beitrag wird der Einfluss auf die N_{\min} -Gehalte im Boden thematisiert, der auf Ertrag und Qualität wurde bereits publiziert (Urbatzka und Zott 2019).

Material und Methoden

Der Dauerfeldversuch wurde auf dem Standort Neuhof bei Donauwörth in Bayern (Pseudogley-Parabraunerde, uL, Ackerzahl 62, lj. Mittel 677 mm und 8,7 °C) zur Ernte 2014 angelegt. Fruchtfolge war Klee-gras (2014), Winterweizen (2015), Wintertriticale (2016) und Sommerhafer (2017). Anschließend folgte zu Beginn der zweiten Rotation wieder ein Klee-gras. Die Behandlung des Klee-grases und die organische Düngung in den Nachfrüchten unterschieden sich in den sieben Prüfvarianten:

- 1) Mulchen aller Schnitte + keine Düngung („Mulchen“)
- 2) Abfuhr aller Schnitte ohne Rückführung („Abfuhr“)
- 3) Abfuhr aller Schnitte ohne Rückführung + Einsatz Grüngutkompost vor Triticale
- 4) Abfuhr 1. + 2. Schnitt ohne Rückführung, 3. Schnitt mulchen („Abfuhr/Mulchen“)
- 5) Abfuhr, Herstellung von Silage aus Klee-gras aller Schnitte + Düngung vor Saat Weizen und Triticale („Abfuhr + KG-Silage“)
- 6) Abfuhr, Herstellung von Kompost aus Klee-gras aller Schnitte mit Getreidestroh + Düngung vor Saat Weizen und Triticale („Abfuhr + KG-Kompost“)
- 7) Abfuhr aller Schnitte + Gülle im Frühjahr zu Weizen und Triticale („Abfuhr+Gülle“)

Das Getreidestroh mit Ausnahme der Variante Kompostherstellung bei Weizen und Triticale verblieb auf den Parzellen. Ansonsten wurden diese mit Ausnahme der oben genannten Düngung gleichbehandelt. Die N_{\min} -Proben wurden im Spätherbst (13.11.2014, 24.11.2015, 2.11.2016, 26.10.2017) und im zeitigen Frühjahr (20.3.2015, 19.2.2016, 14.3.2017) gezogen. Die Grundbodenbearbeitung vor Wintergetreide erfolgte kurz vor der Saat, die vor Hafer am 3.11.2016. Gesät wurde Weizen am 15.10.2014, Triticale am 30.9.2015 und Hafer am 28.3.2017. Versuchsanlage ist ein einfaktorielles Lateinisches Rechteck (N=4) mit einer Parzellengröße von je 100 m². Die Auswertung erfolgte mit SAS 9.4.

Ergebnisse und Diskussion

Bei den N_{\min} -Gehalten im Boden lagen mit Ausnahme des Termins Frühjahr 2016 keine signifikanten Unterschiede in der Tiefe 0 bis 90 und 0 bis 30 cm vor (Tab. 1+2). In den Tiefen 30 bis 60 und 60 bis 90 cm wurden zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede bestimmt (Daten nicht dargestellt). Rein numerisch erreichten die Variante mit Mulchen des Klee-grases bei allen bzw. nur beim letzten Schnitt (Var. 1+4) leicht erhöhte Werte im Herbst 2014 in der Tiefe 0 bis 90 cm. Dies ist wahrscheinlich auf die schnelle Verfügbarkeit des gemulchten Klee-grases zurückzuführen. Interessanterweise zeigte das vor der Saat des Wintergetreides ausgebrachte silierte und kompostierte Klee-gras keinen Effekt in den N_{\min} -

Gehalten im Herbst 2014 und im Herbst 2015 in Übereinstimmung zu Stumm (2021) bei Winterraps.

Nur in der zweiten Nachfrucht Wintertriticale waren die N_{\min} -Gehalte in der Bodenschicht 0 bis 90 cm nach der Düngung mit siliertem Klee gras (Var. 5) im Frühjahr 2016 mit einer Ausnahme signifikant höher als in den anderen Varianten. Da aber mehr als die Hälfte der N_{\min} -Werte in der obersten Bodenschicht festgestellt wurden und im vorangegangenen Spätherbst keine signifikanten Unterschiede vorlagen, ist nicht von einer erhöhten N-Auswaschungsgefahr nach der Düngung von silierten Klee gras auf dem Standort Neuhof auszugehen.

Tab. 1: N_{\min} (kg/ha) im Boden in der Tiefe 0 bis 90 cm im Verlauf der Fruchtfolge in Abhängigkeit des Klee grasmanagements

	2014		2015		2016		2017	
Var.	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	
1	82,5 ns	75,5 NS	73,4 ns	44,4 AB	30,0 ns	81,0 NS	48,6 ns	
2	58,2	67,9	67,4	33,3 B	29,6	91,1	44,0	
3	51,3	59,4	76,9	38,6 B	29,8	100,9	43,7	
4	69,4	84,0	80,3	34,3 B	28,7	98,5	40,1	
5	57,4	73,5	83,4	56,9 A	36,1	97,3	48,8	
6	54,9	76,6	81,1	35,5 B	28,3	84,0	51,8	
7	57,5	85,8	79,6	39,8 B	30,0	90,4	44,3	

1 = Mulchen, 2 = Abfuhr, 3 = Abfuhr + Grüngutkompost, 4 = Abfuhr/Mulchen, 5 = Abfuhr + KG-Silage, 6 = Abfuhr + KG-Kompost, 7 = Abfuhr + Gülle; verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK, $p < 0,05$), ns = nicht signifikant

Tab. 2: N_{\min} (kg/ha) im Boden in der Tiefe 0 bis 30 cm im Verlauf der Fruchtfolge in Abhängigkeit des Klee grasmanagements

	2014		2015		2016		2017	
Var.	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	
1	47,2 ns	32,4 NS	52,9 ns	23,7 AB	18,6 ns	38,0 NS	22,3 ns	
2	34,2	30,7	48,5	17,2 B	18,6	45,9	21,8	
3	33,1	27,8	57,4	20,9 AB	18,3	53,1	22,3	
4	37,5	37,4	59,3	19,2 AB	17,5	51,8	19,7	
5	36,3	32,5	63,7	29,6 A	22,4	48,9	23,3	
6	31,6	34,4	62,3	19,7 AB	18,8	44,7	25,0	
7	34,2	37,0	59,2	19,1 AB	18,8	44,7	20,4	

Legende siehe Tab. 1

Literatur

Drey mann S (2005) N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen im Ökologischen Landbau. Dissertation. Universität Kiel.

Stumm C (2021) Klee grasnutzung im viehlosen Acker- und Gemüsebau. URL: https://www.oekolandbau.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/Forschung/Ergebnisse/nach_Jahren/2014/16_FF_KG_Transfer_14.pdf, Abruf am 25.6.2021.

Urbatzka P, S Zott (2019) Einfluss des Klee grasmanagement auf die Fruchtfolge im ökologischen Landbau – Ergebnisse der ersten Rotation. Mitt. Ges. Pfl. 31, 79-80.

Einfluss der Fruchtfolge auf den Besatz mit Ampfer in einem Dauerfeldversuch im ökologischen Landbau

Urbatzka P.¹, Heiles E.² und Schneider R.^{1,3}

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, Freising; ² Bayerische Staatsgüter, Versuchsstation Puch; ³ aktuelle Adresse: Öko-Beratungsgesellschaft mbH, Hohenkammer. E-Mail: Peer.Urbatzka@LfL.Bayern.de

Einleitung

Im ökologischen Pflanzenbau sind perennierende Wurzelunkräuter wie der Ampfer nur schwer bekämpfbar. Versuchsziel war die Bestimmung des Einflusses verschiedener Fruchtfolgen in einen Dauerfeldversuch auf das Auftreten des Stumpfbältrigen Ampfers (*Rumex obtusifolius*).

Material und Methoden

Der Fruchtfolgeversuch wurde zur Ernte 1998 als Blockanlage mit drei Wiederholungen an der Versuchsstation Puch (Pseudogley-Parabraunerde, sL, Bodenzahl 64, langjährige Mittel: 8,0 °C, 820 mm) in Oberbayern mit fünf Fruchtfolgen angelegt (Tab. 1). Er umfasst vier dreifeldrige und eine fünffeldrige Fruchtfolge (FF) (Tab. 1). Jedes Fruchtfolgefeld wird jedes Jahr angebaut, die Bruttozellengröße beträgt 150 m². Details sind in Castell et al. (2016) beschrieben.

Im Folgenden werden die drei dreifeldrigen Fruchtfolgen mit Klee gras betrachtet. FF2 simuliert ein viehhaltendes Betriebssystem, in dem Klee gras geschnitten, abgefahren und zu den Marktfrüchten eine organische Düngung in Form von Rindergülle gegeben wird. FF4 und FF5 werden als viehlose Betriebe geführt, d.h. das Klee gras wird gemulcht und es erfolgt keine organische Düngung.

Tab. 1: Übersicht der Fruchtfolgen

	FF1	FF2	FF4	FF5	FF6
	viehhaltend		viehlos		
1. Jahr	Klee gras ³ (Schnitt)	Klee gras ³ (Schnitt)	Klee gras ³ (Mulch)	Klee gras ³ (Mulch)	KL ²
2. Jahr	Klee gras (Schnitt)	Kartoffel 25 m ³ Gülle	Kartoffel	Winterweizen (+ZF ¹)	Winterweizen (+ZF ¹)
3. Jahr	Kartoffel 25 m ³ Gülle	Winterweizen 20 m ³ Gülle	Winterweizen	Sommergerste	Sommergerste (+ZF ¹)
4. Jahr	Winterweizen 20 m ³ Gülle	¹ ZF = Zwischenfrucht Alexandrinerklee als Untersaat ² KL=Körnerleguminose Sojabohne, ab 2012 Ackerbohne ³ Untersaat im Frühjahr ins vorlaufende Getreide			
5. Jahr	Winterroggen 20 m ³ Gülle				

In 2011 konnte das Klee gras aufgrund einer schwachen Entwicklung nicht wie üblich als Untersaat etabliert werden. Nach dem Korndrusch und einer Saatbettbereitung wurde die bayerische Qualitätssaatmischung FM4 erneut gesät. Im Frühjahr 2012 trat ein erhöhter Besatz mit Stumpfbältrigen Ampfer (*Rumex obtusifolius*) in einem Teil der Parzellen auf, welcher in einer Notenskalierung von eins bis neun am 7.5.2012 bonitiert wurde. Anschließend wurde der Ampfer gestochen. Die statistische Auswertung erfolgte mit SAS 9.4 mit der Prozedur npar1way.

Ergebnisse und Diskussion

Der signifikant höchste Befall mit Ampfer trat in FF5 auf, während in FF2 und FF4 nur wenige Ampferpflanzen vorgefunden wurden (Abb. 1). Da die gleiche Saatmischung zum gleichen Zeitpunkt in den drei Fruchtfolgen gesät und das Klee gras bis zum ersten Schnitt Ende Mai gleichbehandelt wurde, ist eine Verunreinigung des Saatguts mit Ampfersamen unwahrscheinlich. Ampfer besiedelt auf dem Acker gerne Lücken im Klee gras, welche bei Mulchnutzung bereits im ersten Hauptnutzungsjahr stärker als bei Abfuhr des Aufwuchses auftreten (Urbatzka und Uhl 2019). Die Nutzungsart als Erklärung scheidet aber ebenfalls aus, da zwischen den beiden gemulchten Klee gräsern in FF4 und FF5 deutliche Unterschiede im Ampferbesatz bestehen. Die Begründung für das unterschiedlich starke Auftreten von Ampfer liegt vermutlich in den verschiedenen Fruchtfolgen: in FF2 und FF4 werden Kartoffel mit einer erhöhten Frequenz der Bodenbearbeitung und einer intensiven mechanischen Beikrautregulierung kultiviert, während in FF5 stattdessen die eher konkurrenzschwache Sommergerste angebaut wird. Das bisher im Versuchszeitraum einmalige massive Auftreten des Ampfers kann durch die Saat nach dem Drusch anstelle einer im Versuch üblichen Untersaat mit der Folge einer geringeren Konkurrenz des Klee grasses erklärt werden (Urbatzka und Salzeder 2019).

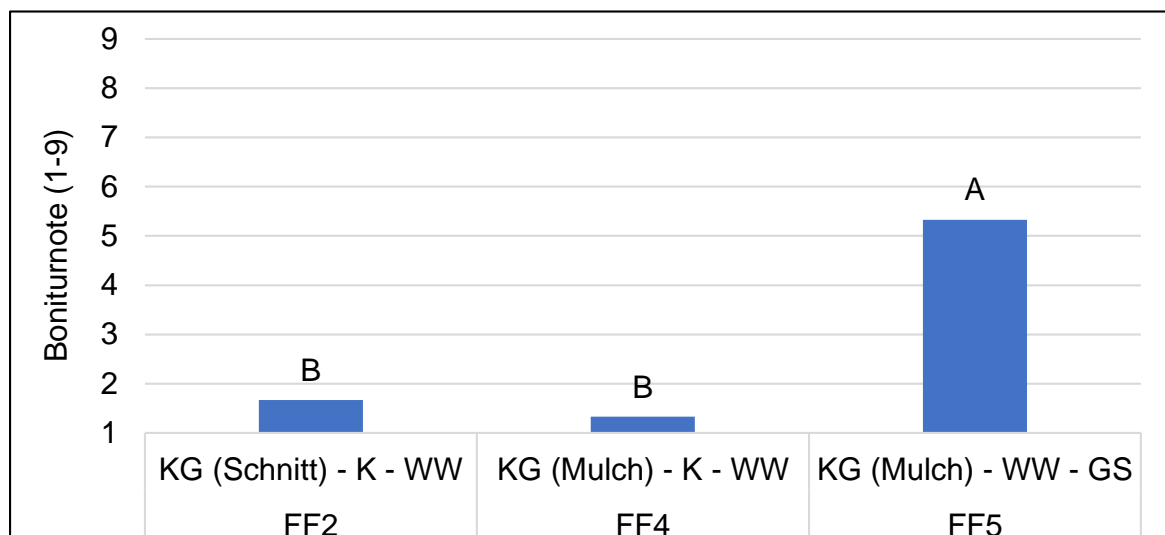


Abb. 1: Befall mit Ampfer in Abhängigkeit der Fruchtfolge vor dem 1. Schnitt am 7.5.2012. *Verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$); 1 = sehr geringer Befall, FF = Fruchtfolge, KG = Klee gras, K = Kartoffel, WW = Winterweizen, GS = Sommergerste*

Literatur

- 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.
- Urbatzka P, Uhl J (2019): Entwicklung der Bestandzusammensetzung eines zweijährigen Klee grasses in Abhängigkeit von der Nutzungsart und einer Schwefeldüngung. Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 124-127.
- 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.

Gezielte Nutzung mikrobieller Konsortien zur Ertragssteigerung im ökologischen Maisanbau

Jonas Hett¹, Corinna Schmitz¹, Annamaria Bevivino² und Daniel Neuhoff¹

¹Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Abt. Agrarökologie und Organischer Landbau, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn; ²ENEA, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Development, Dept. of Sustainability, Rome, Italy.
E-Mail: jhett@uni-bonn.de

Einleitung

Die gezielte Nutzung von pflanzenwachstumsfördernden Mikroorganismen (engl. plant growth-promoting microorganisms – kurz PGPM) im Ackerbau wird aktuell als erfolgsversprechender Ansatz der ökologischen Intensivierung diskutiert. Bis heute wurden jedoch signifikante und zugleich ökonomisch relevante Ertragssteigerungen als Folge von gezielten PGPM-Anwendungen in Nutzpflanzen vorwiegend in Labor- oder Gewächshausversuchen bzw. unter tropischen Klimaten im Freiland erzielt. Unter Feldversuchsbedingungen wurden ertragssteigernde Effekte in temperierten Klimaten bis dato nicht reproduzierbar festgestellt (Mayer et al., 2010). Vor diesem Hintergrund wird als neuer Ansatz zunehmend der Einsatz von PGPM-Konsortien mit verschiedenen PGPM-Stämmen und diversen funktionellen Wirkmechanismen untersucht, da diese eine höhere Wirksamkeit erwarten lassen (Tabacchioni et al., 2021).

Material und Methoden

Zur Überprüfung der bodenmikrobiologischen und pflanzenbaulichen Effekte von unterschiedlichen mikrobiellen Konsortien im ökologischen Maisanbau wurde im Jahr 2020 ein zweifaktorieller Feldversuch am Versuchsgut der Universität Bonn am Standort Hennef/Rheinland [Fluvisol, Uls, Ackerzahl: 74, Ø 840 mm u. 10,3°C) als Spaltanlage durchgeführt. Der Einsatz der Konsortien erfolgte in Kombination mit einer gestaffelten organischen Düngung (potato protein liquid - PPL), äquivalent einer Höhe von [0] 0, [1] 40 oder [2] 140 kg N ha⁻¹. Die mikrobiellen Varianten umfassten eine unbehandelte Kontrolle, ein kommerzielles Produkt (Micosat F, CCS Aosta Srl, Italien), sowie zwei im Rahmen des EU-Projektes SIMBA (*Sustainable Innovation of Microbiome Applications in the Food Systems*) neu entwickelte, multifunktionale Konsortien (MC_B und MC_C). Diese enthielten jeweils fünf spezifische Stämme von Arten u. a. der Gattungen *Pseudomonas*, *Bacillus* und *Azotobacter*. Die Applikation der Konsortien erfolgte zweifach (Saatgutbeimpfung und Re-Inokulation zur Maisblüte) mit inokulierten Zeolithpulver. Vegetationsbegleitend wurden mehrfach Biomasse und Nährstoffgehalte, Pflanzenlänge und -durchmesser, spektrophotometrische Parameter (u. a. NDVI) sowie bodenmikrobiologische Parameter (u. a. Analyse des Wurzelmikrobioms über Rhizosphärenbodenproben u. Untersuchung der mikrobiellen Aktivität mittels „litterbag“-Methode) erhoben und varianzanalytisch ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Obschon die Düngung mit PPL insgesamt einen höheren Effekt auf alle erhobenen pflanzenbaulichen Parameter hatte, ließen sich bevorzugt in der frühen Wachstumsphase auch für die mikrobiellen Varianten signifikante Effekte nachweisen. In den schwach- und nicht gedüngten Varianten führte die Anwendung des Konsortiums C, welches unter anderem auch einen speziellen Stamm von *Azotobacter chroococcum*

enthielt, 70 Tage nach Aussaat zu einer signifikant höheren Sprossbiomasse verglichen mit der Kontrolle (+ 27%) (Abb. 1). Ferner wurden beim Vergleich derselben Varianten ebenfalls signifikant höhere N-Gehalte (2,09% vs. 1,64%) und N-Aufnahmen (72 kg N ha^{-1} vs. 48 kg N ha^{-1}) von Mais nach Anwendung von Konsortium C nachgewiesen. Ähnliche Resultate, mit einem geringfügigen Trend zur Angleichung der Ergebnisse der mikrobiellen Varianten aneinander, wurden auch zur Maisblüte (90 Tage nach Aussaat) festgestellt. Der im vegetativen Wachstum ermittelte Wachstumsvorsprung von Konsortium C spiegelte sich ebenfalls in signifikant höheren Kornerträgen (+ 25%) in den nicht gedüngten Parzellen wider. Grund für das gesteigerte Wachstum und damit den Mehrertrag ist vermutlich die höhere Nährstoffversorgung (v. a. mit Stickstoff) in den entsprechenden Varianten. Im Gegensatz hierzu wurden durch eine hohe Düngung (140 kg N ha^{-1}) möglicherweise bereits optimale Wachstumsbedingungen hervorgerufen, die potentielle Wachstumseffekte der mikrobiellen Konsortien maskiert haben. Derzeit wird der Einfluss der Konsortien auf die Artenzusammensetzung des Wurzelmikrobioms metagenomanalytisch erfasst. Die aktuelle Ergebnislage deutet an, dass die gezielte Applikation von speziell selektierten Konsortien im ökologischen Landbau zur Ertragssteigerung bzw. -sicherung auch unter temperiertem Klima wirksam sein kann. Zur Verifizierung der Ergebnisse wird der Versuch im Jahr 2021 an zwei verschiedenen Standorten in Nordrhein-Westfalen erneut durchgeführt.

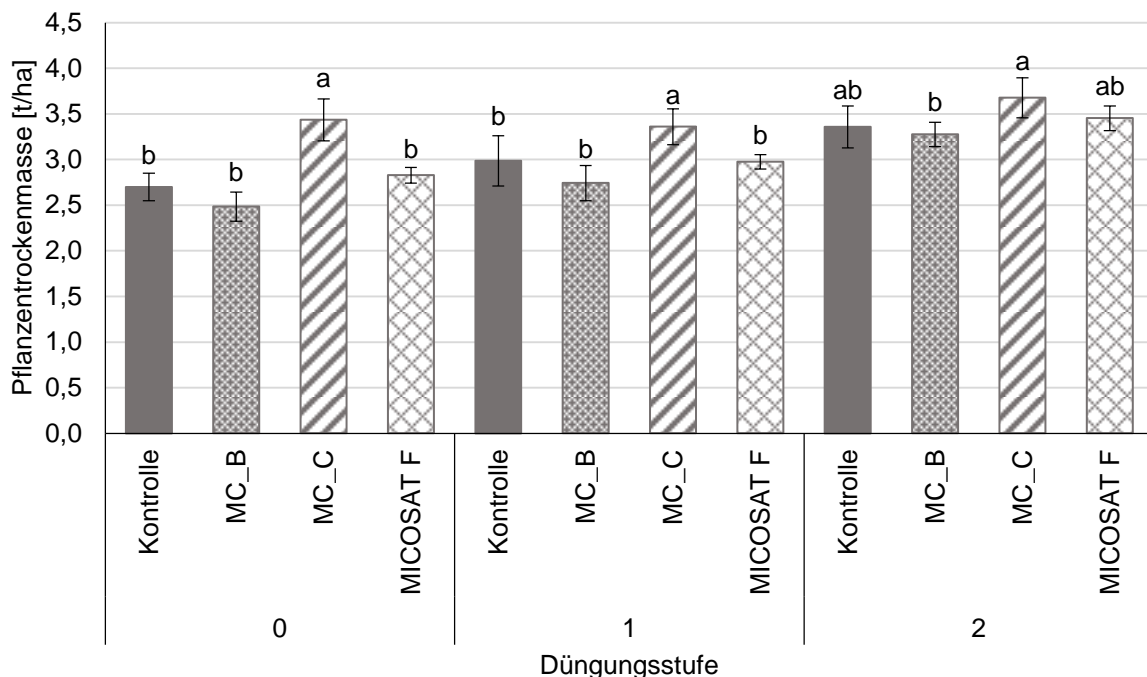


Abb. 1: Einfluss von organischer Düngung und Mikroorganismenapplikation auf den Biomasseertrag [t ha^{-1}] von Mais 70 Tage nach der Aussaat. Verschiedene Buchstaben: Signifikante Unterschiede in einer Düngungsstufe (ANOVA mit Tukey-Test, $p = 0.05$).

Literatur

Mayer, J. et al. How effective are 'Effective microorganisms® (EM)'? Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology* 2010, 46, 230–239.

Tabacchioni, S. et al. Identification of Beneficial Microbial Consortia and Bioactive Compounds with Potential as Plant Biostimulants for a Sustainable Agriculture. *Microorganisms* 2021, 9, 426.

Einfluss von Zwischenfrüchten und Transfermulch auf die Regenwurmpopulation im ökologischen Kartoffelbau

Deborah Henzel, Antonia Ley, Maria R. Finckh und Stephan M. Junge

Universität Kassel, Fachbereich Ökologischer Pflanzenschutz, Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen, Germany, E-Mail: dhenzel@uni-kassel.de

Einleitung

Regenwürmer können für die Aktivität der Makroorganismen und als Indikator für die Bodenfruchtbarkeit herangezogen werden. Im Kartoffelbau werden sie jedoch durch häufige und intensive Bodenbearbeitung stark verringert. Durch reduzierte Bodenbearbeitung und die Auflage von Transfermulch sollen Regenwürmer gefördert werden.

Material und Methoden

In einem Langzeitversuch unter Ökolandbaubedingungen der Universität Kassel, welcher seit 2016 pfluglos bewirtschaftet wird, wurde der Einfluss von Zwischenfrüchten vor und Transfermulch zu Kartoffeln auf die Anzahl und Arten von Regenwürmern untersucht. Die Versuchsfläche befindet sich in Neu-Eichenberg (51°22'N 9°54'E) auf einer Höhe von 223 m über NN. Der Bodentyp ist eine schwer vergleyte Parabraunerde aus Löß mit 75 Bodenpunkten. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 650 mm und die Jahresdurchschnittstemperatur 9,8°C. Nach Winterweizen im Jahr 2019 wurde Wicktriticale im Vergleich zu Beikrautbrache als Kontrolle (=Brache) vor der Kartoffel im Jahr 2020 als Zwischenfrucht angebaut. Die Mulchvarianten wurden mit 50 t/ha Klee gras (C:N=21) gemulcht. Die ungemulchten Varianten wurden dreimal gehäufelt und zweimal gestriegelt, während bei den gemulchten der jeweils letzte Pflegegang entfiel. Die Erfassung der Regenwurmpopulation erfolgte im Frühjahr 2019 in der Vorfrucht Winterweizen sowie im Herbst 2020 per Handauslese nach Kartoffeln. Beprobte Parzellen mit und ohne Mulch nach Zwischenfrucht Wicktriticale bzw. Beikrautbrache. Der Diversitätsindex H_s wurde nach Shannon berechnet (Köhler, 2012).

Ergebnisse und Diskussion

Zur Initialbeprobung im trockenen, warmen Frühjahr 2019 unter Winterweizen wurde eine mittlere Regenwurmabundanz von 46 Würmern/m² festgestellt. Im Herbst 2020 nach Kartoffeln war die Anzahl der Regenwürmer in allen Varianten stark angestiegen. Dies kann durch feuchtere Bodenbedingungen im Herbst als saisonaler Effekt erklärt werden. So verdoppelte sich nach der Brache ohne Mulch die Regenwurmabundanz auf 94 Würmer/m² (+102%) und stieg mit zusätzlicher Verwendung von Transfermulch auf 169 Würmer/m² (+263%) an. Die Zwischenfrucht Wicktriticale führte ohne Mulch zu einer Erhöhung der Regenwurmabundanz auf 137 (+195%). Zusammen mit Mulch wurde die höchste Anzahl mit 181 Würmern/m² (+290%) erreicht. Die Steigerung der Regenwurmabundanz sowohl durch die Zwischenfrucht Wicktriticale als auch durch den Transfermulch Klee gras lässt sich durch die Zuführung von organischer Substanz unter pflugloser Bodenbearbeitung (Bertrand et al., 2015) erklären. Aufgrund der heterogenen Verteilung im Feld werden hohe Streuungen hervorgerufen, welche die nicht signifikanten (LME, $F=3,74$, $p=0,07$) Unterschiede zwischen Frühjahr 2019 und Herbst 2020 bedingen.

Zusätzlich zur Gesamtabundanz wurde der Shannon-Diversitätsindex berechnet. Wie in Tabelle 1 zu sehen ist, war die Diversität H_s im Frühjahr 2019 am höchsten ($H_s = 1,34$). Die Varianten ohne Mulch hatten den niedrigsten Diversitätsindex. Vor allem endogäische Regenwurmarten wie *A. caliginosa* (Sav.) und *A. rosea* (Sav.) profitierten von einem höheren Angebot an organischer Substanz wie in den Varianten mit Wicktriticale-Zwischenfrucht und Transfermulch (Paoletti 1999). Die Diversität dieser Variante war trotz hoher Individuensumme /m² und höchster mittlerer Abundanz/m² geringer ($H_s = 0,89$). Der hohe Anteil an Juvenilen im Frühjahr 2019 könnte auf die warmen und trockenen Bedingungen Ende April zurückzuführen sein, da sich adulte Würmer in tiefere Bodenschichten zurückziehen.

Tab. 1: Mittlere Abundanz/m² (Adulte und Juvenile), Shannon-Diversitätsindex H_s und Populationszusammensetzung jeweils in Abhängigkeit der Behandlung. Graue Zahlen in Klammern stellen die Standardabweichungen dar. Die Summe der Individuen/m² sowie die Anzahl der Arten werden für die Berechnung von H_s benötigt.

		April 2019	November 2020			
		Winterweizen	Brache ohne Mulch	Brache mit Mulch	Wicktriticale ohne Mulch	Wicktriticale mit Mulch
Mittlere Abundanz/m ²	(Adulte + Juvenile)	46 (12,8)	94 (81,7)	169 (83,6)	138 (182,4)	181 (120,4)
Σ Individuen/m ²	(Adulte)	138	100	175	125	300
Anzahl Arten		5	2	4	2	3
H_s (Diversitätsindex)		1,34	0,56	1,28	0,50	0,89
Populationszusammensetzung	Juvenile	82 %	73 %	74 %	77 %	59 %
	<i>A. caliginosa</i>	9 %	20 %	11 %	18 %	24 %
	<i>A. rosea</i>	5 %	7 %	7 %	5 %	14 %
	<i>L. castaneus</i>	-	-	-	-	3 %
	<i>L. terrestris</i>	1 %	-	4 %	-	-
	<i>O. cyaneum</i>	1 %	-	4 %	-	-
	<i>A. chlorotica</i>	2 %	-	-	-	-

Der Anbau einer Zwischenfrucht aus Gräsern und Leguminosen, die Anwendung von Transfermulch sowie dadurch bedingt eine weniger intensive Bestandespflege führten bei der Hackfrucht Kartoffel zu höheren Regenwurmzahlen als im Winterweizen. Gleichwohl war der Diversitätsindex nach der Kartoffel geringer. Ob sich diese Ergebnisse bestätigen, wird die Wiederholung des Versuches in der folgenden Saison zeigen.

Literatur

- Paoletti, M.G. (1999): The role of earthworms for assessment of sustainability as bioindicators. In *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 137-155.
- Bertrand, M., Barot, S., Blouin, M., Whalen, J., de Oliveira, T., Roger-Estrade, J., 2015: Earthworm services for cropping systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 553–567. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0269-7>
- Köhler, W., Schachtel, G., Voleske, P. (2012): *Biostatistik: Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler*. 5. Auflage. Springer, Berlin.

Das Vorhaben wurde im Rahmen des Projektes **VORAN** (FKZ 2818OE016) durch Mittel des Bundesministeriums für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) über das Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) gefördert

Die Pflanze als Indikator - Vergleich des Einflusses verschiedener organischer Dünger in der ökologischen Landwirtschaft auf Mais mittels Feldspektroskopie

Martin Strenner, Lucie Chmelíková und Kurt-Jürgen Hülsbergen

TU München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-Str. 2, 85350 Freising. E-Mail: martin.strenner@tum.de

Einleitung

Der Maisanbau in der Bundesrepublik hat in den letzten Jahren aufgrund der hohen Erträge an Masse und Energie stark an Bedeutung gewonnen. Im Jahr 2020 wurde auf insgesamt etwa 44,8% der deutschen Ackerflächen Mais angebaut, wobei der Silomaisanteil mit 37,9% deutlich überwiegt (Statistisches Bundesamt, 2021). Auch in der ökologischen Landwirtschaft gewinnt der Maisanbau in den letzten Jahren stark an Bedeutung, was den Fokus auf die Nährstoffversorgung legt.

Im Rahmen des ProBio Projektes (www.projekt-probio.de) wurde im Jahr 2017 ein Dauerversuch zur Kompostwirkung angelegt. Das Ziel dieses Beitrags ist es, verschiedene organische Düngervarianten im Ökolandbau zu vergleichen und ihren Einfluss auf die N-Aufnahme der Pflanzenbestände von Maispflanzen mit Hilfe von Sensormessungen zu untersuchen.

Material und Methoden

In diesem Dauerversuch auf der Versuchsstation Viehhausen der TUM, wurden zu Versuchsbeginn für drei Jahre und unter Beachtung der aktuellen Fassung der Düngeverordnung, acht unterschiedliche organische Dünger (Biogasgärrest, reifer Stallmist, frischer und reifer Biogutkompost, frischer und reifer Grüngutkompost und mikrobiell karbonisierter Kompost) mit insgesamt drei unterschiedlichen Düngemengen, 0, 180 (50% Düngermenge) und 360 kg N/ha (100% Düngermenge) ausgebracht (Tabelle 1).

Tab. 1: Düngemittel, Trockenmasse (TM), N-Gehalt und gedüngte Menge

Düngemittel	TM-Gehalt (%)	N-Gehalt (%)	Gedüngte Menge (kg N / 3 Jahre)
Nulldüngung (Kontrolle)	27,2	0	0
Gärrest	22,7	1,47	180
Stallmist (reif)	68,9	2,57	180
Biogutkompost (frisch)	61,7	1,39	180 (50%) und 360 (100%)
Biogutkompost (reif)	61,7	1,90	180 (50%) und 360 (100%)
Grüngutkompost (frisch)	65,8	1,36	180 (50%) und 360 (100%)
Grüngutkompost (reif)	57,9	1,28	180 (50%) und 360 (100%)
Mikrobiell carbonisierter Kompost	28,2	2,06	180 (50%) und 360 (100%)

Jeder Versuch bestand aus vier Wiederholungen. Zeitgleich zu den Sensormessungen wurden während der Vegetationsperiode zu drei Terminen Biomasseproben entnommen und im Labor auf deren Stickstoffgehalt untersucht. Im Jahr 2020 wurde zur Erfassung des Bestandes der Maispflanzen, mittels eines handgetragenen Feldspektrometers und unter Benutzung des Vegetationsindex REIP, zu drei verschiedenen Entwicklungsstadien (BBCH 13, 14 und 18) Reflexionsmessungen der Pflanzen vorgenommen.

Ergebnisse und Diskussion

Im Versuchsjahr 2020 bestand in den Monaten April und Mai eine lange Trockenheitsphase mit verzögerter Pflanzenentwicklung, was sich auch in diesen Ergebnissen zeigte (Abbildung 1). Die REIP-Werte zeigten, dass die langjährig ungedüngte Kontrollvariante zu BBCH 13 die niedrigsten Biomassezuwächse aufwies (Abbildung 2). Die Biomasseentwicklung, die N-Aufnahme und deshalb auch die REIP-Werte der Düngungsvarianten sind abhängig von verschiedenen Faktoren, wie Bodentemperatur und Bodenfeuchte, die die Mineralisierung und den Gehalt an pflanzenverfügbarem N beeinflussen.

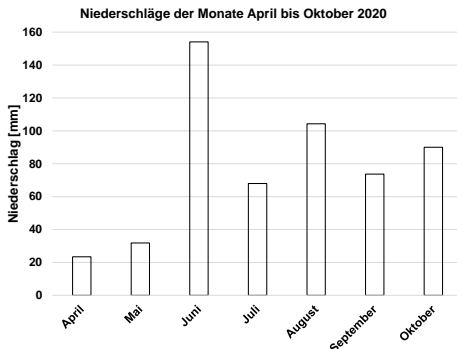


Abb. 1: Niederschläge Versuchsstation 2020

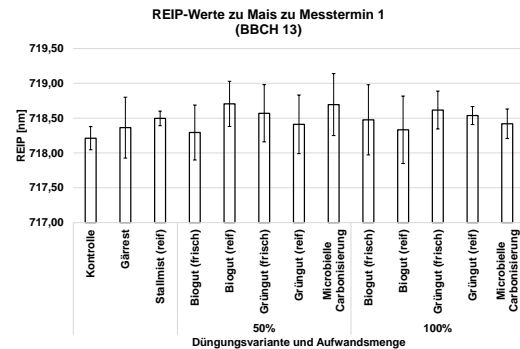


Abb. 2: REIP-Werte zu BBCH 13

Zum zweiten Messtermin wurden deutlichere Unterschiede sichtbar. Es zeigt sich ein leichter Effekt der vollen Aufwandsmenge an Biogut- und Grüngutkompost (Abbildung 3). Der Grüngutkompost wies dabei die gleichen hohen REIP-Werte auf wie die Düngung mit Gärrest. Zum dritten Messtermin (Abbildung 4) konnten nur leichte Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten mit der halben und vollen Aufwandsmenge erkannt werden. Die Düngungsvariante des mikrobiell carbonisierten Komposts war dabei gleichauf mit der des reifen Stallmists. In den Düngungsvarianten mit frischem Kompost fand aufgrund der höheren Bodentemperaturen zum späteren Zeitpunkt der Bestandesentwicklung eine Umwandlung des organisch gebundenen N statt, der nun besser pflanzenverfügbar war.

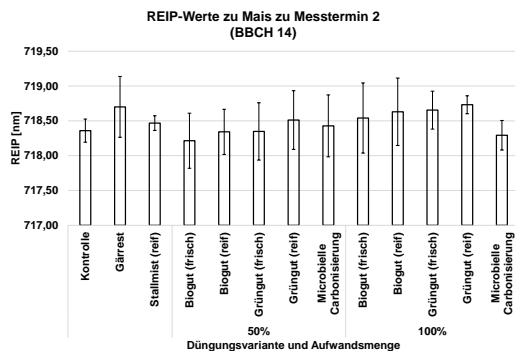


Abb. 3: REIP-Werte zu BBCH 14

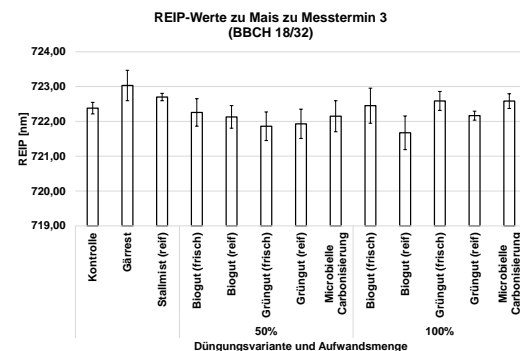


Abb. 4: REIP-Werte zu BBCH 18/32

Der Feldversuch zeigt, dass die Sensormessungen sensitiv auf die unterschiedlichen Düngervarianten und Düngermengen reagierten und die Art des Komposts einen deutlichen Einfluss auf die Umwandlungsprozesse im Boden aufwies.

Untersuchungen zur Kompostwirkung im Ökolandbau (Projekt ProBio)

Lucie Chmelikova , Martin Strenner, Johann Ludwig und Kurt-Jürgen Hülsbergen

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme/Technische Universität München,
Freising. E-Mail: lucie.chmelikova@mytum.de

Einleitung

Im Rahmen des Projektes „Untersuchungen zur optimalen Produktion und pflanzenbaulichen Verwertung von Biogut- und Grüngutkompost im ökologischen Landbau“ (ProBio) werden wissenschaftliche und verfahrenstechnische Grundlagen geschaffen, um gütegesicherte Qualitätskomposte (Biogut- und Grüngutkomposte) verstärkt im Ökolandbau einsetzen und eine nachhaltige Wirtschaftsweise unterstützen zu können. Im ökologischen Landbau wird eine möglichst weit geschlossene Kreislaufwirtschaft angestrebt. Daher steigt das Interesse am Ausbau der Nährstoffrückführung durch Komposteinsatz. Kompost hat nicht nur im Hinblick auf die Nährstoffversorgung, sondern auch hinsichtlich der Humusversorgung einen hohen Wert für die ökologische Landwirtschaft. Das Einsatzpotenzial von Biogut- und Grüngutkompost wird derzeit nur unzureichend ausgeschöpft, obwohl ein hoher Bedarf an Makro- und Mikronährstoffen besteht. Die pflanzenbaulichen Wirkungen sowie die Umwelteffekte der unterschiedlichen Komposte werden in 4 Versuchen auf verschiedenen Standorten in Bayern unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus untersucht. Das Ziel dieses Beitrages ist es, die Auswirkungen der unterschiedlichen Komposte im ersten Jahr nach der Versuchsanlage zu bewerten.

Material und Methoden

Im Schloss Gut Obbach in Unterfranken (350 m ü NN, 510 mm Niederschlagssumme, 9,0° C Durchschnitttemperatur) wurde der Praxisversuch im Januar 2020 angelegt. In dem Versuch wurden neben dem betriebseigenen Kompost Biogut- und Grüngutkomposte aus dem Kompostwerk Humuswerk Main-Spessart ausgebracht. Der Versuch besteht aus 7 Streifen. Ein Streifen ist eine ungedüngte Kontrollvariante. Dazu gibt es drei Kompostvarianten – betriebseigener Kompost, Grüngutkompost und Biogutkompost (Tab. 1). Da im Schloss Gut Obbach Sonnenblumen geschält werden, besteht der betriebseigene Kompost aus den Sonnenblumenkernschalen. Die drei Kompostvarianten sind immer in zwei Aufwandmengen vorhanden – die volle Düngung und die halbe Aufwandsmenge. In jedem Streifen gibt es 4 Messparzellen á 10 x 6 m.

Tab. 1 Analysen der Komposte im Streifenversuch

		Biogutkompost	Grüngutkompost	Betriebseig. Kompost
TS	(%FM)	72,4	69,5	58,7
N _{gesamt}	(%TM)	1,57	1,18	1,82
C/N-Verhältnis		15	14	29
NH ₄ -N	(mg/l FM)	409	106	64
P ₂ O ₅	(%FM)	0,77	0,43	0,64
K ₂ O	(%FM)	0,98	0,61	1,15

Im Jahr 2020 wurden Linsen angebaut. Es wurden Erträge und Knöllchen auf den Wurzeln der Linsen bewertet, wozu die Knöllchenzahl und –größe erfasst wurde.

Ergebnisse und Diskussion

Die höchsten Erträge fanden sich in der Variante mit dem betriebseigenen Kompost und in der Kontrolle. Der niedrigste zeigte sich in der Variante mit der vollen Düngung mit Biogutkompost (Tab. 2). Die gleiche Reihenfolge gab es auch beim Strohertrag.

Die Ergebnisse entsprechen der Tatsache, dass es im Versuch eine Leguminose gab, die eher nährstoffarme Standorte bevorzugt. Gleichzeitig wird in der Praxis empfohlen, bei Linsen am besten organische Düngung einzusetzen, die ein weites C/N Verhältnis hat, was auch den Ergebnissen entspricht.

Diese Ertragsergebnisse wurden durch die Untersuchung der Knöllchen auf den Wurzeln der Linsen ergänzt. Die höchste Knöllchenanzahl wurde in den Varianten mit Grüngutkompost (50%, 100%) und betriebseigenem Kompost (100%) gefunden. Diese Ergebnisse sind im Einklang mit Ergebnissen mehrerer Studien (Chmelikova et Hejcman 2012, 2014), die gezeigt haben, dass je weniger pflanzenverfügbarer Stickstoff im Boden ist, desto mehr und größere Knöllchen durch Leguminosen gebildet werden.

Diese Ergebnisse werden mit den weiteren Ergebnissen der drei anderen Versuche ausgewertet. Anhand davon werden dann Schlussfolgerungen zu den Auswirkungen der unterschiedlichen Komposte (Biogut- und Grüngutkompost, betriebseig. Komposte) auf die N-Dynamik, Erträge und Bodenleben in den nächsten Jahren abgeleitet.

Tab. 2 Mittelwerte der Linsenerträge im Praxisversuch im Jahr 2020

dt /ha	50%			Kontrolle	100%		
	Betrieb	Biogut	Grüngut		Betrieb	Biogut	Grüngut
Kornertrag	17,08	16,04	17,11	22,73	25,21	13,84	18,77
Strohertrag	17,27	17,91	18,75	23,59	27,30	14,75	18,37

Literatur

Chmelikova L., Hejcman M., 2014. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium availability on emergence, nodulation and growth of *Trifolium medium* L. in alkaline soil. *Plant Biology* 16, 717–725. doi: 10.1111/plb.12109.

Chmelikova L., Hejcman M., 2012. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium availability on emergence, nodulation and growth of acidicole *Trifolium arvense* L. in alkaline soil. *Flora* 207, 805–811. doi: 10.1016/j.flora.2012.09.005.

Düngungs-Dauerfeldversuche in Deutschland und Europa

Meike Grosse¹, Cenk Dönmez² und Wilfried Hierold²

¹Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Ackerstrasse 113, Postfach 219
5070 Frick, Schweiz

²Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Eberswalderstr. 84, 15374 Müncheberg
E-Mail: cenk.doenmez@zalf.de

Einleitung

Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche (DFV) sind eine wichtige Forschungsinfrastruktur für die Agrar-, Pflanzen- und Bodenwissenschaften. Die meisten DFV in Deutschland und Europa, hier definiert als pflanzenbauliche Versuche mit einer Mindestlaufzeit von 20 Jahren, wurden ursprünglich zur Beantwortung von Fragen der Pflanzenernährung eingerichtet. Während früher optimales Pflanzenwachstum und Ertragsbildung im Mittelpunkt der Forschung standen, wurden in jüngerer Zeit vermehrt die Auswirkungen der Düngemittel auf Boden und Umwelt untersucht.

In diesem Konferenzbeitrag soll ein Überblick zu bestehenden und abgeschlossenen Düngungs-DFV in Deutschland und Europa sowie zu den häufigsten dort zu findenden Versuchsfaktoren gegeben werden.

Material und Methoden

Es wurden umfangreiche Literaturrecherchen durchgeführt, um DFV in Deutschland und in Europa zu identifizieren. Quellen waren wissenschaftliche Artikel sowie Praxisartikel, Bücher, Feldversuchsführer und Websites. Die Informationen über DFV in Deutschland wurden durch eine Steckbriefabfrage von DFV-Betreibern ergänzt.

Ergebnisse und Diskussion

Von den über 200 DFV in Deutschland haben 158 DFV mindestens einen Faktor Düngung. In Europa (ohne Deutschland) sind 126 DFV von 186 DFV als Düngungsversuche bekannt. DFV mit anderen Forschungsthemen, wie z.B. Fruchtfolgewirkung oder Bodenbearbeitung, sind sowohl in Deutschland als auch in Europa weniger häufig vertreten und meist jünger. Dieses Ergebnis stimmt mit einer Studie im internationalen Kontext von Berti et al. (2016) überein.

Die Düngungs-DFV lassen sich in Ackerbauversuche (Deutschland n = 124; Europa n = 109) und Grünlandversuche (Deutschland n = 34; Europa n = 11) unterteilen. Im Fokus der Experimente stehen entweder verschiedene Arten von Düngemitteln oder unterschiedliche Mengen an Düngemitteln oder Vergleiche mit und ohne Düngung oder Kombinationen davon (Tabelle 1).

Tab. 1: Übersicht über die häufigsten in Düngungs-Dauerfeldversuchen vorkommenden Forschungsthemen (Mehrfachnennung möglich; sortiert nach Häufigkeit)

Deutschland		Europa (ohne Deutschland)	
Ackerbau			
Mistdüngung	58	P-Düngung	26
Mineralische N-Düngung	55	Organische vs. mineralische Düngung	26
Strohdüngung	24	Kalkung	13
K-Düngung	15	Mineralische N-Düngung	12
P-Düngung	14	NPK	12
Kalkung	10	Gründüngung	5
Gründüngung	8	Strohdüngung	5
Mineraldüngung (nicht spezifiziert)	6	K-Düngung	4
Mg-Düngung	4	Klee gras	4
Kompost	3	Klärschlamm	4
Klärschlamm	2	Spurenelemente	3
Grünland			
Mineralische P-Düngung	11	Gülle	3
Mineralische K-Düngung	10	Kalkung	1
Mineralische N-Düngung	6	Klärschlamm	1
Kalkung	4	Organische vs. mineralische Düngung	1
Mistdüngung	2		
Klärschlamm	2		

Als Forschungslücken können folgende Themen identifiziert werden: Vergleiche von Mist verschiedener Tierarten, Recyclingdünger, Biogasgülle, Zeitpunkt der Düngung und Beweidungsversuche.

DFV in Deutschland können über die im BonaRes- Datenzentrum erarbeitete Übersicht (<https://dfv-karte.bonares.de>) recherchiert werden. Der Datensatz, auf dem die Karte basiert, ist ebenfalls veröffentlicht und erlaubt eine einfache Recherche (Grosse et al. 2019). Eine Übersichtskarte zu DFV in Europa ist im Entstehen. Die Datengrundlage ist bereits jetzt frei verfügbar (Grosse et al. 2021).

Neben der bundesweiten und der europäischen Übersicht über DFV hat das BonaRes Repository als frei zugängliche Sammlung von Forschungsdaten große Bedeutung. Dort befinden sich inzwischen oder in Kürze die Daten von neun DFV, wovon sieben DFV Düngewirkungen inklusive organischer Düngung untersuchen. Es ist ausdrücklich gewollt, dass diese frei verfügbaren Daten zu verstärkten Kooperationen führen, auch versuchsfremde Personen Auswertungen initiieren und neue Fragestellungen definieren.

Literatur

- Berti, A., Marta, A. D., Mazzoncini, M., & Tei, F. (2016). An overview on long-term agro-ecosystem experiments: Present situation and future potential. *European Journal of Agronomy*, 77, 236-241. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.01.004>
- Grosse, M., Ahlborn, M. C., & Hierold, W. (2021). Agricultural long-term experiments in Europe outside Germany. Data set, BonaRes Repository. <https://doi.org/10.20387/bonares-eff3-0mb4>
- Grosse, M. & Hierold, W. (2019): Long-term Field Experiments in Germany, Data set, BonaRes Repository, <https://doi.org/10.20387/BonaRes-3tr6-mg8r>

Einfluss einer reduzierten organischen Stickstoffdüngung auf Qualitätseigenschaften der Kartoffel für den ökologischen Landbau

Johanna Blossel¹, Ralf Uptmoor² und Thilo Hammann¹

¹Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, Groß Lüsewitz, ²Universität Rostock – Professur für Pflanzenbau, Rostock. E-Mail: johanna.blossei@julius-kuehn.de

Einleitung

Der Einsatz von Düngemitteln sollte aufgrund der neuen Düngeverordnung von 2020 gerade im Hinblick auf zu hohe Nitrateinträge in Gewässern auch im ökologischen Landbau stark reduziert werden. Für den konventionellen Kartoffelanbau wird eine Stickstoffdüngung von 120–160 kg N/ha empfohlen (Hüwing 2012). Ziel dieser Arbeit war es, für den ökologischen Landbau zu untersuchen, ob die Qualitätseigenschaften von Kartoffeln bei einer reduzierten organischen Stickstoffdüngung erhalten bleiben oder gar verbessert werden.

Material und Methoden

Der Versuch wurde in Groß Lüsewitz (lehmgiger Sandboden mit 47 Bodenpunkten), östlich von Rostock im Jahr 2020 erstmalig als Blockanlage mit drei Dünge­stufen (50, 100, 200 kg N/ha) und drei Wiederholungen angelegt. Als Dünger wurde 'Diaglutin N pellet' (Biofa, Münsingen) verwendet, der überwiegend aus erhitztem Feder­mehl besteht. Insgesamt wurden vier Sorten ('Adretta', 'Jelly', 'Krone', 'Otolia') sowie 20 Zuchtstämme, die in einem Vorgängerprojekt zusammen mit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft entwickelt wurden, geprüft. Die Qualitätseigenschaften Ertrag, Stärkegehalt, Keimruhe, Koch- und Rohverfärbung sowie Speisewert wurden untersucht und mittels eines gemischten linearen Modells der Einfluss der Dünge­stufen ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Mit zunehmender N-Düngung stieg der Ertrag signifikant an, während der Stärkegehalt zurückging. In niedrigerer Dünge­stufe blieben die Knollen keimruhiger. Die Rohverfärbung sowie die Speisequalität zeigten jeweils in der niedrigsten Dünge­stufe die günstigste Ausprägung. Die Kochverfärbung wurde von der N-Dünge­stufe nicht signifikant beeinflusst (Abb. 1).

Die Ergebnisse decken sich mit jenen von Dünge­versuchen unter konventioneller Bewirtschaftung, bei denen mit zunehmender N-Dünge­stufe ebenfalls steigende Knollenerträge bei sinkenden Stärkegehalten (z. B. Maltas et al. 2018) und abnehmender Speisequalität (Ruža et al. 2013) festgestellt wurden.

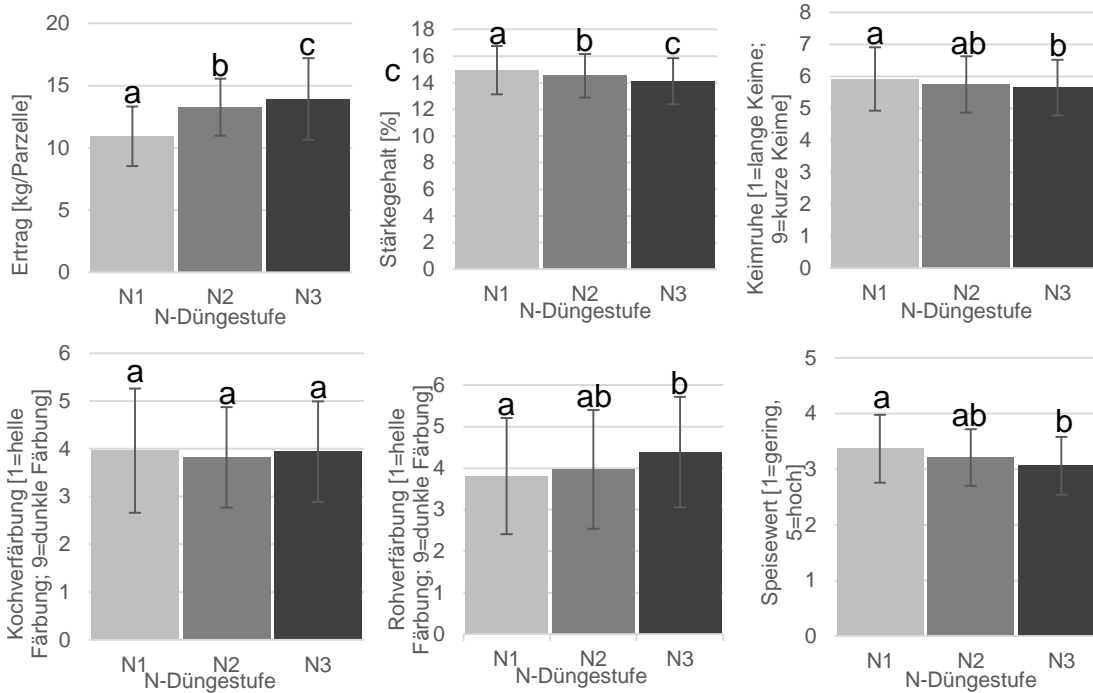


Abb. 1: Mittlerer Ertrag, Stärkegehalt, Keimruhe, Kochverfärbung, Rohverfärbung und Speisewert aller 24 Prüfglieder der drei N-Düngestufen aus dem Jahr 2020. Die verschiedenen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) zwischen den N-Düngestufen.

Eine reduzierte organische N-Düngung bringt somit neben den ökologischen Vorteilen auch Verbesserungen in den Qualitätseigenschaften der Kartoffel, die mit dem Nachteil eines reduzierten Ertrags abgewogen werden sollten.

Literatur

Hüwing H (2012) Düngung sichert Ertrag und Qualität. *Pflanzenbau* 12, 36-38.

Maltas A, Dupuis B, Sinaj S (2018) Yield and quality response of two potato cultivars to nitrogen fertilization. *Potato Research*, 61(2), 97-114.

Ruza A, Skrabule I, Vaivode A (2013) Influence of nitrogen on potato productivity and nutrient use efficiency. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences* 67(3), 247-253.

Wirkung von Kompost auf die C- und N-Speicherung im Boden sowie die Kornerträge von Mais, Weizen und Gerste – Ergebnisse aus dem Dauerfeldversuch IOSDV Rauischholzhausen

Mona Nehl, Beate Stumpf, Feng Yan und Bernd Honermeier

Professur für Pflanzenbau und Ertragsphysiologie, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Gießen, E-Mail: mona.j.nehl@agrar.uni-giessen.de

Einleitung

Die Möglichkeiten der organischen Düngung haben sich in den vergangenen Jahren deutlich erweitert. Neben Stalldung, Stroh und Gülle stellen auch Gärreste aus Biogas-Anlagen sowie zertifizierte Komposte wertvolle Düngemittel für die Nährstoffversorgung bzw. Humusproduktion von Ackerböden dar.

Um die langfristige Wirkung von organischen Düngemitteln auf den Boden zu untersuchen, sind Dauerfeldversuche geeignet, in denen Varianten mit und ohne organische Düngung über einen längeren Zeitraum beobachtet werden können. Das Ziel der durchgeführten Untersuchung bestand deshalb darin, die Wirkung einer langjährigen Kompostdüngung auf die C- und N-Gehalte im Boden sowie auf die Kulturpflanzen-Erträge auf der Basis eines laufenden Dauerfeldversuchs (DFV) zu klären.

Material und Methode

Der DFV „IOSDV“ (Internationaler Organischer Stickstoff-Dauerdüngungs-Versuch) wurde im Jahr 1984 in Rauischholzhausen (241 m ü. NN, langjähriges Mittel NS: 610 mm, LT: 8,5 °C) angelegt und im Jahr 1997 durch eine Kompost-Variante (ohne/mit) erweitert. Der Boden des Versuchsstandortes ist eine erodierte Norm-Parabraunerde aus Löß (L₂Lö 83/80, 16 – 18 % Ton im Oberboden, Ct 1,3-1,5 %, pH 7,7). Der Versuch wurde mit den drei Prüffaktoren A „Kulturpflanze“ (a₁: Mais, a₂: Winterweizen, a₃: Wintergerste, alle Kulturpflanzen parallel in jedem Jahr), B „N-Düngung“ (b₀: Kontrolle, b₁: 50, b₂: 100, b₃: 150, b₄: 200 kg N/ha, bei Wintergerste: 0, 45, 90, 135, 180 kg N/ha) und C „Kompost-Düngung“ (c₁: Kontrolle, c₂: mit Kompost) angelegt. Der mittelkörnige Kompost (aus Haushalts- und Bioabfällen, 55,8 % TM, 10,9 kg N/t, 5,58 kg P₂O₅/t, 9,51 kg K₂O/t, pH 8,9) wird in jedem dritten Jahr (vor Mais) mit 30 t/ha ausgebracht. Der Versuch wurde als teilrandomisierte Blockanlage angelegt und beinhaltet 30 Prüfglieder und 90 Parzellen.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Ernteerträge des Jahres 2020 sowie auf Untersuchungen von Bodenproben, die am 31. 10. 2019 aus 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm Tiefe entnommen wurden. Die Ct- und Nt-Bestimmung des Bodens erfolgte nach entsprechender Vorbereitung (2 mm Siebung, 35 bzw. 75 mg Einwaage je Probe) durch oxidative Verbrennung bei 1.150 °C mit dem Elementar-Analysator UNICUBE (Elementar Analysensysteme Langenselbold GmbH). Neben Ct und Nt wurden im Boden auch N_{min}, K_{CAL} und P_{CAL} bestimmt.

Die Daten wurden mit Levene-Test (Varianzhomogenität), Shapiro-Wilk-Test (Normalverteilung) und IBM SPSS Statistics 25 (dreifaktorielle Varianzanalyse) ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Bis zum Jahr 2019, dem Zeitpunkt der durchgeführten Bodenuntersuchung, wurde der Kompost insgesamt sieben Mal, jeweils nach der Wintergerste, in den drei parallel ablaufenden Fruchtfolgen appliziert. Das entspricht einer Zufuhr an Kompost von insgesamt 210 t FM/ha bzw. 117 t TM/ha innerhalb eines Zeitraums von 22 Jahren.

In den Bodenproben nach Mais lagen die Ct-Gehalte in 0 – 30 cm bei 0,91 % (ohne Kompost) bzw. bei 1,48 % (mit Kompost), worin eine sehr deutliche Erhöhung des C-Gehaltes des Bodens zum Ausdruck kommt. Diese C-Zunahme wird zum Teil auf die direkte Kompost-Düngung zurückgeführt, die ein Jahr zuvor (vor Mais) erfolgte. Deutlich geringer waren die Unterschiede, die in den Bodenproben nach Wintergerste (ohne Kompost: 1,21 %, mit Kompost: 1,49 % Ct, 3 Jahre nach der Kompostdüngung), gefunden wurden. Nach Winterweizen (2 Jahre nach der Kompostdüngung) waren dagegen keine gesicherten Unterschiede der Ct-Gehalte des Bodens zwischen den beiden Varianten vorhanden.

Auch der Gesamt-Stickstoff-Gehalt (Nt) des Bodens wurde infolge der Kompostdüngung nachhaltig erhöht. Auch hier waren die Unterschiede (ohne vs. mit Kompost) zwischen den Nt-Gehalten in 0 – 30 cm nach Mais deutlich größer als nach Wintergerste bzw. nach Winterweizen. Dieser Befund spricht für eine direkte Nachwirkung der Kompost-Düngung.

Infolge der Zufuhr von organisch gebundenem N nahmen auch die Mengen an mineralischem N (NO_3^- -N) des Bodens in den Kompost-Varianten deutlich zu. Das war insbesondere nach Mais der Fall, wo die NO_3^- -N-Gehalte in der Kompost-Variante im Vergleich zur Kontrolle von 20 auf 91 kg N/ha auf mehr als das Vierfache anstiegen. Auch nach Winterweizen (2 Jahre nach der Kompost-Düngung) und Wintergerste (3 Jahre nach der Kompost-Düngung) waren die NO_3^- -N-Werte nach der Ernte erhöht. Diese Beobachtung lässt darauf schließen, dass in den Kompost-Varianten eine stärkere Mineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs erfolgt, die zu höheren NO_3^- -N-Mengen im Boden führte.

Im Versuchsjahr 2020 bewirkte Kompost signifikante Ertragssteigerungen bei allen drei Kulturpflanzen, die jedoch bei Winterweizen (+ 35 %) und Wintergerste (+ 40 %) deutlich höher waren als beim Mais (+ 9 %). Auch die agronomische NUE veränderte sich infolge der Kompostdüngung deutlich. Am Beispiel des Weizens nahm die NUE bei 50 kg N/ha infolge der Kompostdüngung von 66 auf 52 kg Korn/kg N und bei 200 kg N/ha von 53 auf 26 kg Korn/kg N ab.

Insgesamt wird festgestellt, dass im IOSDV nach sieben-maliger Kompost-Anwendung nachhaltige Effekte auf die Ct/Nt- und NO_3^- -N-Gehalte (nach der Folgefrucht) im Boden sowie auf die Erträge und NUE der Kulturpflanzen beobachtet wurden, die sich auch in anderen Studien gezeigt haben (Eghball et al. 2004). Überraschend waren jedoch die Schwankungen der Ct/Nt-Gehalte, die als direkte Nachwirkung des Kompostes (C/N-Input) interpretiert bzw. auf hohe C-Verluste (durch mikrobielle Respiration) beim Anbau von Mais, Weizen und Gerste zurückgeführt werden.

Literatur

Eghball, G., Ginting, B., Gilley, JE, 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties, *Agronomy Journal* 96: 442-447.

Die Stoffstrombilanz als Indikator für Handlungsspielraum beim Nährstoffmanagement auf Milchviehbetrieben in der Wesermarsch

Friederike Sieve¹, Frerich Wilken², Johannes Isselstein¹ und Manfred Kayser^{1,3}

¹Graslandwissenschaften, Universität Göttingen; ²Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Grünland und Futterbau; ³Geo-Labor, Universität Vechta; E-Mail: friederike.sieve@uni-goettingen.de

Einleitung

Die betriebliche Stoffstrombilanz ist ein gesetzlich verankertes Werkzeug (StoffBilV), um betriebliche Nährstoffströme zu quantifizieren und sie transparent abzubilden. Dabei werden Nährstoffflüsse von Stickstoff und Phosphor bilanziert, die einem Betrieb „durch das Hoftor“ zugeführt werden und diesen wieder verlassen. Innerbetriebliche Ströme werden dabei nicht bilanziert. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Waterbuddies“ werden 23 Milchviehbetriebe aus der niedersächsischen Wesermarsch hinsichtlich ihrer Nährstoffströme von Stickstoff und Phosphor sowohl auf Betriebs- als auch auf Feldebene untersucht. Ziel des Projektes ist die Identifizierung von Haupteinflussfaktoren auf diese Nährstoffflüsse und -überschüsse auf den Betrieben. Es sollen Stellschrauben für ein effizienteres Nährstoffmanagement für Stickstoff und Phosphor aufgezeigt werden.

Material und Methoden

Das Versuchsgebiet befindet sich in der Wesermarsch, nördliches Niedersachsen, und der Hauptbetriebszweig aller Betriebe ist die Milchviehwirtschaft. Die Betriebe wirtschaften auf drei verschiedenen Standorten mit Weidehaltung: auf der Geest, im Moor oder in der Marsch. Für die Betriebe wurde die Stoffstrombilanz nach StoffBilV (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2017) errechnet, wobei alle Stickstoff- und Phosphormengen bilanziert wurden, die auf den Betrieb eingeführt wurden (z.B. Futtermittel, mineralische und organische Düngemittel, Zukauf von Tieren) und die den Hof wieder verlassen haben (z.B. Wirtschaftsdünger, tierische und pflanzliche Erzeugnisse (v.a. Milch), Abgang von Tieren). Mit einjährigen Daten aus dem Jahr 2019 wurden jeweils 25% der Betriebe mit den geringsten Nährstoffsalden mittels t-Test ($\alpha = 0,05$) mit 25% der Betriebe mit den höchsten Salden verglichen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Gruppe mit den geringsten N Salden (96,41 kg/ha; SD = 23,75 kg/ha) unterscheidet sich ausschließlich in der Variablen des Futterzukaufs signifikant von der Gruppe mit den höchsten Salden (217,92 kg/ha; SD = 31,38; $p < 0,05$). Der Krafffutteraufwand pro erzeugtem Liter Milch weist eine Tendenz in Bezug auf das Nährstoff- und Futtermanagement der Betriebe auf, die allerdings nicht statistisch abzusichern ist ($p = 0,072$): Betriebe mit einem geringeren N Saldo haben eine höhere Grundfutterleistung und setzen dementsprechend weniger (309 g) Krafffutter zur Produktion eines Liters Milch ein als Betriebe mit einem hohen N Saldo nach StoffBilV (341 g). Neben dem betriebswirtschaftlichen Anreiz, möglichst viel Milch aus dem (eigenen) Grundfutter zu erzeugen, zeigt diese Auswertung, dass sich ein entsprech-

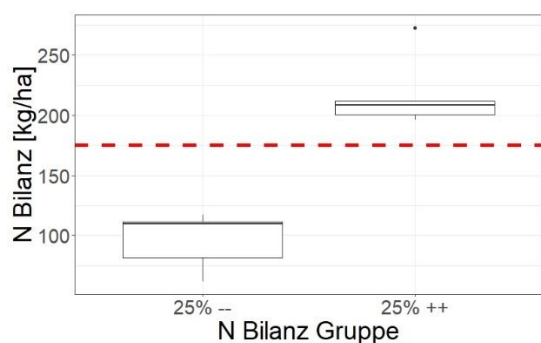


Abb. 1: Vergleich der N Salden [kg/ha] von 25% der Betriebe mit den geringsten Nährstoffsalden mit 25% der Betriebe mit den höchsten Salden. Die gestrichelte Linie zeigt den in Deutschland im Dreijahresmittel erlaubten Grenzwert von 175 kg N/ha nach StoffBilV.

end geringerer Kraftfuttereinsatz auch in Bezug auf die Nährstoffbilanzierung des Betriebes lohnen kann. Auch bei Akert et al. (2020) wurden höhere N Salden bei höherem Kraftfutтераufwand nachgewiesen. Unterschiede in der Ausnutzung des Stickstoffs bergen großes Potenzial für effizienteres Wirtschaften auf Milchviehbetrieben (Powell et al. 2010). Insgesamt weisen die Variablen innerhalb der beiden Gruppen eine starke Streuung auf, was eine mögliche Erklärung dafür sein kann, dass sich zunächst nur ein signifikanter Unterschied im Futterzukauf nachweisen lässt. Diese Streuung spiegelt die realen Betriebsstrukturen vor Ort mit hoher Heterogenität innerhalb der Betriebe wider.

In einem weiteren Schritt sollen die standörtlichen Gegebenheiten als Einflussfaktoren untersucht und Daten aus den folgenden Jahren hinzugenommen werden. Neben wetterbedingten Einflüssen wie z.B. der Trockenheit 2018, die einen großen Einfluss auf die Futtermittelvorräte und -wirtschaft in 2019 hat, gibt auch die StoffBilV die Betrachtung eines dreijährigen Mittels vor.

Literatur

- Akert, F. S., K. Dorn, H. Frey, P. Hofstetter, J. Berard, M. Kreuzer, und B. Reidy. 2020. 'Farm-Gate Nutrient Balances of Grassland-Based Milk Production Systems with Full- or Part-Time Grazing and Fresh Herbage Indoor Feeding at Variable Concentrate Levels'. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 117 (3): 383–400.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. 2017. 'Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung - StoffBilV)'
- Powell, J.M., C.J.P. Gourley, C.A. Rotz, and D.M. Weaver. 2010. 'Nitrogen Use Efficiency: A Potential Performance Indicator and Policy Tool for Dairy Farms'. *Environmental Science & Policy* 13 (3): 217–28.

Tab. 1: Mittelwerte der untersuchten Parameter für 25% der Betriebe mit den geringsten Nährstoffsalden und 25% der Betriebe mit den höchsten Salden und Vergleich beider Gruppen mittels t Test ($\alpha = 0.05$).

	t Test		
	25% --	25% ++	p-Wert
N Bilanz [kg/ha]	96,41	217,92	0,005**
Zukauf min. Dünger [kg/ha]	98,89	124,49	0,33 ns
Futterzukauf [kg/ha]	95,55	177,50	0,037 *
N Zufuhr gesamt [kg/ha]	220,72	324,56	0,16 ns
N Abfuhr gesamt [kg/ha]	124,31	106,64	0,57 ns
LN gesamt [ha]	99,24	192,84	0,20 ns
Grünlandanteil [%]	80,06	78,10	0,78 ns
Jahresmilchmenge (ECM) pro LN gesamt [Liter/ha]	10.480	10.761	0,77 ns
Kraftfutteraufwand / ECM [kg/Liter]	0,309	0,341	0,072 .
Grundfutterleistung [%]	33,22	26,62	0,15 ns

Integration of diverse data into a Farm-Nitrogen Management System (FNMS)

Fabian Weckesser¹, Kurt-Jürgen Hülsbergen² and Frank Leßke¹

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

Introduction

On most farms, necessary nutrient management data is becoming increasingly available in a digital format. This results in a positive innovation potential for “digital N management” applications. However, it is still difficult for farmers to analyze and optimize N flows across their farms (Oenema 2019). This is due to the problems with data integration, which result from the lack of interoperability of the systems and inconsistent data quality and availability. Thus, relevant data often remains unused during respective decision-making processes. In order to obtain an improved digital N management, the corresponding requirements of the stakeholders are analyzed, evaluated and systematized. As a result, a concept of a Farm-N Management System (FNMS) is presented, which allows for the analysis, assessment and optimization of N flows on farms.

Materials and Methods

The requirements for a FNMS and the consecutive concept development were derived (a) from workshops with stakeholders and expert surveys, (b) from long-term collaboration in projects related to data interoperability (Weckesser et al. 2020), (c) from assessments and evaluations from the literature, (d) by experience in developing N balance models (Küstermann et al. 2010) and (e) by long-term model usage (Hülsbergen et al. 2019).

Results and Discussion

The most important user group for the features of a FNMS are farmers and crop advisory services, especially concerning the fertilization management (Table 1).

Table 1: Stakeholders and their main functional requirements

Stakeholder role	Main requirements	Feature						
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Farmer - power user	Professional N management combining production branches, Interoperability, Analysis, Decision support	X	X	X	X	X	X	X
Farmer - minimalistic user	Compliance of statutory requirements	X	X			X		
Advisory Service	Expert knowledge management, Benchmarking	X	X	X	X	X		X
Authorities, Certifiers	Control compliance and ordinance	X	X					X
Science	Adaptability, Scientific data management		X		X			X
Farmers association	Services, e.g. eCommerce, cross-farm management		X					X

Feature list: F1 - Reporting (farm intern/extern), F2 - Data acquisition (private/public data), F3 - Crop management/ Operation plan generation, F4 - Data processing/M2M-Communication, F5 - Fertilization management, F6 - Inventory management, F7 - Quality/Value chain management

However, the group of farmers is not homogeneous. There are “minimalistic users”, who only want to meet the legal requirements, and “power users” having high demands on the

performance of such a system. Power users desire a holistic system approach integrating all production branches (crop, livestock biogas) with a high granularity, e.g. site-specific calculations of N balances. Therefore, it is crucial, that users can easily use basic functionality of a FNMS and then gradually expand their level of expertise to solve increasingly complex tasks. Concerning the development of the software, this demands a modular architecture using a shared database, in order to provide the possibility of individual customizations. Furthermore, the interoperability with other farm-intern data (e.g., machine process, operation record and input data) and extern data (e.g., InVeKoS, weather, soil, expert and domain knowledge data)

using interfaces is of great importance in order to connect data of divergent formats, structure and meaning. Further, the stakeholders require different analysis levels with different spatial (farm, field, subfield etc.) and temporal (annual, crop rotation etc.) scales beneficial for strategic and operational planning.

The challenge for the development of a FNMS is to meet all these complex requirements and to implement an integrated software system that overcomes the connectivity issues of stand-alone software and models intended for the farm N management, each with varying objectives regarding system boundaries, data requirements, utilized methods and algorithms, performance and practicality.

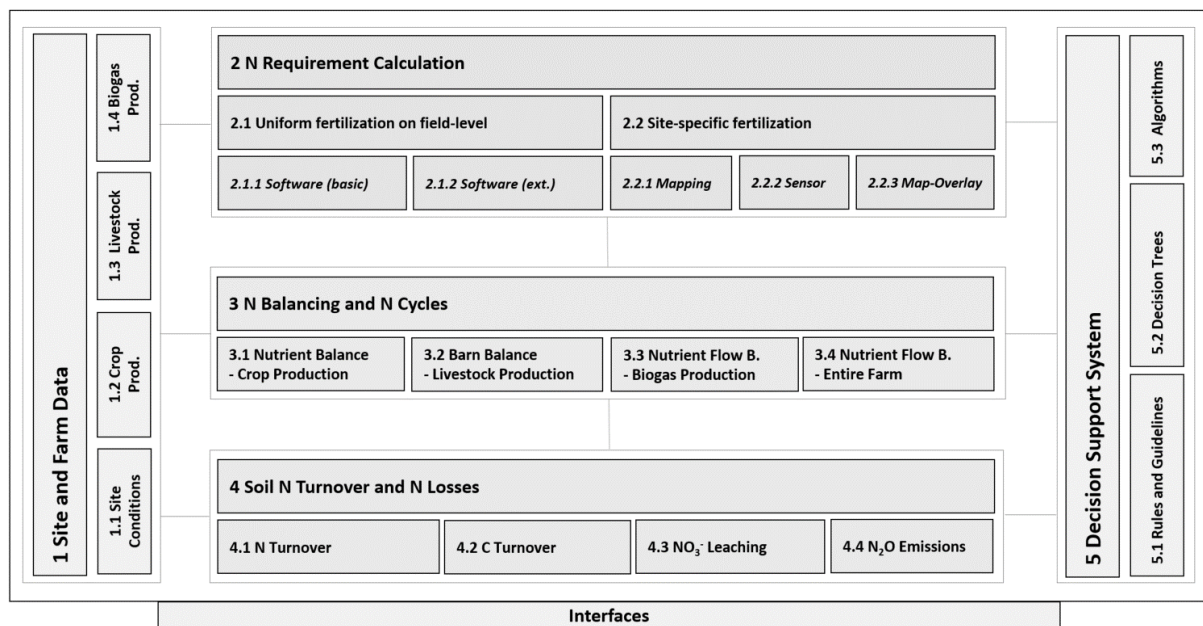


Figure 1: Modular Concept of a Farm-Nitrogen Management System (FNMS)

A FNMS needs to allow for the analysis, evaluation and optimization of N flows on farms and should include the following modules: (1) site-specific and operational farm data, (2) determination of fertilizer requirements, (3) N balancing and N cycles, (4) N turnover in the soil and N loss calculation, and (5) individual decision support (Figure 1). Each modul has its own data model, data structures and algorithms, that use a shared database. The aim of the FNMS is to support farmers in their individual management practices to further increase N efficiency, as well as to mitigate environmentally damaging N surpluses.

References

- Hülsbergen K-J, Schmid H, Chmelikova L (2019) 10 Jahre transdisziplinäre Forschung im Netzwerk der Pilotbetriebe; <http://www.pilotbetriebe.de/>
- Küstermann B, Christen O, Hülsbergen K-J (2010) Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 135(1-2):70–80.
- Oenema O (2019) Principles of integrated, sustainable nitrogen management: Draft section for a Guidance Document. <https://ec.europa.eu>
- Weckesser F, Hartmann A, Beck M, Peisl S (2020) Entscheidungsunterstützung durch Datenvernetzung - Ein Fallbeispiel der Pflanzenbauberatung. *Lecture Notes in Informatics (GI Lecture Notes)* 299: 40. GIL-Jahrestagung, Bonn, 337–342.

Nutzung von Leguminosenuntersaaten zur Senkung des N-Dünger-Einsatzes im Winterraps

Dr. Andreas Gurgel, Katharina Riebe und Stefanie Busch

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gültzow-Prüzen

Einleitung

Als einer der wenigen Blattfrüchte kommt dem Raps durch seine gute Vorfruchtwirkung eine besondere Bedeutung in der Fruchtfolge zu. Daher ist er mit einer Anbaufläche von 173.300 Hektar im Jahr 2020 die zweitwichtigste Kultur nach Winterweizen in Mecklenburg-Vorpommern. Ein wichtiger Absatzweg ist die Verwendung von Rapsöl zur Herstellung von Biodiesel. Ein Inverkehrbringen und die Anrechnung an die THG-Minderungsquote sind daher nur möglich, wenn die Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllt werden. Bei der Herstellung von Biodiesel aus Rapsöl entsteht ein Großteil der Treibhausgase (THG) durch den Einsatz mineralischer Stickstoff (N)-Dünger und die Lachgasemissionen durch die N-Umsetzung im Boden.

Ziel des mehrjährigen Projektes war es, das Potential zur Einsparung mineralischer N-Dünger im Anbausystem Leguminosenbeisat im Raps zu untersuchen. Ebenso besteht die Möglichkeit der Reduzierung des Herbizidaufwandes. Im Zeitraum von 2017 bis 2020 wurde an zwei Orten in Mecklenburg-Vorpommern der Anbau von Raps mit den Leguminosenuntersaaten Ackerbohne und Blaue Lupine untersucht.

Material und Methoden

Die Datenbasis ist eine Serie von Exaktversuchen, wobei klassische N-Steigerungsversuche mit dem Faktor der Untersaat (Ackerbohne und Blaue Lupine) kombiniert wurde. Dieser wurde noch um die Variante der Herbstdüngung sowie eine Variante ohne Untersaat als Referenz ergänzt. Die Versuche wurden in zwei Sorten unterschiedlich zügiger Herbstentwicklung durchgeführt. Die Aussaat von Raps und Untersaat erfolgte in alternierenden Reihen.

Neben der eigentlichen Ertragsermittlung wurden auch zu verschiedenen Terminen die Biomasseentwicklung sowie die N_{\min} -Gehalte im Boden untersucht.

Aus Biomassebeprobungen sowie der Korn- und Strohertragsermittlung wurde die Stickstoffaufnahme errechnet. Die Treibhausgasemissionen wurden mittels des Tools Biograce kalkuliert. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgte auf Basis des kostenfreien Mehrerlöses.

Ergebnisse und Diskussion

Die Biomassebildung im Herbst verlief in den drei Jahren sehr unterschiedlich, insgesamt war jedoch besonders in der Variante der Ackerbohnenuntersaat eine gewisse Konkurrenz zwischen den beiden Partnern deutlich. Da die Ackerbohnen sich sehr üppig entwickelten, wurde hier auch relativ viel Stickstoff gebunden. In den milden Winterperioden wuchsen sowohl der Raps als auch die Ackerbohnen weiter. Die Blauen Lupinen froren sicherer als die Bohnen ab. Die geringere Biomassebildung in der Bohnenvariante wirkte sich nicht nachteilig auf den Raps aus. In Bezug auf die unterschiedliche Wüchsigkeit der beiden untersuchten Sorten ergaben sich entgegen der Vermutung keine Unterschiede. Der Raps kann mit den Leguminosen hinreichend konkurrieren.

Die Auswirkungen auf die Rapsenerträge aus den Leguminosenuntersaaten waren im Ergebnis der Versuche kaum erkennbar. Während es zur Ernte 2018 noch N-Effekte von etwa 50 kg/ha gab, waren im Mittel der dreijährigen Versuchsreihe kaum signifikante Mehrerträge durch die Leguminosen nachzuweisen. Die Hauptursache dafür ist in der außerordentlichen Trockenheit während des Versuchszeitraumes zu sehen. Dadurch wurde nicht nur die Mineralisation der abgestorbenen Pflanzenmasse eingeschränkt, sondern auch die Aufnahme von Stickstoff aus dem Boden, so dass auch die Effekte der Stickstoffsteigerung sehr gering ausfielen. Zum Erreichen eines N-Saldos von maximal 50 kg/ha können etwa 140 kg/ha gedüngt werden.

Aufgrund der geringen ertraglichen Wirkungen der Untersaaten ließ sich nur eine vergleichsweise niedrige Verbesserung der Treibhausgasemissionen realisieren. Der NUTS2-Wert von 23,6 kg CO_{2eq}/MJ an Biodiesel wurde erst unterhalb einer N-Düngung von etwa 70 kg/ha erreicht. Die günstigste Variante dabei war die Untersaat der Ackerbohnen mit einer möglichen N-Düngung von 73,3 kg/ha. Bereits in anderen Berechnungen hat sich gezeigt, dass unter komplizierten Jahresbedingungen häufig die Ertragserwartungen nicht erfüllt werden und so die THG-Emissionsgrenzwerte in der Praxis nicht eingehalten werden können.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Leguminosenuntersaaten ergibt sich auch wegen der geringen realisierten Mehrerträge ein Defizit. Die Einsparungen im Herbizidbereich können den erhöhten Aufwand für das Saatgut der Bohnen bzw. Lupinen nicht kompensieren. Dazu sind höhere Mehrerträge erforderlich.

Fazit

Trotz geringer ertraglicher Effekte wurde in dem Projekt eine Möglichkeit zur Verbesserung der Nachhaltigkeit im Rapsanbau gezeigt. Unter der Voraussetzung ausreichender Wasserversorgung kann mit Leguminosen als Untersaat im Raps mineralischer Stickstoffdünger eingespart werden, wodurch sich durchaus positive Umweltwirkungen ergeben können. Unter den neuen Anforderungen eines reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatzes sind im Herbizidbereich ebenfalls Einsparungen möglich.

Die Leguminosen können im Herbst nennenswerte Stickstoffmengen von 40 bis 80 kg/ha aufnehmen, diese Menge steht allerdings dem Raps im Frühjahr unter trockenen Bedingungen nicht rechtzeitig zur Verfügung. Die Untersaat von Leguminosen hat aber unbestritten ihren positiven Einfluss auf den Humushaushalt und die Bodenfruchtbarkeit. Darum sollte das System hinsichtlich der Produktionstechnik und der Prognosesicherheit für die Frühjahrsdüngung weiter verfolgt werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dünge- und Umweltwirkungen neuartiger Dünger aus pyrolysierten Gärresten, Trockenkot und Gülle in Gemüsekulturen in einem Gefäßversuch

Carolyn-Monika Görres und Thomas Appel

Technische Hochschule Bingen, Bingen am Rhein. E-Mail: cm.gorres@th-bingen.de

Einleitung

Ein grundsätzliches Problem der modernen Landwirtschaft ist, dass Nährstoffe aus Wirtschaftsdüngern örtlich und regional konzentriert anfallen, wo ihre Verwertung ineffizient ist und bei Phosphor (P) und Stickstoff (N) sogar umweltbelastend sein kann. Ein Lösungsansatz ist es, Wirtschaftsdünger bei ca. 600 °C zu pyrolysieren. Das resultierende kohleartige Material (Karbonisat) enthält je nach Ausgangsmaterial ca. 3 bis 7 % Phosphor. Aus dem Karbonisat kann durch Anreicherung mit N ein kohlenstoffhaltiger Handelsdünger (Karbondünger) hergestellt werden, der N und P als langsam fließende Nährstoffe enthält. In Kombination mit Vinasse als organischer N-Quelle sind diese kohlenstoffreichen N-P-Dünger besonders interessant für den Ökolandbau. Von dem kohleartigen Material wird zudem eine positive Umweltwirkung erwartet: geringere Mobilität des Nitrats, weniger Emission von Lachgas und Sequestrierung von Kohlenstoff im Boden. Hier präsentieren wir erste Ergebnisse aus einem Gefäßversuch mit neu entwickelten Karbondüngern.

Material und Methoden

In einem viermonatigen Gefäßversuch (Mai – August 2021) wurden nacheinander Stangensellerie und Spinat angebaut. Der Stangensellerie wurde als Jungpflanze eingesetzt (1 Pflanze/Gefäß, 9 kg Boden/Gefäß) und nach vier Wochen geerntet. Der Spinat wurde sechs Wochen nach Aussaat (16 Samen/Gefäß) geerntet. Zwischen Stangensellerieernte und Spinataussaat sowie nach der Spinaternte gab es jeweils eine zweiwöchige Brachephase. Der Gefäßversuch wurde in einem randomisierten Blockdesign mit 12 Versuchsvarianten und fünf Wiederholungen im Gewächshaus aufgestellt. Vier neuartige Karbondünger wurden getestet: drei verschiedene Feststoffvarianten (Ausgangsmaterial: Hühnerkot, Gärrest bzw. getrocknete Schweinegülle), die unter Beimischung von Vinasse mit Stickstoff angereichert waren, sowie ein Karbonisat aus getrockneter Schweinegülle, das vor der Pyrolyse mit Kaliumacetat angereichert wurde. Dieses K-Doping steigert den wasserlöslichen P-Anteil im Karbonisat (Buss et al. 2020). Zu Versuchsbeginn wurde einmalig auf 15 mg P/100 g Boden gedüngt. Für das Karbonisat mit dem höchsten N-Gehalt (Ausgangsmaterial Hühnerkot) wurde dadurch eine N-Düngung von 158 mg/kg Boden erreicht. Die anderen Versuchsvarianten wurden auf die gleiche N-Menge eingestellt, indem jeweils individuell angepasst Vinasse appliziert wurde. Verglichen wurden die Karbonisatdüngung mit Triplesuperphosphat (TSP) + Vinasse, TSP + Kalkammonsalpeter (KAS) sowie einem im Handel erhältlichen Struvit (Handelsname „Berliner Pflanze“) + Vinasse. Untersucht wurde der Effekt der Dünger auf den Ertrag, die Nährstoffaufnahme, die Lachgasemission und die Nitratauswaschung. Lachgas-Emissionen wurden einmal wöchentlich gemessen. Jeweils einmal am Ende einer Bracheperiode wurden die Gefäße über die maximale Wasserhaltekapazität befeuchtet und anschließend das Nitrat im perkolierten Sickerwasser gemessen. Im Erntegut wurde N und P analysiert sowie im Boden zu verschiedenen Zeitpunkten N_{min} und laktatlöslicher P gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

Mit den Karbondüngern wurde ungefähr genauso viel Sellerietrockenmasse geerntet wie mit der Kombination TSP+KAS (Spannweite: 3,1 – 3,5 g). Deutlich geringer war der Ertrag, wenn TSP mit Vinasse statt mit KAS gedüngt wurde. Der Ertrag lag in dem Fall kaum über dem der Kontrolle ohne Düngung (Spannweite: 2,0 – 2,5 g). Der Stickstoff aus der Vinasse wurde möglicherweise stärker ausgewaschen, wenn die Vinasse in Kombination mit TSP statt in Kombination mit den Karbonisaten gedüngt wurde. Alle Gefäße wurden nämlich mit der gleichen Menge Wasser versorgt. Die Bodenfeuchte korrelierte dabei stark mit der Menge der flüssigen Vinassegabe zu Beginn des Versuches, die in der TSP-Variante am höchsten war. Das könnte zu mehr Sickerwasser in diesen Varianten geführt haben. Bei der Düngevariante TSP + Vinasse wurden zwei Tage nach der Düngung (= erster Messtermin) die geringsten Lachgas-Emissionen gemessen (Spannweite: 27 – 29 $\mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Sehr heterogen waren die Lachgas-Emissionen bei den Karbonisaten, die sowohl die Variante mit den niedrigsten (Karbonisat aus Hühnertrockenkot: $24 \pm 5 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$, Mittelwert \pm SE, n=5) als auch mit den höchsten Emissionen (Karbonisat aus Gärresten + flüssige Vinasse: $75 \pm 9 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) stellten. Die Lachgas-Emissionen waren zu 100 % auf die Düngungen zurückzuführen, da keine Emissionen in der Kontrollvariante ohne Düngung festgestellt wurden.

Gefördert wurde dieser Versuch durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft im Rahmen des Forschungsvorhabens „Karbondünger aus phosphorreichen Wirtschaftsdüngern durch Karbonisieren mit Stickstoffrückgewinnung“.

Literatur

Buss et al. (2020): Unlocking the fertilizer potential of waste-derived biochar. ACS Sustainable Chem. Eng. 8: 12295–12303.

Modellierung des Nitrataustrags im Rahmen eines webbasierten Nährstoffmanagementsystems: Wurzelentwicklung und N-Aufnahme

Joseph Donauer¹, Laila Andermann, Harald Schmid¹ und Kurt-Jürgen Hülsbergen¹

¹Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising. E-Mail: joseph.donauer@tum.de

Einleitung

Erhöhte Nitratgehalte in zahlreichen Grundwasserkörpern weisen auf erheblichen Optimierungsbedarf im betrieblichen Nährstoffmanagement hin. Als Bestandteil des webbasierten Nährstoffmanagementsystems webBESyD (Luthardt et al. 2019) wird ein Modul zur Abschätzung der sickerwassergebundenen Nitratausträge entwickelt. Einer der Schwerpunkte liegt dabei in der Abbildung der kulturartsspezifischen Wurzelentwicklung und der damit einhergehenden N-Aufnahme aus den unterschiedlichen Bodentiefen.

Material und Methoden

WebBESyD vereint Module zur Düngeplanung, Nährstoffbilanzierung und Nitratauswaschung und ist für den Einsatz in Beratung und Praxis konzipiert. Die Datenverwaltung erfolgt modulübergreifend (Abbildung 1).

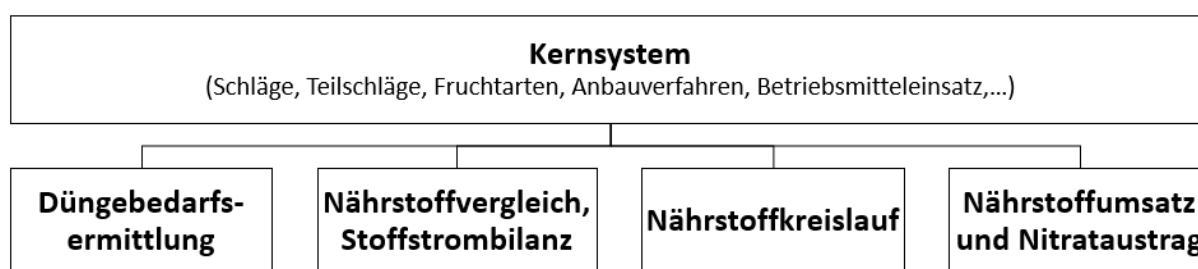


Abb. 1: Modellstruktur von webBESyD: Kernsystem und Module

Zur Entwicklung des Moduls „Nährstoffumsatz und Nitrataustrag“ werden bestehende Methoden der Modelle BOWAM (Dunger 1985) und REPRO (Hülsbergen 2003) verwendet, ergänzt und präzisiert. Zur exakteren Abbildung der N-Aufnahme wurden umfangreiche Wurzeldata von Kulturpflanzen ausgewertet und logistische Wachstumsfunktionen erstellt.

Ergebnisse und Diskussion

Das Modul Nährstoffumsatz und Nitrataustrag greift – wie die anderen Module in webBESyD – auf die Daten des Kernsystems zu, das alle relevanten Standort- und Betriebsdaten verwaltet. Im Pflanzenbau werden die Daten schlag- und teilschlagbezogen erfasst.

Das Modul besteht aus drei Teilkomponenten – der Modellierung des Sickerwasserprozesses, der über das Modell BOWAM (Dunger, 1985) abgebildet wird, der Berechnung der N-Dynamik im Boden, die sich u.a. aus der Mineralisierung von organischer Substanz und aus der Düngung ergibt, der Berechnung der N-Aufnahme, die mengenmäßig über die Erträge und N-Gehalte von Haupt-, Nebenprodukt und Ernte-Wurzel-Rückständen ermittelt wird und in Abhängigkeit vom Wurzelsystem in verschiedenen Bodentiefen stattfindet. Als zeitliche Auflösung

wurden Tagesschritte gewählt, um die Effekte von Starkniederschlagsereignissen erfassen zu können.

Die Wurzelentwicklung der Zuckerrübe (Feinwurzelsystem ohne Rübenkörper) in den verschiedenen Bodenschichten im Zeitverlauf ist in Abbildung 2 dargestellt.

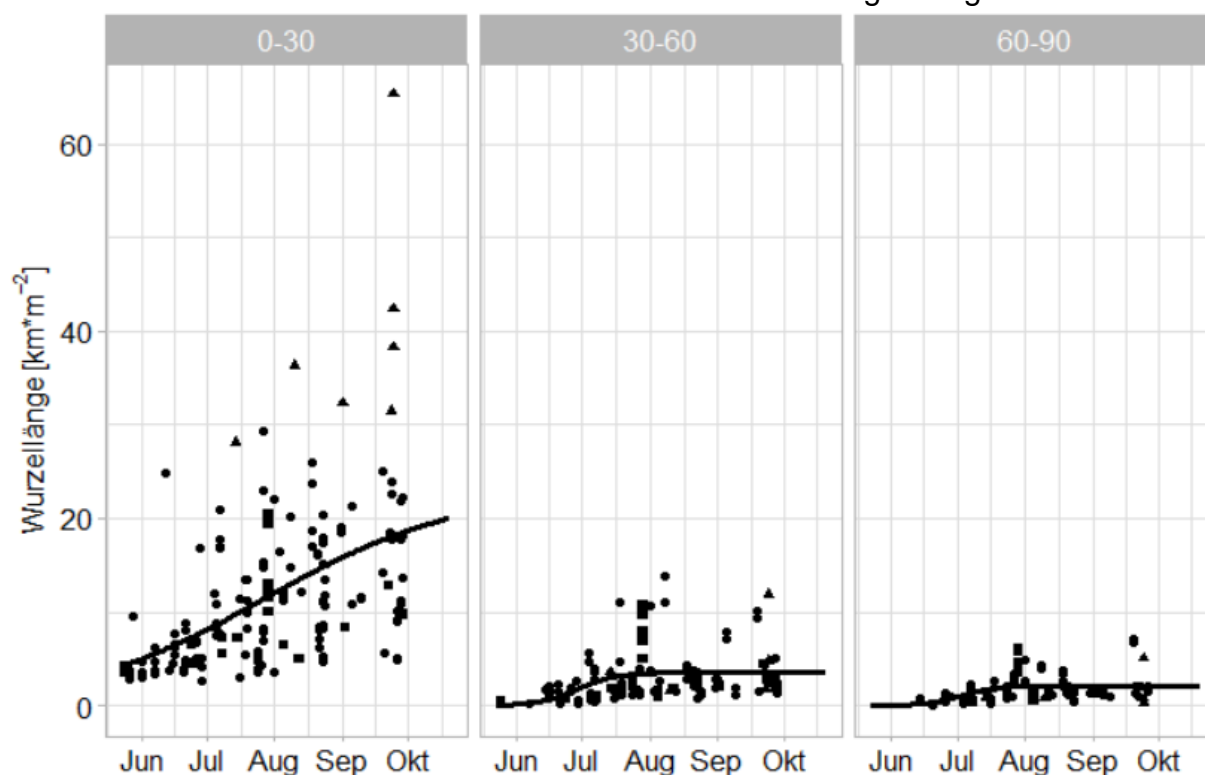


Abb. 2: Entwicklung der Wurzellänge von Zuckerrüben im Vegetationsverlauf in den Bodenschichten 0-30, 30-60 und 60-90 cm. (▲ leichte Böden, ● mittlere Böden, ■ schwere Böden).

Der Hauptteil der Wurzeln (> 70%) befindet sich während der gesamten Vegetationsperiode in der Schicht 0-30 cm. Während in der darunterliegenden Schicht bereits Ende Mai erste Wurzeln gefunden wurden, erreichten die Wurzeln die unterste betrachtete Schicht erst in der ersten Juni-Hälfte. Daten zu Wurzelparametern unterhalb von 90 cm fehlen, eine N-Aufnahme ist aber auch dort anzunehmen. Die Verteilung der N-Aufnahme im Bodenprofil aus den vorliegenden Daten wird u.a. in Abhängigkeit der Bodenfeuchte ermittelt. Das Modul zu Nährstoffumsatz und Nitrataustrag wird anhand von Messdaten aus Lysimeterversuchen kalibriert und validiert.

Literatur

Dunger V. (1985): Zur prozessbezogenen Modellierung des Wasserhaushaltes in der belüfteten Bodenfeuchtezone. Dissertationsschrift, Fak. Forst-, Geo-, Hydrowiss. der TU Dresden

Hülsbergen K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag Aachen.

Luthardt, Marco; Peter, Christiane; Wolfrum, Sebastian; Wörle, Veronika; Hülsbergen, Kurt-Jürgen; Leßke, Frank (2019): Webbasiertes BESyD zur Umsetzung der Düngeverordnung - Projekt-Abschlussbericht 2019. Hg. v. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

Kein Zusammenhang zwischen N-Saldo und N-Austrag? - Analyse von Nitrat im Sickerwasser

Ines Bull

Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft/ Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow-Prüzen; E-Mail: *i.bull@lfa.mvnet.de*

Einleitung

Als Hauptursache erhöhter NO_3 -Konzentrationen im Grundwasser durch landwirtschaftliche Nutzung gelten überhöhte N-Düngungsmengen. Die gesetzlichen Regulierungen begrenzen folgerichtig die N-Düngungshöhen. In der Literatur wird jedoch häufig kein oder nur ein schwacher Zusammenhang zwischen N-Düngungshöhe und NO_3 -Konzentration bzw. NO_3 -Fracht im Sicker- oder Dränwasser landwirtschaftlicher Flächen festgestellt. Ursachen können die Witterung und ein durch das langjährige Düngungsniveau aufgebauter hoher N-Pool im Boden sein (Kahle et al. 2018). Die vorliegende Untersuchung soll mithilfe der Methodik des Feldversuchswesens dazu beitragen, die Wirkungen von N-Düngungsreduzierung auf die Zielparameter NO_3 -Konzentration und -Fracht quantitativ einzuschätzen.

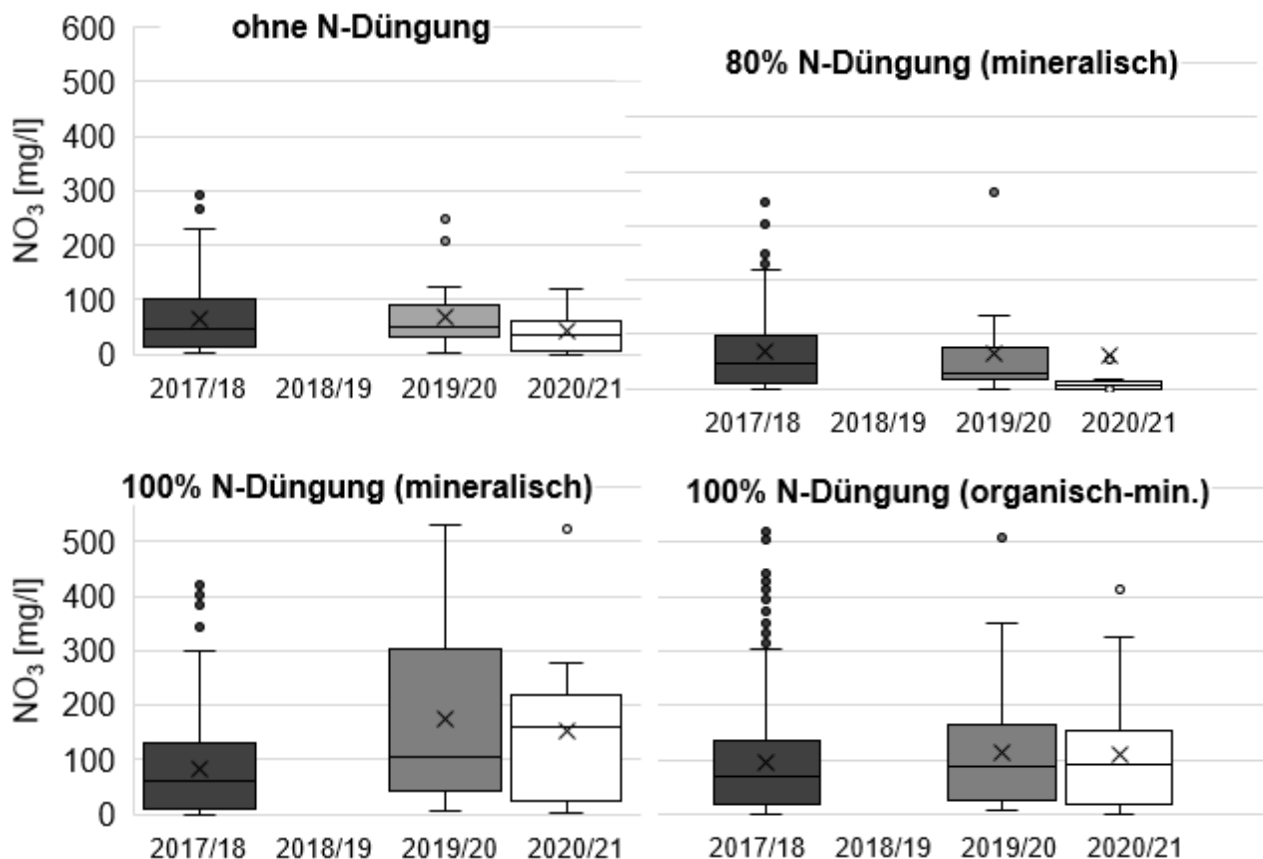
Material und Methoden

Zur Ermittlung der NO_3 -Konzentrationen im Sickerwasser wurde am Standort Gülzow im Herbst 2017 eine Saugkerzenanlage unter einem bestehenden ortsfesten N-Düngungsversuch installiert. Alle Kulturen der Fruchtfolge (Winterraps-Winterweizen (Zwischenfrucht)-Silomais-Triticale werden in jedem Jahr angebaut. Es werden auf allen vier Feldern fünf Düngungsvarianten mit drei Wiederholungen einzeln beprobt. Das Sickerwasser wird in 60 cm Bodentiefe mit zwei keramischen Saugkerzen je Parzelle kontinuierlich erfasst und wöchentlich auf den Nitratgehalt untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Während der Sickerwasserperiode 2017/18 lieferten alle Saugkerzen regelmäßig Proben, die dargestellten Ergebnisse beruhen auf einem großen Probenumfang. Trockenheitsbedingt gab es 2018/19 kein Sickerwasser. Auch 2019/20 und 2020/21 fielen deutlich weniger Proben als 2017/18 an. Aus den Analysen lässt sich ableiten, dass die angebaute Kulturart und ihre Vorfrucht wesentlichen Einfluss auf die NO_3 -Konzentration nehmen. Insgesamt ist diese zeitlich und örtlich sehr variabel. Sehr hohe Werte treten meist in der ersten Hälfte der Sickerwasserperiode auf und nehmen in der zweiten Hälfte ab. Obwohl bei hohem Düngungsniveau und auch mit dem Einsatz von organischem Dünger das Risiko für höhere Nitratkonzentrationen zunimmt, scheint der Einfluss dieser beiden Faktoren im Vergleich zu Kultur und Vorfrucht nur untergeordnet. Auch ohne Düngung können in Abhängigkeit der angebauten Kultur erhöhte Nitratkonzentrationen auftreten und somit potenzielle Nitratausträge ins Grundwasser stattfinden. Kulturen mit einem hohen Nitrataufnahmevermögen im Herbst, etwa gut entwickelte Zwischenfruchtbestände, reduzieren den Eintrag von Nitrat ins Sickerwasser. Dagegen sind unter Weizen auch bei reduzierter Düngung erhöhte Konzentrationen nicht zu vermeiden. 2017/18 verringerte eine Düngungsreduzierung die NO_3 -Gehalte im Mittel der Fruchtfolge um ca. 20 mg/l, der Unterschied in Abhängigkeit von der Kultur lag im Mittel der Düngungsstufen bei maximal 160 mg/l. Da die Versuchsfläche vor Etablierung des Düngungsversuches langjährig nicht gedüngt wurde, sind Nitratkonzentrationen, die

unter nicht mit N gedüngten Parzellen gemessen worden, anders als bei Trautz et al. 2020 ursächlich unabhängig von der N-Düngung zu betrachten.



Nitratkonzentration im Sickerwasser in 60 cm Bodentiefe während der Sickerwasserperiode in Abhängigkeit von der N-Düngung, Messwerte aller Kulturarten, Gülzow 2017-2021

Literatur

Kahle, P.; Bauwe, A.; Lennartz, B. (2018): Übersichtsbeitrag zu Untersuchungen zum Nährstoffaustrag im künstlich entwässerten Tieflandeinzugsgebiet der Zarnow, Mecklenburg-Vorpommern. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 62 (62), S. 159–172.

Trautz, D.; Beiküfner, M.; Vergara, M.; Kohlbrecher, M.; Kühling, I.; Siuts, H.; Müller, S. (2020): Modell- und Pilotprojekt zur Ermittlung von Grundlagen für die Umsetzung ordnungsrechtlicher Stickstoffdüngungsbeschränkungen am Beispiel des Wasserschutzgebietes Belm-Nettetal im Landkreis Osnabrück. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Grundwasser, 44).

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Entwicklungsprogramms für den ländlichen Raum Mecklenburg-Vorpommern 2014-2020 mit Unterstützung der Europäischen Union und des Landes Mecklenburg-Vorpommern, vertreten durch das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, gefördert.

Einfluss der mechanischen Beikrautregulierung auf die Boden-N-Mineralisation in Wintergerste

Mareike Beiküfner¹, Kira Jabs^{1,2}, Maria Vergara¹, Gabriele Broll², Insa Kühling³
und Dieter Trautz¹

¹Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur/Hochschule Osnabrück;

²Institut für Geographie/Universität Osnabrück;

³Abteilung Acker- & Pflanzenbau/Universität Kiel. E-Mail: m.beikuefner@hs-osnabrueck.de

Einleitung

Vor dem Hintergrund zunehmender Herbizidresistenzen von Ackerunkräutern, sowie stagnierender Entwicklung von Wirkstoffen bzw. Wirkungsweisen gewinnt die mechanische Beikrautregulierung auch im konventionellen Ackerbau an Bedeutung. Während der Einfluss von unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen (bspw. wendend mit Pflug vs. Direktsaat) auf die Stickstoff (N)-Mineralisation im Boden bereits vielfältig betrachtet wurde (Thomsen und Sørensen 2006, Zebarth et al. 2008), existieren bislang wenig Untersuchungen zur Auswirkung von Maßnahmen mit geringer Bearbeitungstiefe (Striegeln) zur Beikrautregulierung auf die N-Dynamik im Boden (Gilbert et al. 2009). Neben der primären Wirkung auf die Beikräuter, ergeben sich möglicherweise sekundäre Effekte auf die N-Dynamik im Boden und das Pflanzenwachstum. Seit 2020 wird an der Hochschule Osnabrück der Einfluss der mechanischen Beikrautregulierung auf die N-Mineralisation und deren nachgelagerte Effekte auf das Wachstum von Wintergerste untersucht.

Material und Methoden

Im Rahmen eines randomisierten Feldversuchs wurde Wintergerste (Sorte Quadriga) in vierfacher Wiederholung mit entweder chemischer (Kontrollvariante) oder mechanischer Beikrautregulierung in 30 m² großen Parzellen angebaut. Zu Vegetationsbeginn wurden 90 kg N ha⁻¹ in Form von Gärrest in allen Varianten appliziert. Die chemische Beikrautregulierung erfolgte einmalig mit einer Kombination verschiedener Wirkstoffe (50 g ha⁻¹ Pinoxaden, 12,5 g ha⁻¹ Cloquintocet-mexyl, 3,75 g ha⁻¹ Florasulam und 45 g ha⁻¹ Clopyralid), während die mechanische Beikrautregulierung mittels Rollstriegel (APV) zu drei Terminen (06.04., 14.04., 20.04.2020) durchgeführt wurde. Zu jedem Striegelgang wurden unmittelbar zuvor (Tag 0), nach 2 Tagen, sowie nach 4 Tagen Bodenproben in zwei Tiefen (0-5 und 5-20 cm) entnommen und auf Nitrat und Ammonium analysiert. Zur Ermittlung des Kornertrags wurden die Parzellen mittels Parzellenmähdrescher gedroschen. Für die statistische Auswertung erfolgte eine Varianzanalyse im gemischten Modell mit Block als ‚random‘ Faktor in R (R Core Team 2021).

Ergebnisse und Diskussion

Zu keiner der drei Striegelmaßnahmen konnten signifikante Unterschiede zwischen der chemischen und mechanischen Variante im N_{min}-Gehalt in 0-5 cm und 5-20 cm Bodentiefe festgestellt werden (Abb. 1). Vor dem ersten Striegelgang wurden durchschnittlich 3,49 kg N_{min} ha⁻¹ in 0-5 cm und 7,96 kg N_{min} ha⁻¹ in 5-20 cm Bodentiefe ermittelt. Der N_{min}-Gehalt nahm sowohl in 0-5 cm als auch in 5-20 cm Bodentiefe zum letzten Striegelgang leicht ab (Abnahme um -0,82 kg N_{min} ha⁻¹ in 0-5 cm bzw. um -1,8 kg N_{min} ha⁻¹ in 5-20 cm). Des Weiteren konnten keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen den Behandlungen (chemisch: 26,4 dt ha⁻¹ /

mechanisch: 25,4 dt ha⁻¹) beobachtet werden, wobei das Ertragsniveau aufgrund der extremen Witterungsbedingungen am Standort deutlich niedriger als in durchschnittlichen Jahren ausfiel. In den kommenden Versuchsjahren sind diese Ergebnisse im Kontext von unterschiedlichen Witterungsbedingungen zu überprüfen.

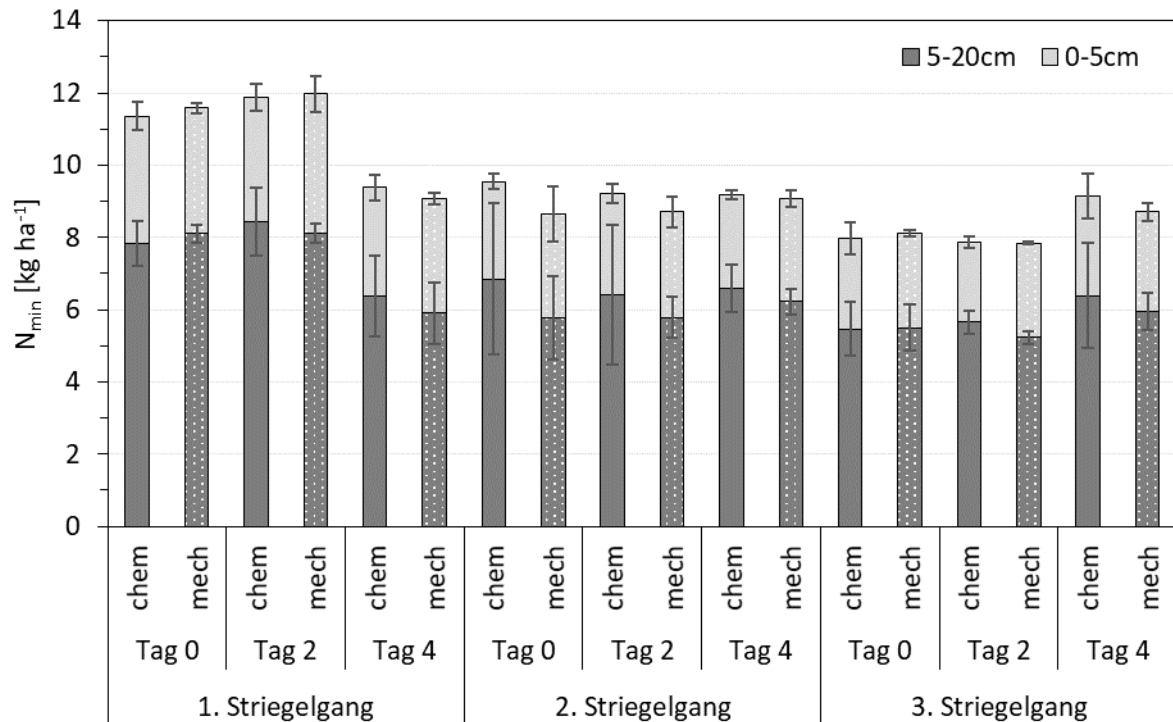


Abb. 1: Mittlerer N_{min}-Gehalt (n = 4) in 0-5 und 5-20 cm Bodentiefe für die chemische und mechanische Beikrautregulierung unmittelbar vor jeder Striegelmaßnahme (Tag 0) sowie nach 2 bzw 4 Tagen.

Literatur

- Gilbert, P. A., Vanasse, A., Angers, D. A. (2009): Harrowing for weed control: Impacts on mineral nitrogen dynamics, soil aggregation and wheat production. *Soil & Tillage Res* 103, 373-380.
- R Core Team (2021): R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 4.0.3. Online verfügbar: <http://www.r-project.org/> (Zugriff am 10.05.2021).
- Thomsen, I. K., Sørensen, P. (2006): Tillage-induced N mineralization and N uptake in winter wheat on a coarse sandy loam. *Soil & Tillage Res.* 89, 58–69.
- Zebarth, B.J., Burton, D. L., Grant, C. A., Bittman, S., Drury, C. F., McConkey, B. G., Ziadi, N. (2008): Response of Potentially Mineralizable Soil Nitrogen and Indices of Nitrogen Availability to Tillage System. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 1124-1s131.

N-Dynamik beim Anbau von Mais nach Grünlandumbruch und Trockenphasen

Manfred Kayser^{1,3}, Helge Rethmeyer³, Meike Backes² und Johannes Isselstein³

¹Universität Vechta, Geo-Labor, ²Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Grünland und Futterbau,

³Universität Göttingen, Abteilung Graslandwissenschaft. E-Mail: manfred.kayser@uni-vechta.de

Einleitung

Durch die Vorgaben der Förderungspolitik hat sich die Abfolge von fünf Jahren Grünland, einer Ackerzwecknutzung (ein- bis mehrjährig) und Neuansaat von Grünland auf ackerfähigen Standorten etabliert. Auch nach dieser relativ kurzen Grasphase führt der Umbruch zur Freisetzung von N. Dies kann in Abhängigkeit von der Wahl der Folgefrucht, der Höhe der N Düngung, sowie vom Wetter (Niederschlag und Temperatur als Treiber der Mineralisation) zur Auswaschung von N in das Grundwasser führen (Buchen et al. 2017). Grundsätzlich liegen über die N Dynamik dieser Systeme nicht genügend Kenntnisse vor.

Material und Methoden

In einem Feldversuch auf einem Geeststandort mit fünfjährigem Grünland mit unterschiedlicher Düngeform und -höhe (organisch/Rindergülle und organisch + synthetisch/Kalkammonsalpeter, KAS) wurde nach mechanischem Umbruch im Frühjahr 2019 Mais angebaut. Der nachgebaute Mais wurde nicht mit N gedüngt, erhielt aber einen Ausgleich an P und K. Die N Dynamik konnte durch die Erfassung der Erträge, der N-Erträge, der NO₃-N Auswaschung (Saugkerzenanlage) und die daraus abgeleiteten N-Bilanzen beschrieben werden. Auf eine ausgeprägte Sommertrockenheit im letzten Jahr der Grasphase (2018) folgte wiederum im Sommer 2019 eine weitere Trockenphase.

Ergebnisse und Diskussion

Die Effekte der Düngung in der Vorbewirtschaftung wurden deutlich überlagert durch i) die Nachwirkungen der Trockenheit im Vorjahr 2018 (Kayser et al. 2020) und eine Trockenphase während des Maisanbaus 2019 und ii) die Freisetzung von N nach Zerstörung der Grasnarbe. Die NO₃-N Auswaschung nach Mais lag trotz des Verzichts auf N Düngung noch bei 70–110 kg N/ha. Beim Nachbau von Mais wurden dabei 190–250 kg N/ha aus dem Boden über Mineralisation für N Ertrag und NO₃-N Auswaschung bereitgestellt. Mais hat einen hohen N Bedarf und weist eine grundsätzlich gute N Effizienz auf (Muchow 1998). Unter ähnlichen Bedingungen fanden Kayser et al. (2008) bei Mais nach Umbruch von langjährigem Dauergrünland NO₃-N Verluste über die anschließende Winterzeit bei Verzicht auf N Düngung in Höhe von 118 kg N/ha und bei N Düngung von 160 kg N/ha NO₃-N Verluste von 216 kg N/ha. Die Unterschiede zwischen den Varianten der Vorbewirtschaftung sind für Erträge und N Erträge des nachgebauten Mais gering und lassen sich nicht statistisch absichern. Die NO₃-N Auswaschung war bei einem N Input während der Grasphase von >240 kg N/ha über Gülle beim Nachbau von Mais um 20–30 kg N/ha gegenüber den anderen Varianten (Tabelle 1) erhöht, der Effekt ließ sich allerdings nicht statistisch abgesichern. Ein anschließender Vergleich mittels Kontraste zeigt aber signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) in der NO₃-N Auswaschung zwischen einzelnen Kombinationen: SLM360 > Kontrolle; SLM360/SLR240 > Kontrolle/SLR120; und SLR240 > Kontrolle.

Letztlich ist hier ein Zusammenspiel von massiven Störungen in einer ungewöhnlichen Abfolge aufgetreten: Ertragsdepression durch Wassermangel, Absterben der Grasnarbe, anschließende Wiederbefeuchtung und Mineralisation und daraus folgende hohe N Auswaschung (20–220 kg N/ha) im letzten Jahr der Grasphase. Im Folgejahr dann der mechanische Umbruch zu Acker mit Nachbau von Mais und eine weitere Trockenphase mit entsprechend geringeren Erträgen und verminderter N Abfuhr. Langanhaltende Trockenheit kann zu einer Reduzierung der Brutto-N-Mineralisierung führen (Larsen et al. 2011). Im Winter 2019/20 war zudem die Sickerwassermenge um 1,5 mal höher als im langjährigen Mittel.

Tab. 1: N Bilanzierung über zwei Jahre unter Einbeziehung von N Abfuhr (N Ertrag), N Deposition und NO₃-N Auswaschung (N Ausw.); jeweils Mai–April. Mittelwerte aus vier Wiederholungen; ANOVA.

Variante	(2018/2019) Gras			(2019/2020) Mais - Nachbau				
	N Gülle [kg/ha]	N KAS [kg/ha]	Bilanz 1 [kg N/ha]	N Input [kg/ha]	Ertrag [t/ha]	N Ertrag [kg/ha]	N Ausw. [kg/ha]	Bilanz 2 [kg N/ha]
Kontrolle	0	0	-24	0	11,8	160	73	-203
SLR120	120	0	+57	0	11,6	150	70	-190
SLR240	240	0	+113	0	11,0	148	106	-224
SLM240	120	120	+33	0	11,7	145	81	-196
SLM360	240	120	+52	0	12,7	173	110	-253
<i>P</i> -Wert					0,60	0,32	0,11	

Bilanz 1 = (N Input + N Deposition [30 kg N/ha]) – (N Ertrag + N Ausw.); Jahr 2018/2019

Bilanz 2 = N Deposition [30 kg N/ha] – (N Ertrag + N Ausw.); Jahr 2019/2020

Die vorliegenden Daten beschreiben einmal mehr die hochkomplexe Situation nach einem Umbruch von Grünland und die starke Abhängigkeit der N Mineralisation und N Effizienz vom komplexen Zusammenspiel von Witterungsgeschehen, von Einflüssen aus der Vorbewirtschaftung, sowie eines maschinellen Umbruchs.

Abmildern lässt sich eine solche Situation hinsichtlich NO₃-N Verluste nur durch entsprechende Lagerkapazitäten und ein nach Umbruch reduziertes N Düngungsniveau insgesamt. Verschärft wird die Situation, wenn es durch den Klimawandel zu häufigerem Auftreten von Trockenphasen kommt (Handmer et al. 2012).

Literatur

- Buchen C, Well R, Helfrich M, Fuß R, Kayser M, Gensior A, Benke M, Flessa H (2017) Soil mineral N dynamics and N₂O emissions following grassland renewal. *Agric Ecosyst Environ* 246, 325-342.
- Handmer J, Honda Y, Kundzewicz ZW, et al (2012) Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. In: Field C, Barros V, Stocker T, et al. (eds) A special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. University Press, Cambridge, UK.
- Kayser M, Hoffmann M, Ströer R, Benke M, Isselstein J (2020) Prolonged summer drought changes N dynamics in cut grassland. *Grass Sci Eur* 25, 502–504.
- Kayser, M., Seidel, K., Müller, J. and J. Isselstein (2008): The effect of succeeding crop and level of N fertilization on N leaching after break-up of grassland. *Eur J Agron* 29, 200-207.
- Larsen KS, Andresen LC, Beier C, et al (2011) Reduced N cycling in response to elevated CO₂, warming, and drought in a Danish heathland: Synthesizing results of the CLIMAITE project after two years of treatments. *Glob Chang Biol* 17, 1884–1899.
- Muchow RC (1998) Nitrogen utilization efficiency in maize and grain sorghum. *F Crop Res* 56: 209–216

Auswirkungen des Mais-Stangenbohnen-Gemengeanbaus auf den Stickstoffhaushalt

Daniel Villwock, Sabine Kurz und Maria Müller-Lindenlauf

Institut für Angewandte Agrarforschung, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen.
E-Mail: sabine.kurz@hfwu.de

Einleitung

Die Hochschule Nürtingen-Geislingen (HfWU) forscht aktuell an der Frage, ob der Gemengeanbau von Mais (*Z. mays* L.) mit Stangenbohnen (*P. vulgaris* L.) bei reduzierter N-Düngung vergleichbare Erträge bei gleichzeitig geringerem N-Austragungsrisiko gegenüber Mais-Reinanbau erzielen kann. Die Untersuchung ist Bestandteil des FNR-Projektes GeMaBo (FKZ 22027716), in dem untersucht wird, ob das Mais-Stangenbohnen-Gemenge dazu beitragen kann, die Umweltbilanz des Maisanbaus zu verbessern, ohne die Wirtschaftlichkeit wesentlich zu reduzieren.

Material und Methoden

In den Jahren 2019 und 2020 (Hauptfrucht) und 2020 und 2021 (Folgefrucht) wurden an den Standorten Tachenhausen (HfWU) und Haus Düsse (ZNR NRW) zweifaktorielle Exaktversuche mit vierfacher Wiederholung durchgeführt. Neben dem Faktor Anbausystem, der Mais-Stangenbohnen-Gemenge (M-SB) und Mais-Reinanbau (M) umfasste, wurden im Faktor Düngung drei Düngestufen getestet, und zwar 0%, 40% und 100% der maximal zulässigen Düngemenge gemäß DüV. Als Maissorte wurde die Sorte Figaro von KWS Saat SE genutzt, als Bohnensorte diente WAV 612 von Van Waveren Saaten GmbH. Es wurde ein Pflanzenbestand von 7,5 Pfl./m² Mais im Reinanbau und 7,5 Pfl./m² Mais mit 5,5 Pfl./m² Stangenbohne im Gemenge angestrebt. Im Folgenden werden die Daten aus Tachenhausen aus der Saison 2019/2020 dargestellt. Die maximal zulässige Düngemenge nach DüV im Mais-Reinanbau lag hier bei 130 kg N/ha. Die Düngung erfolgte durch Kalkammonsalpeter. Die Stangenbohnen wurden nicht mit Knöllchenbakterien geimpft. Zur Bestimmung der Ertragsanteile und N-Gehalte der Gemengepartner wurden Teilparzellen von Hand geerntet, zur Bestimmung der Trockenmasse (TM) - Erträge erfolgte anschließend eine Maschinenernte. Außerdem wurden N_{min}-Gehalte im Boden zur Ernte, zu Vegetationsende sowie zu Vegetationsbeginn des Folgejahres bestimmt. Als Folgefrucht wurde nach einer oberflächlichen Bodenbearbeitung Winterweizen gesät. Dieser wurde nicht gedüngt, um einen möglichen Vorfrucht-Effekt des Mais-Stangenbohnen-Gemenges aufzeigen zu können. Der Weizen wurde mit Parzellentechnik maschinell geerntet. Auch hier wurden TM-Ertrag und N-Gehalt des Korns bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgte mit IBM SPSS Statistics.

Ergebnisse und Diskussion

Beim TM-Ertrag gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Der Bohnenanteil in den Mais-Stangenbohnen-Mischerträgen lag im Mittel bei 18,5% der TM, beim Rohproteinertrag bei 31%. Beim Rohproteingehalt lag Mais im Mittel bei ca. 7%, Stangenbohne bei ca. 14%. Dadurch lag der Rohproteingehalt der Mais-Stangenbohnen-Mischerträge über alle Düngestufen hinweg bei gut 8%, beim Mais im Reinanbau mit zunehmender Düngung leicht ansteigend zwischen etwa 6-8%. Die Rohproteinerträge des Mais-Stangenbohnen-Gemenges waren über alle

Düngestufen hinweg fast gleich, während die des Mais im Reinanbau mit zunehmender Düngung anstiegen. Die Rohproteinträge der Mais-Stangenbohnen-Varianten lagen etwa auf Höhe des Mais im Reinanbau bei 100% Düngung, die 40%-Düngevariante des Mais im Reinanbau lag tendenziell aber nicht signifikant darunter (Abbildung 1).

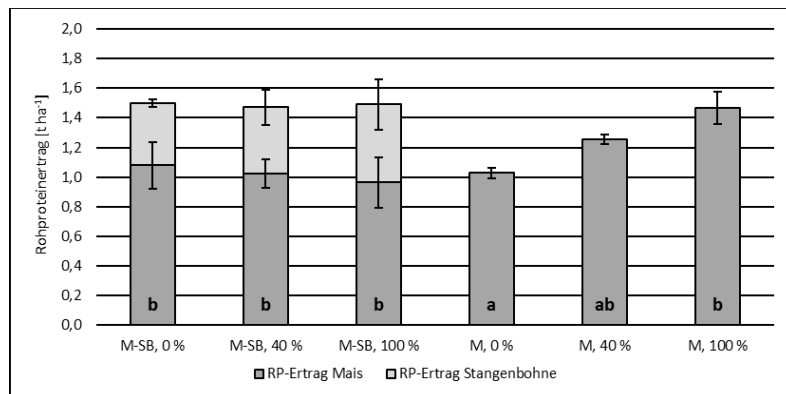


Abb. 1: Rohproteinträge der Hauptkultur in Tachenhausen, 2019.

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Stangenbohnen im Gemenge ihre Fähigkeit zur Symbiose mit luftstickstofffixierenden Knöllchenbakterien nutzen und dadurch die Reduktion der Düngemenge ausgleichen konnten, ohne den Mais als Hauptertragsbildner zu sehr zu beeinträchtigen. Dies zeigt sich sowohl beim TM- als auch beim Rohproteintrag. Parallel durchgeführte Erhebungen auf einem speziell dafür angelegten benachbarten Exaktversuch mit Mais-Stangenbohnen-Gemenge in denselben Düngungsstufen zeigten, dass das Knöllchengewicht und die -anzahl, die als Indikator für die biologische Stickstofffixierung dienen können, entgegengesetzt zur Höhe der Düngemittelgabe waren und die Knöllchenbildung mit zunehmender Düngung später einsetzte.

Die N_{\min} -Gehalte nach dem Mais-Stangenbohnen-Gemenge waren zur Ernte und zu Vegetationsende mit denen des Mais im Reinanbau vergleichbar. Die größten Werte waren unter den 100%-Düngevarianten zu finden. Zu Vegetationsbeginn der Folgekultur lagen alle N_{\min} -Werte in einem sehr geringen Bereich. Ein erhöhtes N-Austragsrisiko nach Mais-Stangenbohnen-Gemenge ist dadurch unwahrscheinlich. Die TM-Erträge der Folgekultur Winterweizen lagen nach Mais-Stangenbohne als Vorfrucht signifikant über denen nach Mais-Reinanbau. Der Unterschied in der N-Abfuhr im Korn des Winterweizens betrug etwa 7 kg N/ha. Dadurch wird ein geringfügiger positiver Vorfruchteffekt des Mais-Stangenbohnen-Gemenges deutlich. Deutlich stärker und ebenfalls signifikant wurde der Weizenertrag von der 100%-Düngevariante der Vorfrucht beeinflusst. Hier betrug der Unterschied in der N-Abfuhr im Korn des Weizens etwa 18 kg N/ha gegenüber den reduzierten Düngevarianten. Dies zeigt, dass der Winterweizen einen Teil des überschüssigen N-Angebots der 100% gedüngten Vorfrucht nutzen konnte. Ein erhöhter N-Austrag ist jedoch hier wahrscheinlich, da der Rückgang der N_{\min} -Werte zwischen Vegetationsende und Frühjahr deutlich größer war als die erhöhte N-Abfuhr im Korn des Winterweizens.

Fazit

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich der Mais-Stangenbohnen-Gemengeanbau in Kombination mit einer reduzierten N-Düngung vor dem Hintergrund einer verschärften Debatte um N-Austragsrisiken als vorteilhaft erweisen könnte, weil er vergleichbare Erträge bei reduziertem N-Austragsrisiko erzielen und damit zu einer höheren N-Effizienz im Maisanbau beitragen kann.

Das Verbundprojekt StaPrax-Regio: N-Stabilisierung in der Düngepraxis - Optimierung durch Regionalisierung auf Basis meteorologisch-edaphischer Parameter

Florian Eißner¹, Enrico Thiel¹, Oliver Spott¹, Falk Böttcher², Denis Assmann²,
Michael Grunert³, Hardy Pundt⁴ und Thomas Kreuter¹

¹SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH / Landwirtschaftliche Anwendungsforschung, Cunnersdorf;

²Deutscher Wetterdienst / Abteilung Agrarmeteorologie, Leipzig

³Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie / Referat 72 Pflanzenbau, Nossen
Hochschule Harz / Geoinformatik, Wernigerode

E-Mail: *Florian.Eissner@skwp.de*

Einleitung

Nach Stickstoff-Düngungsmaßnahmen bestimmen Klima, Wetter und Boden wesentlich das Verlustgeschehen sowie die Verfügbarkeit und Aneignung des gedüngten Stickstoffs. Auch wenn das dynamische Zusammenspiel dieser Faktoren schwer vorhersehbar ist, sind in diesem Kontext doch deutliche Standortspezifika erkennbar. Im neuartigen Forschungsansatz StaPrax-Regio (N-Stabilisierung in der Düngepraxis: Optimierung durch Regionalisierung auf Basis meteorologisch-edaphischer Parameter) wird versucht, sowohl diesbezügliche Schlüsselprozesse als auch die jeweils am besten abgestimmten Düngestrategien und Vorgehensmuster zu identifizieren.

Material und Methoden

Als Basis aller Untersuchungen im Projekt dienen bundesweit etablierte variantenreiche Düngungsversuche (randomisiert und vierfach wiederholt), in denen ammoniumstabilisierte, konventionelle und kombinierte Düngungssysteme gegenübergestellt werden. Die Versuche laufen mit einem kulturspezifisch einheitlichen Design in Winterweizen, Wintergerste und Winterroggen. Insgesamt sind 40 typische Ackerbaustandorte sowie 20 Partner aus Wissenschaft, Länderkammern und Landesämtern, Agrarhandel, Beratung und Agrarwirtschaft in das umfangreiche Programm involviert.

Begleitet werden die Freilandhebungen von Bodenanalysen, Verlustpotenzial- und N-Umsatz-Tests sowie von meteorologischen Aufzeichnungen und Analysen. Aus diesen Erhebungen werden Zusammenhänge und Prognosen abgeleitet, die in neuartige und bestehende Beratungswerkzeuge (Potenzialkarten, Vorhersagetools, Beratungsprogramme) einfließen.

Im Fokus stehen eine verbesserte Integration ammoniumstabilisierter Strategien in die Düngepraxis sowie zielführende Kombinationen mit konventionellen Ansätzen. Es gilt, die vielfach nachgewiesenen Vorteilswirkungen der N-Umsatzsteuerung in puncto Verlustminderung oder Witterungs- und Klimaanpassung stärker als bislang in substantielle und konsistente Effizienzgewinne zu übersetzen.

Ergebnisse und Diskussion

Mit ersten Ergebnissen der Feldversuche sowie der bodenkundlichen und agrarmeteorologischen Auswertungen wird zum Herbst 2021 gerechnet.

Potential for groundwater protection by slightly reduced N-fertilisation rates in a karst aquifer in Lower Saxony

Insa Kühling¹, Mareike Beiküfner², Maria Vergara² and Dieter Trautz²

¹Agronomy & Crop Science, Kiel University; ²Sustainable Agro-Ecosystems, Osnabrück University of Applied Sciences. E-Mail: kuehling@pflanzenbau.uni-kiel.de

Introduction

The demand by the European Water Framework Directive of a good ecological and chemical water quality was not reached all over Germany. Specifically, the groundwater bodies in the north-western part with high livestock densities suffer from nitrate leaching. Since nitrate concentrations $>50 \text{ mg l}^{-1}$ cause problems for drinking water supply, some production areas are protected by special regulations for reduced N-fertilisation strategies. Within the drinking water production area Belm-Nettetal (Lower Saxony, Germany) a project was launched to observe the effects of reduced N-fertilisation on leaching water quality.

Materials and Methods

In 2016 suction cups were installed under a field trial with 3 crops (winter wheat, winter barley, silage maize) and 6 N-treatments (Tab. 1) with 3 replications in a randomised block design.

Tab. 1: Fertiliser treatments with mineral and combined organic+mineral application level (kg N ha^{-1}) or crop specific fertiliser ordinance (FO) N need estimation. *Reduction -10/-20% for cereals/maize.

N level	N type	
0	min	
50	min	
FO	min	org + min
FO reduced*	min	org + min

During the three consecutive winter seasons the leachate water was continuously collected below the root zone and analysed every second week for chemical parameters. Yield estimations were done with an experimental harvester from 30m^2 plots. Before silage maize a phacelia-buckwheat catch crop was grown.

Results and Discussion

Results showed no significant reductions in crop yields with reduced N rates (Fig. 1) and only slight reductions in cereal protein content.

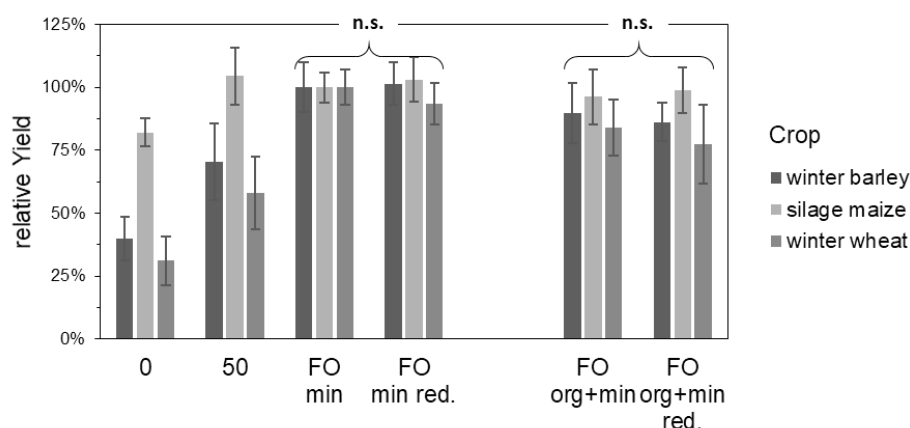


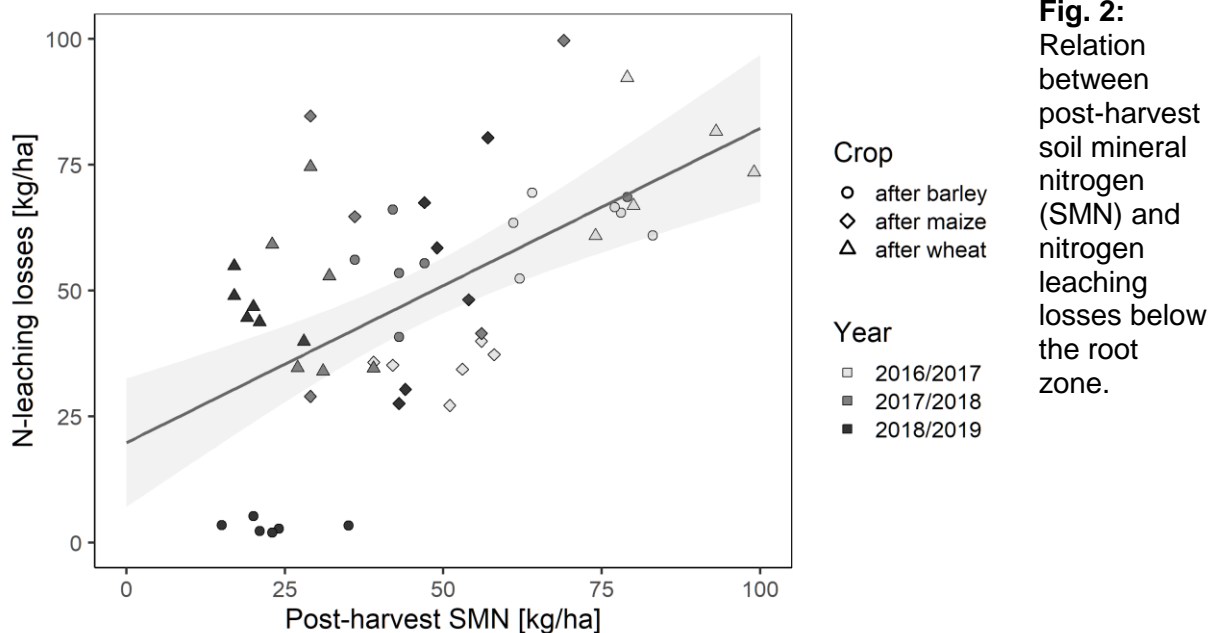
Fig. 1: 3-year average yields as relative values of the standard treatment FO min. SD as error bar. (n.s.: no significant differences within crops between treatments)

Nitrate concentration from reduced N rates was significantly lower in treatments with an application of organic fertilisers with greatest potential after cultivation of maize; in only minerally fertilised plots the effect was smaller (Tab 2).

Tab. 2: Mean effect sizes (ES) for reduced vs. standard N rates after fertiliser ordinance for individual crops and the whole cropping sequence with both N types.

	Nitrate-N-concentration [mg/l]			
	only mineral		organic + mineral	
	ES	95% CI	ES	95% CI
Barley	-3.42	[-18.20; 11.20]	2.32	[-12.60; 17.50]
Maize	-1.12	[-12.20; 7.78]	-16.10*	[-34.60; -3.93]
Wheat	-6.69	[-18.50; 3.05]	-9.44	[-24.00; 1.17]
All	-3.80	[-11.20; 3.50]	-7.74*	[-17.00; -0.16]

Cumulative leaching losses were positively correlated with post-harvest soil mineral nitrogen content (Fig. 2) but even in unfertilised control plots losses >50 kg N ha⁻¹ were observed in some crop-years.



Reduced N rates led to decreased leaching losses of 14% (6.3 kg N ha⁻¹ a⁻¹) with mineral and 29% (20.1 kg N ha⁻¹ a⁻¹) with organic + mineral fertilisation on average over all crops and years. The 3-year experiment revealed the general potential of adapted fertilisation strategies with moderately reduced N applications (-10/-20%) to increase leachate water quality without significantly affecting crop yields. However, regionally typical after-effects from yearlong high N surpluses in livestock intensive farming systems seemed to be limiting factor.

References

Kühling I, Beiküfner M, Vergara M, Trautz D (2021) Effects of Adapted N-Fertilisation Strategies on Nitrate Leaching and Yield Performance of Arable Crops in North-Western Germany. *Agronomy* 11:64. doi: 10.3390/agronomy11010064

Minderung von NH₃-Verlusten und Steigerung der Stickstoffeffizienz beim Einsatz synthetischer Stickstoffdünger (NH₃-Min)

Julian Brokötter¹, Henning Kage¹ und Sina Kukowski²

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung/Christian-Albrechts-Universität, Kiel

²Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig

E-Mail: brokoetter@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Ammoniak (NH₃)-Emissionen aus der Landwirtschaft belasten Umwelt, Klima und die menschliche Gesundheit und verringern die Düngewirkung. Neben der Tierhaltung und der Wirtschaftsdüngeranwendung ist die Ausbringung mineralischer Stickstoffdünger eine wichtige Emissionsquelle (Rösemann et al., 2021). Zur Berechnung von NH₃-Emissionen aus dem Einsatz mineralischer Düngemittel werden im Rahmen des European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) Emissionsfaktoren festgelegt (EMEP/EEA Guidebook, 2019). Diese wurden seit 2003 bereits fünf Mal, teilweise drastisch, novelliert. Dies verdeutlicht, dass noch keine ausreichend verlässliche Basis zur Abschätzung der NH₃-Verluste nach Mineraldüngeranwendung vorhanden ist. Zudem werden in Deutschland erhobene Daten zu NH₃-Emissionen nur sehr eingeschränkt für die Festlegung der Emissionsfaktoren berücksichtigt, da hier eingesetzte Messmethoden international wenig anerkannt sind und Ergebnisse selten in begutachteten Fachjournalen veröffentlicht wurden (Ni et al., 2014). Auch besteht noch Forschungsbedarf zur Bewertung von Maßnahmen zur NH₃-Emissionsminderung und Steigerung der Stickstoffeffizienz. Hierfür stehen mehrere Optionen zur Auswahl. So können etwa ausgewählte Düngemittel, Höhe und Zeitpunkt der Teilgaben angepasst werden. Des Weiteren können Stickstoffdünger zusammen mit Hemmstoffen wie Urease- und Nitrifikationsinhibitoren ausgebracht werden (Gioacchini et al., 2002; Pan et al., 2016). Welche dieser Ansätze für die Produktionsbedingungen in Deutschland geeignet sind, wird in dem Verbundforschungsprojekt NH₃-Min mit insgesamt 12 Partnern aus Forschung und Praxis (koordiniert vom Thünen-Institut für Agrarklimaschutz) in unterschiedlichen Anbauregionen untersucht. Dieser Beitrag soll das Untersuchungskonzept, welches am Standort „Nord“ (Kiel) eingesetzt wird, vorstellen.

Die Ziele des Projektes sind, (i) gesicherte Informationen über die Höhe von NH₃-Verlusten in Abhängigkeit von Düngeform, Standort, Ausbringungstechnik und -zeitpunkt zu erheben, (ii) unterschiedliche Maßnahmen zur Reduktion von NH₃-Emissionen, hinsichtlich der Emissionsmengen, Stickstoffeffizienz und Ertragswirksamkeit zu bewerten (Einsatz von Harnstoff-Hemmstoff-Mischdüngern) und (iii) verschiedene parzellentaugliche Methoden zur NH₃-Emissionsmessung zu vergleichen. Weiterhin sollen die Ergebnisse des Projektes für eine modellgestützte Regionalisierung verwendet werden, um unterschiedliche Düngestrategien mit Fokus auf die Emissionsminderung und Stickstoffeffizienz zu evaluieren und die Erkenntnisse in die landwirtschaftliche Praxis und Beratung zu transferieren.

Die Förderung erfolgt aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank.

Material und Methoden

Zum Erreichen dieser Ziele wurden 2021 dreijährige Parzellenversuche mit unterschiedlichen Düngevarianten im Winterweizen (RGT Reform A) angelegt. Folgende Varianten werden am Standort „Nord“ in replizierten Kleinparzellen (9 x 9 m) untersucht: Granularer Harnstoff (HS), Kalkammonsalpeter (KAS), Ammonium-Nitrat-HS-Lösung (AHL), Ammoniumsulfat-HS (ASH), HS mit Ureaseinhibitor (HS+UI), AHL mit Ureaseinhibitor (AHL+UI) sowie HS mit Urease- und Nitrifikationsinhibitor (HS+UI+NI). Zwischen den gedüngten Parzellen wurden Schutzparzellen mit Nitratdüngung eingerichtet, um Randeffekte zu vermeiden. Die Düngemenge im ersten Jahr (2021) betrug am Standort „Nord“ 60/70/60 kg N/ha zu drei Applikationszeitpunkten (April/Mai/Juni). Anschließend wurden die NH₃-Emissionen über einen Zeitraum von etwa zwei Wochen erhoben. Zur Erfassung der NH₃-Emissionen kamen unterschiedliche Messverfahren zum Einsatz: Kammermethode (Dräger-Tube-Methode/DTM), Passivsammler (Säurefallen, Alpha-Sampler), mikrometeorologische Messverfahren (Leuning-Sampler). Die mikrometeorologische Methode dient als Referenz und wurde auf einer separat angelegten Kreisparzelle (20 m Radius) mit Harnstoffdüngung eingesetzt, um die Ammoniakflüsse in unterschiedlichen Höhen zu evaluieren. Während jeder Messkampagne wurden die Passivsammler und Leuning-Sampler täglich ausgetauscht und die DTM wurde an fünf Zeitpunkten je Tag eingesetzt, um die Tagesverläufe der NH₃-Emissionen nachvollziehen zu können. Begleitend zu den NH₃-Messungen wurden Bodenproben des Ap-Horizontes zur N_{min} und pH-Wert Bestimmung erhoben, Bestandesparameter aufgenommen und kontinuierlich Wetterdaten aufgezeichnet.

Literatur

- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (2019): Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report, No. 13/2019
- Gioacchini, P.; Nastri, A.; Marzadori, C.; Giovannini, C.; Antisari, L. V.; Gessa, C. (2002): Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. *Biology and Fertility of Soils* 2002, 36, 129-135.
- Ni, K.; Pacholski, A.; Kage, H. (2014): Ammonia volatilization after the application of urea to winter wheat over 3 years affected by novel urease and nitrification inhibitors. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2014, 197, 184-194.
- 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. Thünen Report 84. Johann Heinrich von Thünen-Institut,
- Pan, B.; Lam, S. K.; Mosier, A.; Luo, Y.; Chen, D. (2016): Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: A global synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2016, 232, 283-289.

P utilisation capacity of forage legumes from recycling products

Yue Hu^{1,2}, Klaus J. Dehmer¹, Evelin Willner¹, Silvia Bachmann-Pfabe¹
und Bettina Eichler-Löbermann²

¹Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), Gene Bank, Satellite Collections North, Malchow; ²University of Rostock, Agronomy and Crop Science, Rostock.
E-Mail: yue.hu@uni-rostock.de

Introduction

Improving phosphorus (P) efficiency is a main task in sustainable agriculture and many studies have shown that P recycling products have the potential to improve soil P availability and crop growth. Furthermore, P-efficient crops can also be cultivated to enhance the P efficiency. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.) are both herbaceous perennial legumes and widely cultivated as forage crops. Several studies regarding the effects of manure and sewage sludge on alfalfa and red clover showed a general positive effect in respect of improving plant growth and nutrient supply (Basso and Ritchie, 2005; Zheljazkov *et al.*, 2006). However, results on intraspecific efficiency of accessions of alfalfa and red clover in utilising P are widely unknown. The objectives of this study are to 1) compare the P efficiency of different accessions of alfalfa and red clover, 2) explain differences in interspecific and intraspecific P efficiency and 3) assess the ability of alfalfa and red clover to utilise P from recycling products.

Material and methods

In a preliminary experiment in 2019, 147 accessions of alfalfa and 120 of red clover, were cultivated for the selection of accessions suitable for this study. Eight accessions each of alfalfa and red clover were then selected based on parameters including geographic origin of the plant material, sample status, plant P content, and maturity group (Table 1). More information of the accessions studied is available at the homepage of National Inventory on Plant Genetic Resources in Germany (PGRDEU, 2021).

Table 1. Geographic origin, sample status (SAMPSTAT) and plant P content of selected accessions of alfalfa and red clover.

Alfalfa				Red clover			
Accession	Origin	SAMPSTAT	Plant P content (mg 100 g ⁻¹ dry mass)	Accession	Origin	SAMPSTAT	Plant P content (mg 100 g ⁻¹ dry mass)
LE2812	YEM	300	429	LE1731	KGZ	300	395
LE2368	FRA	500	412	LE1423	FIN	400	367
LE2370	DNK	500	394	LE1391	GBR	200	356
LE2521	DEU	500	380	LE2750	HRV	100	343
LE713	ROU	500	303	LE1599	DEU	300	317
LE888	DEU	500	291	LE1775	RUS	100	298
LE2669	ROU	300	252	LE1804	SUN	999	283
LE2511	FRA	500	244	LE1937	DEU	100	272

Origin: Country codes according to ISO 3166; SAMPSTAT:100 = wild; 200 = weedy; 300 = traditional cultivar / landrace; 400 = breeding / research material; 500 = advanced or improved cultivar; 999: other.

The field trial was conducted on a long-term experiment field at Rostock University, which is arranged in a randomised split-plot design with four blocks as replications. Three organic fertilisers formed the main plots, while the inorganic fertilisers formed the subplots. Six of a total nine fertiliser treatments were used in this study: control (no P), triple superphosphate (TSP), biomass ash (ash), cattle manure (manure), biowaste compost (compost), and a combined treatment with compost+TSP. Seeds of selected accessions were sown in April 2020. Aboveground biomass was harvested in July and September 2020. The P concentration of the plant samples was measured after dry-ashing using the vanadate-molybdate method (Page *et al.*, 1982). Plant P uptake was calculated as the product of plant P concentration and dry mass. Soil samples were taken after the second harvest and sieved (2 mm) after air-drying. The plant available P was given as the double lactate soluble P content (Pdl) in soil, which was determined by using the method of Hoffmann (1991).

Result and discussion

The average P uptake (sum of both harvest) of red clover (12.9 kg ha^{-1}) was slightly but significantly higher than that of alfalfa (12.3 kg ha^{-1}) ($P < 0.05$). Phosphorus supply resulted in raised P uptake of the crops, where organic fertilisers had higher P uptake than inorganic ones: compost+TSP (15.1 kg ha^{-1}) \geq compost (15.1 kg ha^{-1}) $>$ manure (13.3 kg ha^{-1}) $>$ TSP (12.0 kg ha^{-1}) \geq ash (11.9 kg ha^{-1}) $>$ no P (10.3 kg ha^{-1}) ($P < 0.05$). Differences regarding the plant P uptake were also found between accessions, but there were no significant interactions between the fertiliser treatments and the accessions. The Pdl content in soil was higher after cultivation of red clover (48.8 mg kg^{-1}) than after alfalfa (42.2 mg kg^{-1}) ($P < 0.05$), but between the accessions no differences could be measured. The P supply had a clear effect on the P availability in soil and the Pdl contents followed a similar order as the plant P uptake: compost+TSP (63.9 mg kg^{-1}) $>$ compost (55.2 mg kg^{-1}) $>$ manure (44.3 mg kg^{-1}) $>$ ash (40.7 mg kg^{-1}) \geq TSP (38.2 mg kg^{-1}) $>$ no P (31.5 mg kg^{-1}). As the Pdl content in soil was not affected by the accessions but the cultivars of alfalfa (12.8 kg ha^{-1}) had higher average P uptake than landraces (10.9 kg ha^{-1}), it can be assumed that cultivars of this species are more efficient in using less available P pools in soil than the landraces. For red clover, however, a landrace (LE1731) was found to have a high P uptake. To verify the results and to consider the effects of the ongoing development of these perennial crops, the P nutrition of both species will be investigated again in 2021.

References

- Basso, B. and Ritchie, J. T. (2005). Impact of compost, manure and inorganic fertiliser on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 108, 329-341.
- Hoffmann, G (1991). *Die Untersuchung von Böden*, VDLUFA-Methodenbuch, 4 Aufl. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Homepage of National Inventory on Plant Genetic Resources in Germany. Retrieved May 31, 2021 from <https://pgrdeu.genres.de/index.php/exsitu/suche>.
- Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (1982). *Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbial Properties*, 2nd edn. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Zheljzkov, V., Astatkie, T., Caldwell, C., Macleod, J., & Grimmett, M. (2006). Compost, manure, and gypsum application to timothy/red clover forage. *Journal of environmental quality*, 35 6, 2410-8.

Effekte unterschiedlicher P-Dünger auf den Futterwert von Klee-grasgemengen

Jürgen Müller¹, Raike Liermann¹, Barbara Mahnke¹ und Lisa Dittmann²

¹Universität Rostock; Grünland & Futterbauwissenschaften ²Universität Rostock; Geodäsie & Geoinformatik, Rostock. E-Mail: juergen.mueller3@uni-rostock.de

Einleitung

Während die Effekte des Stickstoffs auf den Futterwert von Gras- und Klee-grasgemengen vielfach untersucht und hinlänglich bekannt sind (Frame & Boyd 1987; Clavin *et al.* 2017), können die komplexen Wirkungen der P-Düngung auf die nutritiven Parameter des Futterwertes von Klee-grasbeständen noch nicht zufriedenstellend abgeschätzt werden. Das kann neben dem unterschiedlichen Ausmaß der P-Limitierung auf den unterschiedlichen Klee-grasstandorten auch an der divergierenden physiologischen Reaktion der einzelnen funktionellen Gruppen eines Futterbestandes auf die P-Düngung liegen (Stroia *et al.* 2010). Im Laufe der Bestandesentwicklung vermag die P-Düngung darüber hinaus auch ihrerseits Einfluss auf die Bestandeszusammensetzung zu nehmen und somit den Futterwert indirekt zu beeinflussen. Es ist darüber hinaus zu vermuten, dass von der Art des P-Düngers sowie von den Wechselwirkungen der P-Düngung mit der Art des legumen Gemengepartners ebenfalls Effekte ausgehen, welche die Parameter des Futterwertes mit beeinflussen. Mit dieser Studie soll ein Beitrag zur Aufdeckung der komplexen Effekte der P-Düngung auf den Futterwert von Klee-grasbeständen geleistet werden.

Material und Methoden

Als Grundlage der Untersuchungen dienten zwei 3-jährige Feldversuche auf P-defizitären Böden (P-Gehaltsstufe A) mit den Faktoren ‚Art der P-Düngung‘ und ‚Art des legumen Mischungspartners‘. Verschiedene P-Dünger sind neben einer 0-P-Kontrolle in einer Aufwandmenge von einheitlich 40 kg/ha im Frühjahr jedes Versuchsjahres appliziert worden (Einzelheiten siehe Kapitel 6.2. in Mahnke *et al.* 2017). Die Parzellen wurde 3-mal pro Hauptnutzungsjahr geschnitten, repräsentativ beprobt, die Proben bei 55°C getrocknet, auf 1mm Siebweite vermahlen und mittels Nahinfrarot-Reflexionsspektroskopie auf die Prüfmerkmale des nutritiven Futterwertes hin untersucht. Die Bemessung der Einflüsse der Prüffaktoren auf die Parameter der Futterqualität erfolgte mittels Gemischter linearer Modelle und nachfolgender Varianzanalyse (LMM – ANOVA). Dabei gingen die Faktoren und deren Wechselwirkungen als fixe Effekte sowie der Aufwuchs und das Versuchsjahr als zufällige Effekte in die Modelle ein. Zusätzlich erfolgte die Aufdeckung der Wirkungspfade der die Qualitätsparameter beeinflussenden Variablen mittels Pfadkorrelationsanalysen.

Ergebnisse und Diskussion

Sowohl die Art des P-Düngers ($p < 0,001$) als auch die Leguminosenart ($p < 0,001$) beeinflussten den Leguminosenanteil innerhalb der geprüften Gemenge mit identischen Graspartnern hochsignifikant. Es war keine Wechselwirkung zwischen der Art des P-Düngers und der Leguminosenart ($p = 0.848$ n.s.) auszumachen, so dass es keinen Grund zur Annahme gibt, dass bestimmte Phosphordüngerarten für einzelne Leguminosen besonders geeignet oder aber abzulehnen wären. Obwohl die

P-Düngung den Leguminosenanteil nachweislich erhöhte, schlug sich dies nicht, wie gemeinhin postuliert, in generell höheren Rohproteingehalten nieder ($p=0.848$ n.s.). Während im Falle des Weißklee zumindest die Tendenz der Zunahme des Proteingehaltes mit zunehmendem Kleeanteil im 1. und im 3. Aufwuchs zu verzeichnen war (siehe Abb. 1), garantierten höhere Hornkleeanteile keine höheren Futterwerte. Die Ergebnisse tragen zu einem umfassenderen Verständnis der P-Effekte auf die Herausbildung der Qualitätsparameter in Klee-grasgemengen bei.

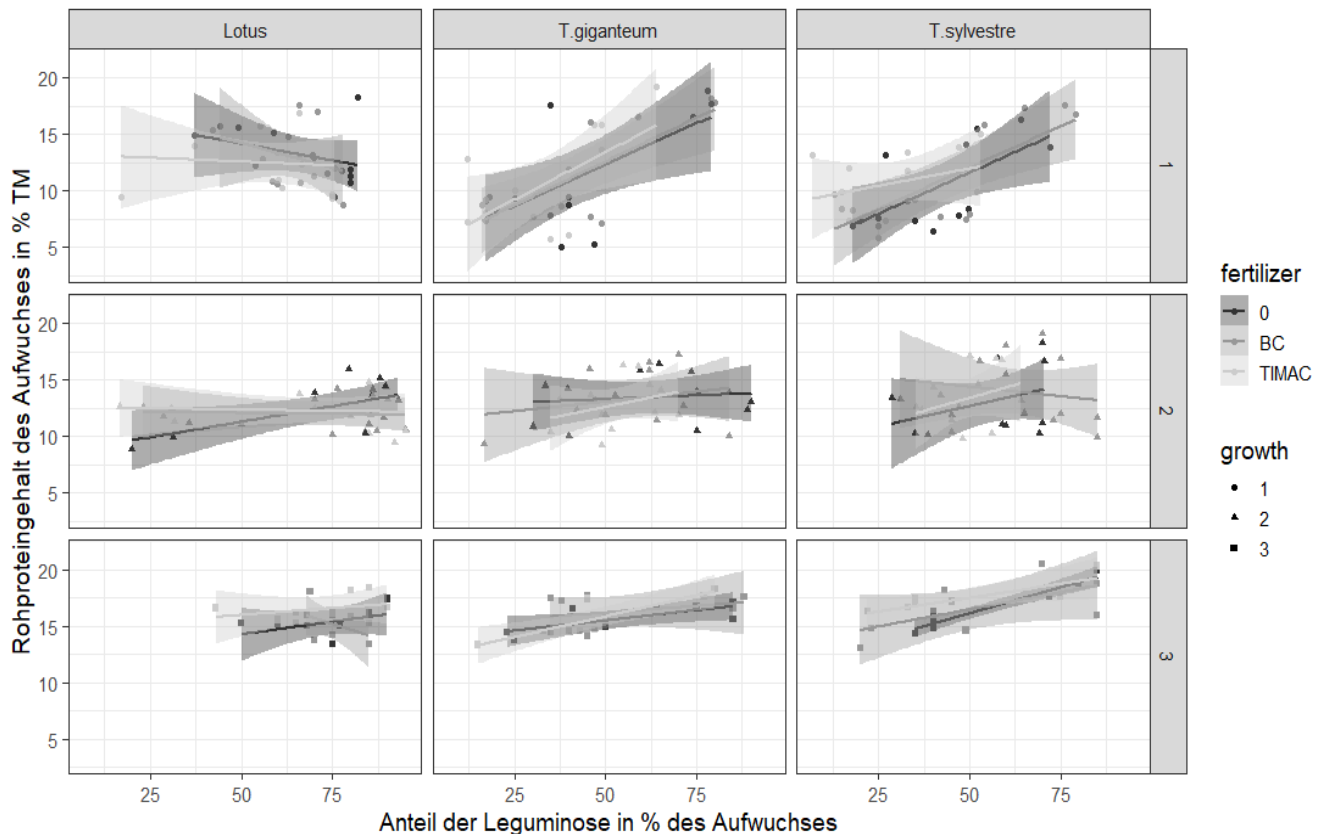


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Leguminosenanteilen im Gemenge und dem Rohproteingehalt in Abhängigkeit vom legumem Gemengepartner und der P-Düngung in den drei Aufwüchsen (growth) (Lotus=Hornklee, T.giganteum=Großblättriger Weißklee, T.sylvestre=Kleinblättriger Weißklee)

Literatur

- Clavin, D., Crosson, P., Grant, J. and O'Kiely, P. (2017) Red clover for silage: management impacts on herbage yield, nutritive value, ensilability and persistence, and relativity to perennial ryegrass. *Grass Forage Sci*, 72: 414-431. <https://doi.org/10.1111/gfs.12249>
- Frame, J. and Boyd, A.G. (1987) The effect of fertilizer nitrogen rate, white clover variety and closeness of cutting on herbage productivity from perennial ryegrass/white clover swards. *Grass and Forage Science*, 42: 85-96. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1987.tb02094.x>
- Mahnke, B., Korpatsch, D., Erlinghagen, R., Wrage-Mönnig, N. and Müller, J. (2017) Rolle des Phosphors als Steuerungsgröße des Stickstoffertrages und der Phytodiversität ökologisch bewirtschafteter Dauergrünlandbestände. Abschlussbericht, 133 S., <https://orgprints.org/id/eprint/32078/>
- Stroia, C., Jouany, C., Lecloux, E., Arsene, G., Neacsu, A., Sarateanu, V. and Stroia, M. (2010) Influence of leguminous fractions on iN and iP index. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 42: 320-323.

Productivity of intercropped faba bean and fodder beet under variable phosphorus fertilizer rates

Shaalan, A.M.

Faculty of Desert and Environmental Agriculture, Matrouh University, Egypt.

E-Mail: ahmedmahgoub@mau.edu.eg

Introduction

Fodder beet (*Beta vulgaris* L.), a winter forage crop in Egypt, cannot compete with the prevailing berseem clover. Consequently, fodder beet cannot be established in the crop rotation except through intercropping with other winter crops such as faba bean. Faba bean and fodder beet as intercropping components are considered expedient for intercropping where faba bean has deeper root system, compared to fodder beet, hence they complement each other in the uptake of growth resources. In addition, faba bean, as a legume crop, needs large quantities of phosphorous as a source of energy for nitrogen fixing symbiosis. Phosphorus (P_2O_5), a necessary nutrient for plants, is a major factor for crop production. Its excessive use has resulted in its low use efficiency (Wang et al., 2017). To increase P_2O_5 use efficiency, it is necessary to mitigate the negative impacts associated with its intensive use (Zhang et al., 2011). Arrival at that approach can be achieved through intercropping as a way of agricultural intensification (Xiaoa et al., 2018).

Materials and methods

A field study was carried out in the winter seasons of 2017/2018 and 2018/2019 at Fuka Research Station, Faculty of Desert and Environmental Agriculture, Matrouh University, Matrouh Governorate, Egypt (North West Coast of Egypt, N= 31 ° 04 ', E= 27 ° 54 ') to study the performance of intercropped fodder beet and faba bean and to estimate the yield advantage of intercropping the two crops together under three levels of phosphorus fertilizer applications. A split plot design, with three replications, was used in both seasons, where the three P_2O_5 rates ($P_1= 36$, $P_2= 54$ and $P_3= 72$ Kg P_2O_5 ha⁻¹) occupied the main plots and the three plant densities (21000, 42000 and 63000 plants ha⁻¹ of faba bean), were assigned to the sub plots.

Results and discussion

Effect of phosphorus fertilizer rate:

Results revealed that increasing the P_2O_5 rate, progressively increased the faba bean number of branches per plant, and seed yield (t ha⁻¹) for both seasons. The highest significant number of branches and seed yield were reached with the application of 72 kg P_2O_5 ha⁻¹. Similarly, increasing the P_2O_5 rate, significantly increased the fodder beet shoot and root fresh weight for the two growing seasons (Table 1).

Effect of faba bean plant density:

Faba bean number of branches per plant decreased by increasing the faba bean plant density in 2018, while in 2019, the highest and lowest plant densities resulted in the highest significant number of branches. During both seasons, seed yield increased by increasing the plant density. On the other hand, increasing faba bean plant density negatively affected the fodder beet shoot and root fresh weights, with the highest values for both parameters achieved with the low and intermediate faba bean plant densities (Table 1).

The gradual increase in faba bean and fodder beet could be explained by the stimulatory effect of more uptake as phosphorus application increased and nitrogen fixation by faba bean that did benefit both faba bean and fodder beet leading to more vigorous plant growth representing in increasing values of their traits under study (Gatibrni et al 2007 and Liao et al 2021).

Table 1: Mean values for faba bean number of branches per plant and seed yield (t ha^{-1}), and fodder beet shoot and root fresh weights (t ha^{-1}), as affected by phosphorus rate and plant density in 2018 and 2019 growing seasons.

Treatments	Faba bean		Fodder beet	
	Number branches/plant	Seed yield (t ha^{-1})	Shoot fresh weight (t ha^{-1})	Root fresh weight (t ha^{-1})
2018 season				
Phosphorus rate (kg ha^{-1})				
36	1.64 c	1.19 c	7.69 c	32.11 b
54	1.90 b	1.25 b	8.68 b	35.99 b
72	2.18 a	1.36 a	10.00 a	41.11 a
LSD 0.05	0.18	0.04	0.74	4.95
Plant density (plants ha^{-1})				
21000	2.02 a	0.86 c	8.66 a	38.03 a
42000	1.76 b	1.11 b	7.89 ab	34.51 ab
63000	1.71 b	1.43 a	6.79 b	29.78 b
LSD 0.05	0.07	0.03	1.47	4.88
2019 season				
Phosphorus rate (kg ha^{-1})				
36	1.65 c	1.12 c	7.95 c	35.17 c
54	1.83 b	1.22 b	8.91 bc	39.22 b
72	2.10 a	1.34 a	9.93 a	45.16 a
LSD 0.05	0.06	0.05	1.52	2.50
Plant density (plants ha^{-1})				
21000	1.87 a	0.81 c	8.22 a	40.23 a
42000	1.79 b	1.14 b	8.33 a	38.91 ab
63000	1.91 a	1.33 a	7.09 b	33.41 b
LSD 0.05	0.05	0.03	0.80	5.88

References

- Liao, Dan; Chaochun Zhang; Hans Lambers and Fusuo Zhang. 2021 Changes in soil phosphorus fractions in response to long-term phosphate fertilization under sole cropping and intercropping of maize and faba bean on a calcareous soil. *Plant and Soil* volume 463, pages 589–600
- Wang Meng; Lichun Wang; Zhenling Cui; Xinping Chen; Jiagui Xie and Yunpeng Hou. 2017. Closing the yield gap and achieving high N use efficiency and low apparent N losses. *Field crop research*. 209, 39-46
- Xiaoa, Jingxiu; Xinhua Yinb; Jiabing Rena; Mengyao Zhanga; Li Tanga; Yi Zheng. 2018. Complementation drives higher growth rate and yield of wheat and saves nitrogen fertilizer in wheat and faba bean intercropping. *Field crop research*. 221, 119-129.
- Zhang, Junling; Haigang Li; Zhaohai Bai; Xinping Chen; Weifeng Zhang and Fusuo Zhang 2011. Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. *Plant Physiology*, Vol. 156, No. 3, pp. 997-1005.

Einfluss einer Schwefeldüngung zu Klee gras auf Pflanzengehalte, Leguminosenanteil und Ertrag auf einem trockenen Sandstandort

Titze, A.¹ und Gruber, H.²

¹Institut für Pflanzenbau und Betriebswirtschaft, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, 18276 Gülzow-Prüzen; ²18276 Gülzow-Prüzen, Seestraße 5, E-Mail: a.titze@lfa.mvnet.de

Einleitung

Erhebungen in Landwirtschaftsbetrieben in Mecklenburg-Vorpommern (MV) haben ergeben, dass auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen der S-Gehalt im Boden mit weniger als 5 kg Smin/ha (0 - 30 cm) oft sehr gering ist. Obwohl bereits Erkenntnisse zur S-Düngung vorlagen, waren Auswirkungen auf einen trockenen Sandstandort bisher nicht bekannt. Daher wurde an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV am Standort Gülzow zu Klee gras der Einfluss verschiedener S-Dünger auf Boden-, Pflanzengehalte, Leguminosenanteil und Ertrag getestet. Ziel waren Informationen für Landwirte zu Düngerart, -Menge und Ausbringungstermin.

Material und Methoden

Von 2013-2015 wurde in einem Klee grasbestand (Blockanlage, 4 Wdhlg.) nach der Frühjahrsblanksaat 30 kg/ha Schwefeldünger (Kieserit, Calciumsulfat) ausgebracht. Ab 2016 wurde der Versuch in Düngermenge (30 + 60 kg/ha), Düngerart (Kieserit, Schwefellinsen) und Ausbringungszeitpunkt (Ansaat- und Hauptnutzungsjahr) modifiziert. Vor der Düngung wurde der Smin-Gehalt (Bohrstock, 0-30 cm Tiefe), während der Vegetation der S-Gehalt im Aufwuchs (VDLUF A III 10.8.3) und der Leguminosenanteil bestimmt. Boden- und Pflanzenanalysen erfolgten varianten-, die Schätzung der Leguminosenanteile und die Ertragsermittlung parzellenweise. Leguminosenanteil und TM-Ertrag wurden mittels f- und t-Test verrechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Insbesondere eine Düngung mit Kieserit hinterliess im Ansaatjahr in der Regel höhere Smin-Gehalte im Boden. Nur vereinzelt wirkte sich die Düngung im Ansaatjahr noch auf die Höhe der Gehalte im Hauptnutzungsjahr aus. Effekte der zweimaligen Düngung und der höheren Düngermenge konnten bisher nicht durchgängig nachgewiesen werden. Von einem vergleichbaren Ergebnis nach der Düngung eines Luzerne-Klee grasbestandes mit Bittersalz bzw. Calciumsulfat berichten auch Fischinger et al. (2011). Am Standort Gülzow waren nach Düngung mit Schwefellinsen die Werte im Hauptnutzungsjahr nur im sehr feuchten Frühjahr 2018 erhöht. Die S-Gehalte in der Pflanze konnten durch Düngung mit Kieserit zwar erhöht werden, lagen aber auch in den Varianten mit zweimaliger Düngung und höheren Düngermengen häufig unter dem Zielwert von 2 g/kg Trockenmasse. Die Schwefellinsen hatten keinen Einfluss auf die Höhe der S-Gehalte in den Aufwüchsen. Die Leguminosenanteile konnten in einzelnen Schnitten durch Kieseritdüngung nahezu verdoppelt werden. Während die Anteile bei einer einmaligen Kieseritdüngung im ersten Versuchszyklus nur um knapp 30 % anstiegen, erhöhten sie sich bei zweimaliger Düngung im zweiten Zyklus um über 60 %. Minimale Effekte konnten nach Düngung mit Schwefellinsen im Herbst erst im folgenden Hauptnutzungsjahr festgestellt werden. In allen Düngungsvarianten folgten

die Leguminosenanteile in den Aufwüchsen dem Jahresverlauf der Variante ohne Düngung. Durch Kieseritdüngung erhöhten sich die Trockenmasseerträge in normalen Jahren um knapp 20 % (in einzelnen Jahren auch signifikant), unabhängig davon ob nur im Ansaat- oder auch im Hauptnutzungsjahr gedüngt wurde. Nur im sehr feuchten Ansaatjahr 2017 und dem folgenden Hauptnutzungsjahr 2018 kam die zweimalige Düngung deutlich zum Tragen. In zwei Versuchsjahren konnte zwischen den Kieseritmengen kein Unterschied festgestellt werden. Fischinger et al. (2011) und Riffel et al. (2015) konnten auf einem Gunststandort auch mit Schwefelgaben von bis zu 60 kg/ha den Ertrag eines Klee grasbestandes deutlich steigern. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch Böhm (2013), auch bei längerer Standzeit der Bestände. Eigene Ergebnisse zeigen, dass höhere Trockenmasseerträge immer stark mit höheren Leguminosenanteilen korrespondierten, sodass diesbezügliche Erwartungen im Laufe der Untersuchungen bestätigt wurden.

Literatur

Riffel A Becker K U & Leithold G (2015) Bemessung einer Schwefel-Düngung in einem Luzerne-Klee gras-Bestand im 2. Hauptnutzungsjahr. In: Häring A M Hörning B Hoffmann-Bahnsen R Luley H Luthardt V Pape J & Trei G (Hrsg.) Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, Eberswalde, Verlag Dr. Köster Berlin: 284-286.

Fischinger S A. Becker K & Leithold G (2011) Auswirkungen unterschiedlicher S-Versorgungszustände auf den N-Flächenertrag eines Luzerne-Klee grasbestandes. In: Leithold G Becker K Brock C Fischinger A K Spiegel K Spory K Wilbois K-P & Williges U (Hrsg.) Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, Gießen, Verlag Dr. Köster Berlin: 183-184.

Böhm H (2013): Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf den Ertrag und die Nährstoffzusammensetzung eines Klee grasbestandes. In: Neuhoff D Stumm C Ziegler S u.a. (Hrsg.) Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, Bonn, Verlag Dr. Köster Berlin: 216-219

Direct N₂O emissions from the cultivation of energy crops: How large are the estimates from different model approaches?

Rima Rabah Nasser¹, Dorothee Neukam¹, Rene Dechow², Jarno Rouhiainen²
and Henning Kage¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abt. Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. E-Mail: rabah-nasser@pflanzenbau.uni-kiel.de

²Institut für Agrarklimaschutz, Thünen-Institut Braunschweig.

Introduction

The production of bioenergy crops contributes to the reduction of the overall greenhouse gasses emissions. However, GHGs are also generated from the cultivation of biofuel crops, especially Nitrous Oxide (N₂O) which is a decisive GHG contributor to the global warming. The reduction of N₂O emissions is a key factor for the mitigation of global warming in general, and when the cultivation of biofuel crops is considered, it is very important in order to reach a negative emission balance. Therefore, the quantification and estimations of these emissions is highly important. However, nitrous oxide fluxes vary greatly spatially and temporally, and they are greatly influenced by a wide range of factors like soil NH₄ and NO₃ content, soil water content, pH, soil texture and temperature etc... Modeling approaches to estimate N₂O emissions are considered as a good alternative to time consuming and expensive measurement methods. Nevertheless, the complexity associated with the production of N₂O has led to great uncertainty in models developed to quantify and estimate these emissions. The basis for determining the national emissions is still the estimate from the linear IPCC emission factor (Tier 1), which assumes that 1% of total N input is directly emitted as N₂O. and it does not consider local management and environmental conditions. These factors were better considered in the GNOC (The Global Nitrous Oxide Calculator) (Köble 2014) in which the IPCC (2006) Tier 1 single emission factor for the fertilizer induced emission is disaggregated (Tier 2) based on the exponential model developed by Stehfest and Bouwman (2006). Process based models like HUME, as a Tier 3 approach, are described to be more accurate, while the interactions of specific site and environmental conditions are better considered. However, a big set of input data, calibration and validation are needed.

Materials and Methods

In this study, the models IPCC (2006) and GNOC were used to predict direct N₂O emissions from the cultivation of the bioenergy crops wheat, maize and oilseed rape in different sites in Germany (23 sites). The data were collected from finished projects which investigated a wide range of treatments (N fertilizer amount and form, soil management practices, nitrification inhibitors etc..). The calculation methods of IPCC and GNOC were implemented in the R programming environment. For the calculation of annual cumulative N₂O emissions a linear interpolation for the daily fluxes is made and cumulated for the period from 1st January until 31st December for wheat and maize and for oilseed rape from sowing date until 31st December next year and calculated then to one year.

Results and Discussions

The measured cumulative direct N_2O emissions showed a great variation between the studied sites, years, treatments and biofuel crop investigated.

Higher magnitude of emissions was generally observed in sites where the soil contains high amounts of clay (for example in Merbitz) in comparison to those sites with sandy soils. Similarly, the emissions were increased with increased rainfall and higher nitrogen fertilization levels. The first results of the calculations with both IPCC and GNOC models have indicated that in most cases the estimated emissions were considerably higher than those measured (Figure 1). However, there were situations, in which, the estimations of both models were close or even lower (like that in Merbitz- see Figure 1) to those measured.

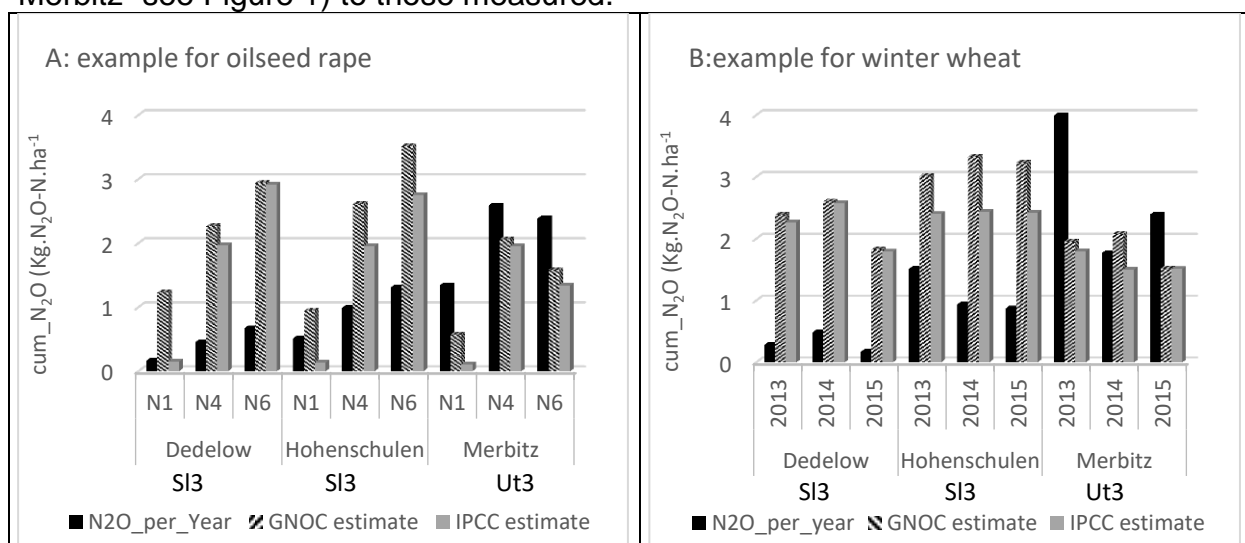


Figure 1. Direct measured and with IPCC and GNOC estimated N_2O emissions in two examples: **A- oilseed rape** in 3 sites (Merbitz, Hohenschulen and Dedlow) under different N fertilizer forms and levels: (**N1: no fertilizer, N4: 180 Kg N.ha⁻¹ mineral fertilizer, N6:180 kg NH₄-N from digested residues in the year 2014**), S13 and Ut3 are the soil types in the sites mentioned.

B- Winter wheat after oilseed rape in the sites mentioned above under the N4 treatment in the years 2013 to 2015.

Many factors can contribute to this high variation in the estimation such as climate and soil properties, crop specific parameter, crop residues removal and others.

First observations did not show a great difference in the estimations of the two models, however concrete conclusions can only be drawn after a considerate analysis is made.

Due to time constrains, estimations from the model HUME will be later presented.

References

- IPPC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- Köble, R. 2014. The Global Nitrous Oxide Calculator - GNOC - Online Tool Manual (<http://gnoc.jrc.ec.europa.eu/>), Version 1.2.4 (27-May-2012). JRC Technical Reports. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport.
- Stehfest, E. and Bouwman, L. (2006) N_2O and NO Emission from Agricultural Fields and Soils under Natural Vegetation: Summarizing Available Measurement Data and Modeling of Global Annual Emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74, 207-228.

Langzeitwirkung des Einsatzes von Gärresten in der Monokultur Mais

Jana Peters

Institut für Pflanzenbau und Betriebswirtschaft/Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Gülzow-Prüzen

Einleitung

Mais ist eine wichtige Grundfutterbasis für die Rinder haltenden Betriebe und ein bevorzugtes Kosubstrat für Biogasanlagen. Die hervorragende Eignung resultiert aus hohen Trockenmasseerträgen je Flächeneinheit und der relativ hohen Energieausbeute, gekoppelt mit einem gut beherrschten Produktionsverfahren. Die starke Nachfrage beider Produktionslinien führte im Lande allerdings zu einem hohen Maisbedarf und damit zur Veränderung im Produktionsumfang. In Mecklenburg-Vorpommern nehmen zum jetzigen Zeitpunkt die Maisanbauflächen einen Umfang von ca.15% der Ackerfläche ein. Probleme ergeben sich aus der punktuellen Überlastung durch Mais-Monokultur. Sie bringt nicht nur eine Humuszehrung mit sich, sondern die hohe Biomasseabfuhr mit dem Erntegut führt zusätzlich zu massiven Nährstoffentzügen. Um der guten fachlichen Praxis Rechnung zu tragen, sollte daher auf ausgeglichene Bilanzen in allen Bereichen (Humus- und Nährstoffsalden) geachtet werden.

Eine Möglichkeit zur Umsetzung dieser Anforderung besteht in der Verwendung betriebsinterner Wirtschaftsdünger. Dank verbesserter Ausbringungstechnik und Prozesssteuerung ist insbesondere der Einsatz von Gärresten unkomplizierter und effektiver als noch vor wenigen Jahren. Für den Einsatz von Gärresten spricht die kostenarme Versorgung des Bestandes mit Phosphor, Kalium und Magnesium. Es stellt sich jedoch die Frage, ob die basierend auf der Stickstoffbedarfsanalyse ausgebrachten Düngermengen für die komplette Abdeckung des Grundnährstoffbedarfes und den Ausgleich der Humusbilanz ausreichen.

Material und Methoden

Basis für die Prüfung im Feldversuch mit Mais in Monokultur waren drei definierte Stufen der N-Düngung (Tabelle 1). Die Stickstoffversorgung wurde dabei prüfgliedunabhängig einheitlich an das standorttypische Düngungsniveau für Mais von 175 kg N/ha angepasst. Der Vorrat an Bodenstickstoff zu Vegetationsbeginn (N_{\min}) fand bei der Berechnung des Düngbedarfes Berücksichtigung. Der Versuch wurde als randomisierte Blockanlage in vierfacher Wiederholung angelegt.

Tab. 1: Stufenbeschreibung des Faktors Düngung im Versuch

Stufe	Beschreibung
PG 1	100 % mineralisch mit KAS
PG 2	50 % organisch mit Biogasgärrest (ca. 20 m ³) + 50% mineralisch mit KAS
PG 3	100 % organisch mit Biogasgärrest (ca. 45 bis 55 m ³ Biogasgülle)

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die langjährigen Untersuchungen (2007-2019) zeigten:

Die organisch gedüngten Varianten sind der reinen mineralischen Düngung ertraglich überlegen. Extreme Trockenjahre verstärken dieses Ergebnis.

Die organische Düngung verbessert die Ertragsstabilität.

Ein signifikanter Ertragseinfluss der organischen Düngung stellt sich erst nach mehrjähriger Anwendung ein.

Langjährige organische Düngung reduziert die Düngemenge aufgrund höherer N-Nachlieferung aus dem Boden (steigende N_{\min} -Gehalte). Der Ausnutzungsgrad der Gärreste kann auf über 80% eingeschätzt werden.

Die mit Gärresten entsprechend der Düngeempfehlung (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, Mecklenburg-Vorpommern 2018) ausgebrachten Gesamt-N-Mengen liegen nur marginal über denen der rein mineralischer N-Düngung.

Dauerhaft negative N-Salden sind im Anbau von Monokultur Mais die Regel und tragen zum Humusabbau bei.

Bei einer bedarfsgerechten Stickstoffdüngung des Bestandes ausschließlich über Gärreste wird die nach DüV zulässige Applikationsmenge für Phosphor auf sehr gut mit P-versorgten Standorten überschritten.

Der hohe Kaliumgehalt im Gärrest deckt den Bedarf des Bestandes auch bei einem 100%-igen Gärresteinsatz nicht.

Eine langjährige massive Kaliumzehrung kann durch das bedarfsgerechte Aufdüngen zeitnah wieder behoben werden.

Die Humusuntersuchungen am Standort erbrachten auch über den langen Untersuchungszeitraum keine eindeutigen Unterschiede in der Humusversorgung der Düngungsvarianten.

Grundsätzlich bringt der dauerhafte Anbau von Silomais in Monokultur viele Probleme mit sich. Neben der Verringerung der Bodenfruchtbarkeit sprechen unter anderem Aspekte wie die Verschiebung des Unkrautspektrums, Resistenzen maistypischer Unkrautarten und die Erhöhung des Krankheiten- und Schädlingsdruckes dafür, sich gegen den Anbau von Mais in Monokultur zu entscheiden. Mais in der Fruchtfolge integriert trägt zu deutlichen Reduzierungen der N-Salden bei.

Literatur

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, Mecklenburg-Vorpommern (2018): Richtwerte für die Untersuchung und Beratung zur Umsetzung der Düngeverordnung vom 26. Mai 2017 in Mecklenburg-Vorpommern.

Verbesserung der N-Effizienz und Reduzierung der Umweltbelastung durch Ammoniumentfernung aus Gärresten mithilfe der »Vakuum-Entgasung« -Technologie

Emina Mešinović^{1,2}, Andreas Muskolus¹, Timo Kautz² und Johannes Koslowski³

¹Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP), Berlin; ²Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, ³Kompetenzzentrum Wasser KWB, Berlin
E-Mail: emina.mesinovic@hu-berlin.de

Einleitung

Die Stickstoffausnutzungs-Effizienz organischer Dünger ist meist deutlich geringer als jene von Mineraldüngern. Zwar helfen organische Dünger Bodenkohlenstoff aufzubauen, die bei der Ausbringung entstehenden Emissionen sind jedoch schändlich für die Umwelt und organisch gebundener Stickstoff ist nicht pflanzenverfügbar. Die Landwirtschaft ist in Deutschland mit einem Anteil von etwa 95 Prozent Hauptemittent des Luftschadstoffs Ammoniak. Die wichtigste NH₃-Emissionsquelle in der Landwirtschaft ist Wirtschaftsdünger - Gülle, Mist, Jauche, aber auch Gärreste aus Biogasanlagen (Umwelt Bundesamt, 2012). Wirtschaftsdünger enthält in der Regel hohe Anteile an Ammoniumstickstoff, der insbesondere im Kontakt mit der Atmosphäre schnell in gasförmiges Ammoniak umgewandelt werden kann. Dieses entweicht so in die Luft und geht damit den Pflanzen als Nährstoff verloren. Die relativ neue Technologie der Vakuumentgasung könnte ein Verfahren sein, dass in Zukunft die Aufbereitung ermöglicht. Die Technik könnte es auch ermöglichen aus Gülle einen transportfähigen Stickstoffdünger zu produzieren, der kostengünstig und umweltfreundlich in Gebiete mit Nährstoffbedarf verkauft werden könnte. Um herauszufinden welche pflanzenbauliche Wirkung die auf diese Art bearbeiteten Dünger haben wurde ein Gefäßversuch durchgeführt.

Material und Methoden

An der Versuchsstation des Instituts für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin in Berge bei Nauen wurde eine Mini-Produktionsanlage zur Herstellung von abgereichertem Gärrest mittels Vakuum-Entgasungstechnologie installiert. Nach der Behandlung wurde der pH-Wert der Gärrest-Proben mit einem WTW 3210 pH-Meter bestimmt. Ein Spektralphotometer, Modell DR 3800, wurde verwendet, um die Ammoniakkonzentration in den Proben zu bestimmen, die nach dem Prozess im Reaktor entnommen wurden. Ein gebrauchsfertiger Küvetten-Test LCK 303 mit vordosierten Reagenzien für die photometrische Auswertung wurde verwendet. Der Gesamtstickstoffgehalt des abgereicherten Gärrests wurde nach der klassischen Methode nach Kjeldahl bestimmt (Kjeldahl J. 1883). Die Sammlung von Boden wurde zuerst angegangen. Im Gewächshaus wurden Metall-Tische so platziert, dass die Pflanzen in den Töpfen in Nord-Süd Richtung standen, damit auf diese Weise den ganzen Tag dem Sonnenlicht ausgesetzt waren. Anschließend wurden standardisierte Mitscherlich-

Töpfe (6 kg) vorbereitet. Vor der Aussaat wurde dem Boden Dünger zugesetzt. Für jede Behandlung wurden sechs Wiederholungen (Gefäße) verwendet. Alle Gefäße außer der Kontrolle bekamen insgesamt die gleiche Menge Stickstoff: Der abgereicherte und unbehandelte Gärrest wurde in einer Menge von 300 ml pro Gefäß zugegeben, während der Mineraldünger KAS 27 % in einer Menge von 4.44 g zugesetzt wurde. Nach der Aussaat werden die Pflanzen in einer Menge von 50% der gesamten Wasserhaltefähigkeit bewässert. Später wurde die Wassermenge auf 80 % erhöht. Der Unterschied im Pflanzenwachstum im Vergleich zur verwendeten Behandlung wurde mit einem cm-Maß gemessen. Die Stadien des Pflanzenwachstums und der Pflanzenentwicklung wurden ebenfalls entsprechend der BBCH Codierung von Mais überwacht.

Ergebnisse und Diskussion

Mit Hilfe der Vakuumentgasung wurde Ammonium aus Gärrest erfolgreich entfernt. Andere Wissenschaftler verwendeten eine ähnliche Technologie und kamen zu vergleichbaren Ergebnissen (USDA, 2012). Wir haben mit dem Vakuum-Entgasungsprozess 91 % Ammonium reduziert, was sehr gut ist. Die Zugabe des abgetrennten Mineraldüngers zum abgereicherten Gärrest würde vermutlich der üblichen Praxis entsprechen. Im durchgeführten Versuch zeigte sich, dass die N-Effizienz durch die Ammonium-Entgasung ansteigen könnte. Weitere Versuche, vorzugsweise Feldversuche, sind notwendig um einschätzen zu können wie groß der positive Effekt durch die Vakuumentgasung in der Praxis wäre. Die Ergebnisse deuten aber darauf hin, dass diese Technologie grundsätzlich dazu geeignet ist die Stickstoff-Effizienz von organischen Düngern zu erhöhen.

Literatur

1. MISSELBROOK T., NICHOLSON F., & CHAMBERS B. (2005). Predicting ammonia losses following the application of livestock manure to land. *Bioresource Technology*, S. 96: 159-168.
2. GUTSER R., EBERTSEDER T., WEBER, A., SCHRAM, M., & SCHMIDHALTER, U. (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, S. 439 - 446
3. DITTERT K., GOERGES T., BLESS, H.-G., LIN, S., & SATTELMACHER, B. (1999). Stickstoffdynamik im Boden nach Gülledüngung unter besonderer Berücksichtigung der N-Pflanzenaufnahme. *Pflanzenbauwissenschaften*, S. 53 - 58
4. UMWELT BUNDESAMT 2012: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/bodenlandwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/ammoniak-geruch-staub#emissionen-der-landwirtschaft>
5. KJELDAHL J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern" *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22 (1): 366-383.
6. USDA 2012: <https://agresearchmag.ars.usda.gov/2012/nov/livestock>

Einfluss von Unterfußdüngung mit Gärprodukten auf Wurzelarchitektur und Jugendentwicklung von Sommerweizen unter Trockenstress

Roß, Christina-Luise; Borm, Charlotte; Vogel, Heiko und Kautz, Timo

Humboldt-Universität zu Berlin, ADTI, FG Pflanzenbau, Berlin. E-Mail: roschris@agrar.hu-berlin.de

Einleitung

Das Auftreten von mehrwöchigen Trockenperioden mit geringen Niederschlagsmengen führt in den letzten Jahren immer häufiger zu ausgeprägter Dürre im Ap-Horizont ^[1]. Tief wurzelnde Pflanzen können diese Phasen besser überstehen, da sie in der Lage sind, Wasserreserven in tieferen Bodenschichten zu erreichen. Die Durchwurzelungstiefe wird durch genetische Determinierung und Umweltfaktoren beeinflusst, zu denen u.a. die Verfügbarkeit von Nitrat, Phosphat, Sulfat und Eisen gehört ^[2]. In einem Gefäßversuch mit gezielt herbeigeführter Trockenheit in den oberen 25 cm wurde überprüft, welchen Einfluss eine Unterfußdüngung mit Gärprodukt auf die Wurzelentwicklung von Sommerweizen hat und wie sich ein derart modifiziertes Wurzelsystem auf die Wasserausnutzung aus den tieferen, von unten bewässerten Bodenschichten auswirkt.

Material und Methoden

In einem Gefäßversuch wurde Sommerweizen (KWS Sharki) mit einem Gärprodukt aus Rindergülle, Mais- und Grassilage entsprechend einer Menge von 3 g N je Gefäß gedüngt. Dieses Gärprodukt wurde in drei Varianten ausgebracht:

- a) oberflächlich = OF,
- b) unterfuß flach (11-16 cm tief) = UF flach,
- c) unterfuß tief (25-30 cm tief) = UF tief.

Zusätzlich wurde eine ungedüngte Kontrolle angelegt. Alle Varianten wurden fünffach wiederholt. Als Gefäße dienten 60 cm hohe Röhren (Ø 18 cm). Nach anfänglicher Bewässerung von oben wurde nach der sicheren Etablierung der Pflanzen nur noch von unten bewässert. In den mit leicht lehmigem Sand gefüllten Röhren stieg das Wasser ca. 25-30 cm auf (Überprüfung der Bodenfeuchte durch TDR-Sonden in vier Tiefen), die obere Hälfte der Säulen trocknete ab. Vier Wochen nach der Aussaat erfolgten die Ernte zum BBCH-Stadium 31. Zusätzlich zur Bestimmung der oberirdischen Biomasse wurden Bohrkern entnommen, aus denen in 5 cm-Schritten die Wurzeln ausgewaschen, gewogen und gescannt wurden. Die Scans wurden mit der Software WinRHIZO Pro (Regent Instruments Inc. 2019) ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Nach 28 Tagen hatten die unterfuß mit Gärprodukten gedüngten Pflanzen signifikant geringere Mengen an oberirdischer Biomasse gebildet als die oberflächlich oder gar nicht gedüngten Varianten (Abb. 1). Die Gesamtwurzelmasse war in den Kontrollgefäßen am größten und unterschied sich zwischen den gedüngten Varianten nicht. Deutliche Unterschiede waren allerdings in Bezug auf die Wurzellängendichte (WLD) sichtbar (Abb. 2). Die Kontrollpflanzen bildeten die größte WLD in der unteren Hälfte des Gefäßes, d.h. in den nachweislich feuchten Bodenbereichen. Vor allem die unterfuß gedüngten Pflanzen bildeten dagegen die jeweils größte WLD im Boden oberhalb des Ablagehorizontes des Gärproduktes aus. Unterhalb davon betrug die WLD weniger als 0,6 cm pro cm³.

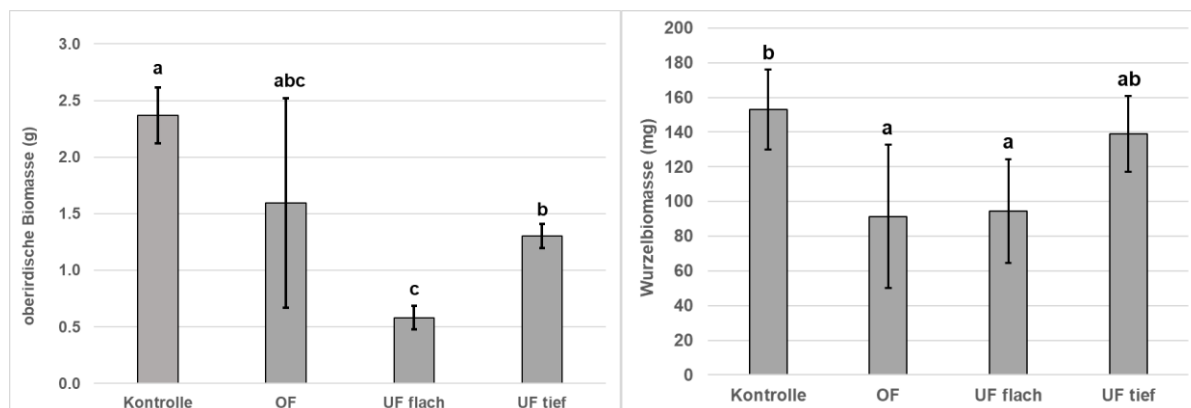


Abb. 1: Ober- und unterirdische Biomassebildung von Sommerweizen in Abhängigkeit von der Ablagetiefe des Gärproduktes. Verschiedene Buchstaben markieren signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey's HSD-Test, $P \leq 0,05$, $n = 5$). Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar.

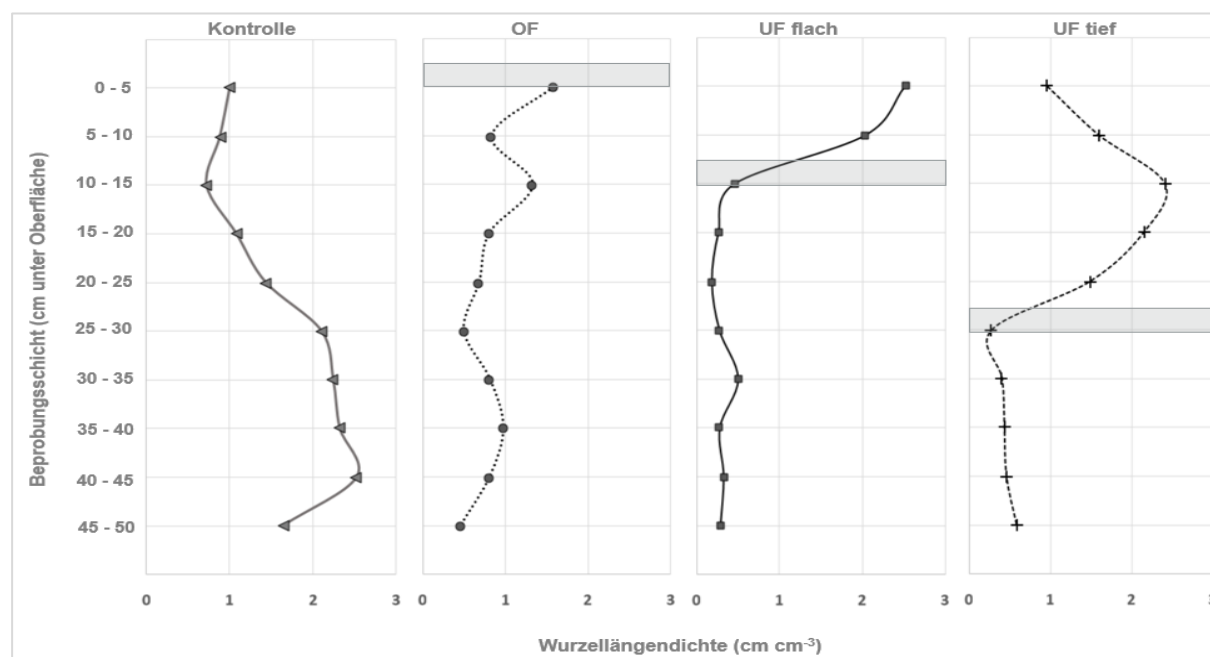


Abb. 2: Wurzellängendichte in je 5 cm hohen Beprobungsschichten. Grau markiert sind die Ablagebereiche des Gärproduktes, wobei die größere Zahl jeweils die untere Grenze des Ablagehorizontes markiert.

Es ist anzunehmen, dass der Ertragsvorsprung der ungedüngten Kontrollpflanzen im weiteren Entwicklungsverlauf kompensiert worden wäre. In weiteren Versuchen soll geklärt werden, ob in den gedüngten Varianten durch das Gärprodukt eine Sperrschicht entstanden ist, die von den Pflanzen nicht durchwurzelt werden konnte, oder ob aufgrund der Nährstoffe im Gärprodukt nur in dessen Umgebung Wurzeln ausgebildet wurden, obwohl auch tiefere, wasserführende Schichten erreichbar gewesen wären. Da mit dem Ziel der Emissionsminderung die Unterfußdüngung mit organischen Düngern zunehmend gefordert wird, ist die Aufklärung dieser Zusammenhänge unter Trockenheitsbedingungen zwingend erforderlich.

Literatur

1. Marx, A., Dürremonitor Deutschland. Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ), 2021. <https://www.ufz.de/index.php?de=37937> (Zugriff am 23.06.2021).
2. López-Bucio, J., A. Cruz-Ramírez, and L. Herrera-Estrella, The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 2003. 6(3): p. 280-287.

On-Farm Versuch mit Düngern aus der Aufbereitung von Biogasgärrückständen im Kreis Hohenlohe (EIP Agri-Projekt Agriplus Hohenlohe)

Benedikt Müller¹, Torsten Müller², Iris Lewandowski¹ und Andrea Bauerle¹

¹Fachgebiet Nachwachsende Rohstoffe in der Bioökonomie/Universität Hohenheim, Stuttgart;

²Fachgebiet Düngung und Bodenstoffhaushalt/Universität Hohenheim, Stuttgart.

E-Mail: Benedikt.Mueller@uni-hohenheim.de

Einleitung

Hohe Viehdichte führt in einigen Regionen Europas zu Überschüssen an Wirtschaftsdünger. Der Transport in Gegenden mit Bedarf an Nährstoffen aus diesen organischen Düngern ist wegen des hohen Wasseranteils nicht lukrativ. Durch ein suboptimales Nährstoffverhältnis dieser Dünger kann weder entsprechend dem Pflanzenbedarf gedüngt noch die Düngeverordnung (DüV) eingehalten werden. Daher kommt es auch in tierreichen Gegenden zum Einsatz von zusätzlichem Handelsdünger mit einer schlechten Klimabilanz. Die European Innovation Partnership (EIP) Agriplus Hohenlohe greift diese Problematik in der Region Hohenlohe auf und zielt auf eine Effizienzsteigerung im Ackerbau durch ein verbessertes Nährstoffmanagement ab. Durch den erstmaligen Bau einer voll-funktionsfähigen Anlage wird Wirtschaftsdünger nach einer energetischen Verwertung (Biogas) zu mineralischen Düngern verarbeitet. Diese Produkte der Nährstoffrückgewinnungsanlage können gezielt im Ackerbau eingesetzt und Überschüsse so kostengünstig in Ackerbauregionen mit Nährstoffbedarf exportiert werden. Um die Dünger mit herkömmlichen Düngestrategien zu vergleichen werden diese in einem On Farm Versuch unter Praxisbedingungen getestet.

Material und Methoden

Im Rahmen des zweijährigen On-Farm Versuches wurde bereits in der Saison 2019/20 auf acht Praxisflächen in und um Kupferzell-Füßbach Ammoniumsulfatlösung (ASL) als Produkt der Anlage in Winterweizen und -gerste mit herkömmlichen Düngestrategien (Gülle, Gärprodukt, Handelsdünger) verglichen. In der Saison 2020/21 werden aktuell noch die Effekte der gleichen Düngevarianten in Winterraps und Mais untersucht. Alle Praxisflächen sind aus der Carbonatgestein-Verwitterung entstanden und gleichen sich in der Textur. Die Größe der Praxisflächen variiert zwischen drei und sechs Hektar, wobei die Parzellen 15 m breit und zwischen 50 und 260 m lang sind. Zur Düngung, Pflege und Ernte der Parzellen wird praxisübliche Agrartechnik eingesetzt. In der Saison 2019/20 wurde ASL mit Dreistrahdüsen einer Feldspritze ausgebracht und in der Saison 2020/21 mit einem Gülleschlitzgerät. Während der Vegetationsperiode erfolgen regelmäßig Bonituren der Pflanzenbestände sowie Messungen der SPAD-Werte der Pflanzen. Bei der Ernte werden Korn und Strohertrag, Frisch- und Trockenmasse erfasst. Sowie Pflanzen- und Bodenproben auf Pflanzennährstoffe analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Gülle-, Gärprodukt- und Mineraldünger-Varianten ähnelten sich in Stroh- und Kornerträgen in der Saison 2019/20. Die Erträge von ASL blieben dahinter zurück, was sich bereits in den SPAD-Daten während der Wachstumsperiode (Abbildung 1) zeigte. Die Klimadaten der Region in dieser Saison beschrieben Dürre und warme

Verhältnisse während der Düngeperiode. Deswegen kann angenommen werden, dass wahrscheinlich hohe Ammoniakverluste des oberflächlich ausgebrachten ASL-Düngers der Grund für das weniger gute Abschneiden beim Korn- und Strohertrag sowie bei den SPAD-Werten der Pflanzen sind. Bei den Pflanzen-Nährstoffgehalten der ASL-Varianten gab es sogar Anzeichen, dass es unter den trockenen Bedingungen zu osmotischem Stress gekommen sein könnte.

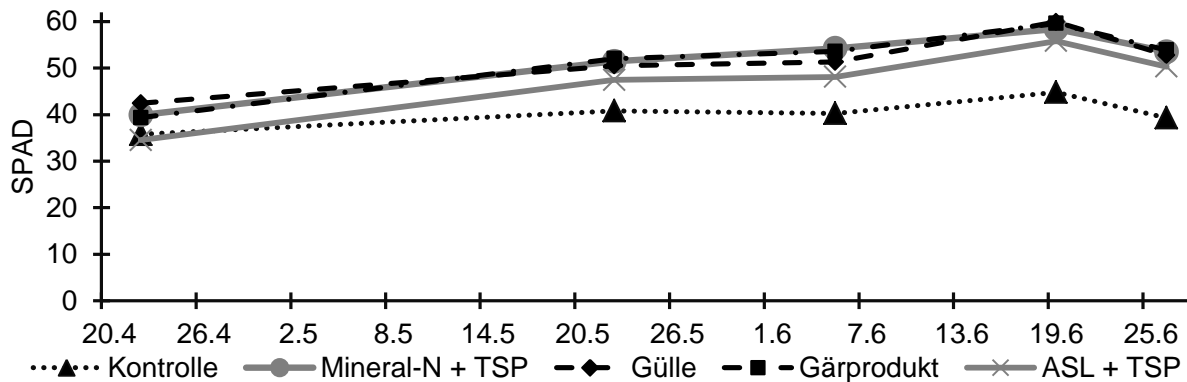


Abb. 1: SPAD-Werte des Winterweizens (Y-Achse) im zeitlichen Verlauf (X-Achse) der Messungen von April bis Juni 2020. Kontrolle: ungedüngte Variante; Mineral-N: Kalkammonsalpeter; ASL: Ammoniumsulfat-Lösung; TSP: Triplesuperphosphat. Mittelwerte für jede der fünf Düngevarianten für das jeweilige Datum der Messung.

Um Ammoniakverluste zu minimieren wird daher empfohlen den pH-Wert der Ammoniumsulfat-Lösung zu senken und den Dünger möglichst in tiefere Bodenschichten zu injizieren. Die aktuell vorhandene Technik der Landwirte vor Ort ließ jedoch nur ein Schlitzten des Düngers in den Boden zu. Als akzeptabler Kompromiss wurde in der Düngeperiode 2021 das ASL mit kühlem Quellwasser gemischt, um einer präzisen Düngung trotz der voluminösen Fördertechnik des Gülleschlitzgerätes gerecht zu werden. Durch das Schlitzten und die Verdünnung mit Wasser könnte das Ammonium in tiefere Bodenschichten gelangen. Dort wäre der Dünger atmosphärischen Einflüssen weniger stark ausgeliefert und könnte sich so positiv auf Umweltschutz und Ertrag auswirken.

Das Projekt wird von der Europäischen Union und dem Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP AGRI) mit einem Betrag von etwa 1,3 Mio. € gefördert.

Lupinen im Mischfruchtanbau – eine Alternative als Biogassubstrat?

D. Wiedow¹, M. Beck¹, S. R. Roux² und J. Burgstaler¹

¹Universität Rostock, Professur für Agrartechnologie und Verfahrenstechnik,
E-Mail: denny.wiedow@uni-rostock.de

²Julius Kühn-Institut, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, Groß Lüsewitz,
E-Mail: steffen.roux@julius-kuehn.de

Einleitung

Durch die EU-Agrarreform werden Greeningmaßnahmen, wie der Anbau von Leguminosen, gefördert. Eine interessante und bisher wenig untersuchte Leguminose stellt die Andenlupine dar. Sie ist gekennzeichnet durch eine gute Anbaueignung für leichte Böden, ein hohes Stickstoffbindungsvermögen, ein tiefgehendes Wurzelsystem und hohe Biomassezuwächse. In einem durch BMEL/FNR geförderten Projekt werden die Andenlupine sowie die Weiße Lupine in ihrer Eignung als Gemeengepartner von Mais bzw. Hafer als Biogassubstrat untersucht.

Material und Methoden

Als Substrat wurden Biomassen aus Anbauversuchen vom Standort Groß Lüsewitz aus den Erntejahren 2019 und 2020 genutzt. Das Gemenge 1 bestand aus 7 bzw. 12 Andenlupinen und 2 Maishybriden, im Gemenge 2 wurden 4 Weiße Lupinen und 4 Haferstämme untersucht. Parallel wurden die Biogas- und Methanerträge im Erntejahr 2020 für Mais und Andenlupinen in Reinsaat bestimmt.

Die Ermittlung der Biogas- und Methanpotentiale erfolgte mittels Batchversuchen nach den Vorgaben der VDI 4630 (2006). Voraussetzung für den Batchversuch ist die Bestimmung der organischen Substanz. Diese bildet die Grundlage für die Berechnung der notwendigen Einwaagen an zu untersuchendem Substrat sowie die Wertung der Erträge.

Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 1 sind die Analysenparameter (TS, oTS, org. Säuren, oS) für die Biomassen der beiden Gemenge und der Reinsaat der Ernte 2019 und 2020 dargestellt.

Tab. 1: Trockensubstanz (TS), organische Trockensubstanz (oTS), organische Säuren und organische Substanz (oS) von den beiden Gemengen und den Reinsaat für die Erntejahre 2019 und 2020

Jahr	Variante	TS- Gehalt % FM	oTS in g·kg ⁻¹ FM	organ. Säuren g·kg ⁻¹ FM	oS=oTS+Sr % FM
2019	Gemenge 1	29,5	265,9	0,840	26,7
	Gemenge 2	29,7	260,2	1,078	26,1
2020	Gemenge 1	31,1	286,1	0,708	28,7
	Gemenge 2	35,9	324,1	0,763	32,5
	Mais	31,8	289,9	0,576	29,0
	Lupine	19,4	169,8	0,801	17,1

Die Biogas- und Methanausbeuten wurden für jede Variante in 3-facher Wiederholung bestimmt. Dargestellt sind im Folgenden die Mittelwerte (Tabelle 2).

Es ist zu erkennen, dass die Trockensubstanzgehalte zwischen den einzelnen Erntejahren schwanken, was den Witterungsverhältnissen zuzurechnen ist. Im Erntejahr 2019 lagen die Trockensubstanzgehalte um 29 % TS in beiden Gemengen. Für 2020 wurde im Gemenge 1 (Andenlupine und Mais) und Mais in Reinsaat ein TS-Gehalt von 31 % TS ermittelt. Das Gemenge 2 (Weiße Lupine und Hafer) wies einen TS-Gehalt von 35 % TS auf. Weiterhin ist ersichtlich, dass der geringste Trockensubstanzgehalt bei den Andenlupinen in Reinsaat mit 19 % TS erfasst wurde. Dieses Bild zeigte sich auch bei den oTS-Gehalten, wo für das Jahr 2020 im Gemenge 2 mit 324,1 g·kg⁻¹ FM der höchste und bei der Andenlupine in Reinsaat mit 169,8 g·kg⁻¹ FM der niedrigste oTS-Gehalt nachgewiesen wurde.

Bei einem Vergleich der Biogas- und Methanerträge zwischen den beiden Erntejahren 2019 und 2020 fällt auf, dass 2020 höhere Ausbeuten generiert wurden (Tabelle 2), was auf den höheren Gehalten an organischer Substanz zurückzuführen ist.

Tab. 2: Biogas- und Methanerträge der beiden Gemenge sowie der Reinsaaten für die Erntejahre 2019 und 2020

Jahr	Variante	Biogasertrag		Methanertrag		Vol. % Methan
		l _N ·kg ⁻¹ FM	l _N ·kg ⁻¹ oS	l _N ·kg ⁻¹ FM	l _N ·kg ⁻¹ oS	
2019	Gemenge 1	133,9	499,0	71,5	266,4	53,4
	Gemenge 2	130,5	489,2	71,0	265,5	54,2
2020	Gemenge 1	164,5	571,1	87,1	302,3	52,9
	Gemenge 2	160,6	489,0	91,1	276,9	56,6
	Mais	180,3	620,7	101,5	349,5	56,3
	Lupine	76,2	446,6	41,7	244,7	54,8

Der höchste Biogasertrag wurde von Mais in Reinsaat mit 620,7 l_N·kg⁻¹ oS und der geringste von Andenlupinen in Reinsaat mit 446,6 l_N·kg⁻¹ oS generiert. Das Gemenge 2 (Weiße Lupine und Hafer) wies in beiden Erntejahren ein Biogaspotential von 489 l_N·kg⁻¹ oS auf. Das Gemenge 1 (Andenlupine und Mais) hingegen erreichte im Erntejahr 2019 499,0 l_N·kg⁻¹ oS und im Jahr 2020 571,1 l_N·kg⁻¹ oS. Damit wurden in beiden Gemengen im Mittel immer noch geringere Werte im Vergleich zu Maissilage (600 bis 650 l_N·kg⁻¹ oS) erfasst (KTBL, 2013). Die beiden Erntejahre 2019 und 2020 waren gekennzeichnet durch ungünstige Witterungsverhältnisse, so dass keine optimalen Wachstumsbedingungen vorlagen. Daraus resultieren die geringeren Biogas- und Methanausbeuten im Vergleich zu Literaturangaben. Dennoch stellt der Gemengeanbau eine aussichtsreiche Option im Energiepflanzenanbau dar und könnte zu einer nachhaltigen Fruchtfolgediversifizierung beitragen. In weiterführenden Laborversuchen wird derzeit der kontinuierliche Einsatz als Biogassubstrat untersucht.

Literatur

KTBL (2013): Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (2013): Faustzahlen Biogas. Darmstadt 2013, 3. Auflage, S. 133; ISBN 10: 978-3-941583-85

VDI-Richtlinie 4630 (2006): VDI-Gesellschaft Energietechnik, Fachausschuss Regenerativer Energien: Vergärung organischer Stoffe, Substratcharakterisierung, Probennahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche, Beuth Verlag, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, April 2006

Andenlupine mit Mais – Silierfähigkeit und Qualität

Frank Höppner¹ und Steffen Roux²

¹Julius Kühn-Institut/Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig; ²Julius Kühn-Institut/Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, Groß Lüsewitz.
E-Mail: frank.hoepfner@julius-kuehn.de

Einleitung

Der Gemengeanbau von Andenlupine (*L. mutabilis*) mit Mais 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. Bisher gibt es kaum Kenntnisse zur Siliereignung sowie zum Einsatz von Siliermitteln. Deswegen wurden in dem BMEL/FNR-geförderten Verbundprojekt LuMi-opt Untersuchungen zur Ganzpflanzen-silierung mit Erntematerial vom Braunschweiger Versuchsanbau durchgeführt.

Material und Methoden

Auf dem Versuchsfeld in Braunschweig-Völkenrode (anlehmiger Sand, 30-35 Bodenpunkte) wurden im Jahr 2019 in einem Reihenabstand von 50 cm 7 Andenlupinen (LUA)-Herkünfte in Kombinationen mit 2 verschiedenen Maishybriden im Gemenge, alternierend in den Reihen, als auch in Reinsaat angebaut. Während die LUA-Mais-Gemenge mit einer Saatstärke von 16/8 keimfähigen Korn (KK) je m² angelegt wurden, kamen bei der Reinsaat der LUA bzw. Mais 40/10 KK m⁻² zur Aussaat. Eine Behandlung zur Unkrautregulierung erfolgte im Voraufbau mit Gardo Gold (4,0 l ha⁻¹). Zur Stickstoffversorgung wurden die Gemengeparzellen moderat mit 120 kg ha⁻¹ Kalkammonsalpeter (KAS) gedüngt, da die Lupine als Leguminose Luftstickstoff binden kann. Die Mais-Reinsaaten erhielten ortsüblich 150 kg ha⁻¹ KAS, die LUA-Reinsaaten bekamen keinen Stickstoff. Der Bestand wurde nach Bedarf bewässert, die Ernte fand zur Silierreife des Gemenges statt. Von diesem Anbau erfolgte mit dem Erntegut von 2 Gemengeprüfgliedern (Mais: Keops, LUA: Tarwi blanco und L265) im Vergleich der Reinsaaten eine Befüllung von Silos im Labormaßstab (Weckgläser, 1,5 l, verdichtet). Ergänzend zu den unbehandelten Kontrollen wurden Varianten mit einem biologischen (SILA-BAC, homofermentative Milchsäurebakterien, Zusatz 1) und einem chemischen Siliermittel (KOFASIL STABIL, Wirksamkeit gegen Hefen und Schimmel, Zusatz 2) angesetzt. Nach mindestens 90 Tagen wurden die fertigen Silagen geöffnet, qualitativ bewertet sowie deren aerobe Stabilität (ASTA) über einen Zeitraum von 7 Tagen geprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Das Erntegut der Reinsaat- und Gemengevarianten erfüllte nicht immer die Richtwerte für eine gute Gärfähigkeit (Tab. 1). Immerhin wurden die bei einer Ernte angestrebten TM-Gehalte von mehr als 30% als auch der Richtwert des Vergärbarkeitskoeffizienten (VK) von ≥ 45 zumindest von den Gemengevarianten und der Reinsaat Mais annähernd überschritten (Jänicke, 2011). 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 der Gärerschädlinge Hefen und Schimmel mit weitgehend mehr als 1,0E+05 KbE g⁻¹ FM bzw. 1,0E+04 KbE g⁻¹ FM war als hoch einzustufen. Deren negative Aktivität bezüglich der Auswirkungen auf Gärverluste

kann während des Gärprozesses bei schneller Ansäuerung allerdings ausgeschaltet werden. Bei Zugabe des biologischen Siliermittels war ein Anstieg der Milchsäurebakterien (MSB) nachweisbar. Dennoch lag schon ein recht hoher Besatz an MSB im Erntegut vor.

Tab. 1: Kennwerte zur Silierfähigkeit des Ernteguts der Gemenge Mais (Keops) mit Andenlupine (Tarwi blanco und L265) und der Reinsaaten

Prüfglied	TM	Z/PK	VK	Hefen	Schimmel	MSB	MSB
	[%]			[KbE g ⁻¹ FM]	[KbE g ⁻¹ FM]	[KbE g ⁻¹ FM]	Zusatz 1 [KbE g ⁻¹ FM]
Keops/Tarwi blanco	34,0	2,2	51	3,6E+05	2,4E+05	7,7E+06	1,3E+06
Keops/L265	38,3	1,3	48	2,8E+04	4,2E+04	9,5E+04	1,4E+05
Keops	41,1	1,2	51	1,3E+05	1,5E+04	1,5E+05	3,0E+05
Tarwi blanco	15,4	0,6	20	3,0E+04	2,6E+04	2,7E+05	4,6E+05
L 265	15,6	0,5	20	4,4E+04	3,6E+04	1,3E+05	1,9E+05

KbE = Koloniebildende Einheiten, TM = Trockenmasse, FM = Frischmasse

Nach Öffnung der Silagen lagen die pH-Werte aller Prüfglieder und Siliervarianten wie gewünscht mit maximal 4,1 im eindeutig sauren Milieu (Tab. 2). Die Gärschädlinge Hefen und Schimmel konnten in allen Silagen ausschließlich gut unterdrückt werden (Tab. 2). Der Anteil untersuchter Silagen mit einem Hefenbesatz >1,0E+03 KbE g⁻¹ FM lag durchweg bei 0%. Aufgrund des Silierprozesses lassen sich Gärverluste nicht vermeiden. Alle Silagen hatten mit einer Spannweite von 3,2 bis 5,2% jedoch nur niedrige Werte aufzuweisen (Tab. 2). Die aerobe Stabilität konnte bei allen Silagen über 7 Tage aufrecht erhalten werden. Bei den Reinsaaten der Lupine traten dabei allerdings mit mehr als 60% nachteilig hohe Trockenmasseverluste auf. Aufgrund der sehr geringen Trockensubstanzgehalte waren diese auf eine stark ausgeprägte Sickersaftbildung während des Silierprozesses zurückzuführen.

Tab. 2: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer der Gemenge Mais (Keops) mit Andenlupine (Tarwi blanco und L265) und Reinsaaten, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz 1: mit biol. Siliermittel (SILA-BAC), Zusatz 2: mit chem. Siliermittel (KOFASIL STABIL)

Prüfglied	pH	Hefen*	Schimmel*	Gärverluste	pH	Hefen*	Schimmel*	Gärverluste	pH	Hefen*	Schimmel*	Gärverluste
		[%]	[%]	[% TM]		[%]	[%]	[% TM]		[%]	[%]	[% TM]
		Kontrolle				Zusatz 1				Zusatz 2		
Keops/Tarwi blanco	3,8	0,0	0,0	4,0	3,8	0,0	0,0	3,7	3,6	0,0	0,0	3,9
Keops/L265	3,9	0,0	0,0	3,9	3,9	0,0	0,0	3,7	3,9	0,0	0,0	3,7
Keops	3,9	0,0	0,0	3,5	3,9	0,0	0,0	3,2	3,9	0,0	0,0	3,4
Tarwi blanco	4,1	0,0	0,0	4,5	4,1	0,0	0,0	4,4	4,1	0,0	0,0	4,3
L 265	4,1	0,0	0,0	5,2	4,1	0,0	0,0	5,2	4,1	0,0	0,0	5,1

*Anteil untersuchter Laborsilagen mit einer Keimdichte >1,0E+03 KbE g⁻¹ FM

Literatur

Jänicke, H., 2011: Grobfutter- und Substraterzeugung. In: Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung, 8. Aufl., DLG, Frankfurt, 23-50.

Assessment of wheat wild relatives for their use as potential future crops

Frederike Zeibig und Michael Frei

Institut für Pflanzenbau, Justus-Liebig-Universität Gießen, 35392 Gießen;
E-Mail: Frederike.Zeibig@agrar.uni-giessen.de

Introduction

Wild relatives of bread (*Triticum aestivum* L.) and durum (*Triticum durum* DESF.) wheat are important genetic resources for maintaining diversity in the wheat gene pool. The current genetic diversity of cultivated wheat has been shaped by a long breeding history, resulting in the loss of important traits. Wild wheat species have conserved these traits and contain genes that may be useful for future agricultural production. Introgression of specific traits from wild relatives into cultivars is a time consuming process. The advent of genome editing offers the possibility of a *de novo* domestication of wild species. By using this method, the wild phenotypes can be transformed into those of a domesticated plant while maintaining the beneficial characteristics of the wild wheat. A prerequisite for this approach is to identify traits that distinguish the wild relative from the cultivated plant. The aim of this research was to identify the phenotypic differences between wheat wild relatives and modern wheat varieties and document the phenology of wild wheat in the field.

Material und Method

The panel comprised 248 genotypes representing 25 *Triticum* and 14 *Aegilops* species (Tab. 1). As reference accession, two modern varieties of durum wheat and four modern varieties of bread wheat were grown. Four seeds per accession were sown in a greenhouse and pre cultivated before they were transplanted to the field at the Justus-Liebig-University field station Weilburger Grenze in Gießen in November 2020. The field was separated into two blocks and per block two plants of each genotype were grown in a semi-randomized design. For recording the development stages, the Zadoks scale was used (Zadoks et al. 1974). From November to March, phenotyping was done monthly and from April on it was done on a weekly basis until anthesis. Chlorophyll content during different development stages was measured with a SPAD-502 meter (Konica Minolta Sensing Europe B.V, Bremen, Germany). A PolyPen RP410 UVIS device (PSI Instruments, Drasov, Czech Republic) was used to measure vegetation indices of the flag leaf during heading. Heading and flowering date were recorded and linked to the Thermal Time ($^{\circ}\text{Cd}$), which was calculated with $T_b = 0^{\circ}\text{C}$.

Results and Discussion

The required thermal time for reaching a development stage differed widely between the different species. Generally, *Aegilops* species required a lower thermal time to reach heading and flowering stages compared to the *Triticum* genus. *Ae. peregrina* was the first species of the whole panel to reach the heading stage with an average thermal time of 958°Cd . This was followed by *Ae. sharonensis* (mean 997°Cd) and *Ae. tauschii* (mean 1011°Cd). The mean thermal time that was required by the mentioned *Aegilops* species was 21% lower than that of modern varieties (1247°Cd). Among the *Triticum* species, the hexaploid *T. sphaerococcum* was the first one to

reach heading stage with a mean thermal time of 1081°Cd. Interestingly, the wild species *T. araraticum* of the GA gene pool required 1191°Cd to heading and was thus 5% faster than the modern varieties. In contrast, its domesticated relatives from the GA gene pool required a longer time (*T. timopheevii* 1377°Cd, *T. militinae* 1417°Cd) and the hexaploid form *T. zhukovskyi* 1435°Cd, which was also the last species to head. For anthesis, *Ae. tauschii* was the first one among the *Aegilops* genus and *T. sphaerococcum* the first one of the *Triticum* accessions, as previously observed. For the GA gene pool the same pattern was found as for heading. The chlorophyll content measured at booting stage indicated superiority of the modern cultivars regarding chlorophyll content. This was further confirmed by a combined PCA of phenological and physiological data, in which *T. aestivum* cv. was distant from wild species. Interestingly, *T. aestivum* that did not undergo any breeding program clustered with wild wheat species rather than cultivated *T. aestivum* cv. This suggests that breeding altered plant traits just as much or even more than the transit from wild to domesticated species. Upcoming analysis of yield data and harvest fraction will show if this pattern can be confirmed. Wheat wild relatives coped well with the Central European climate and their cultivation in this area is feasible. However, they showed different patterns in their phenology. Species that were earlier than modern varieties could be suitable for a cropping system that introduces another crop sown in summertime, and also harbor the potential of being sown in spring time. The late ones could carry interesting traits for stay green phenotypes and thus accumulate more assimilates, which might result in a higher grain quality.

<i>Aegilops</i>	No.	Diploid <i>Triticum</i>	No.	Tetraploid <i>Triticum</i>	No.	Hexaploid <i>Triticum</i>	No.
<i>Ae. bicornis</i> (S)	3	<i>T. urartu</i> (A ^u)	6	<i>T. dicoccoides</i> (BA)	9	<i>T. aestivum</i> (BAD)	5
<i>Ae. kotschyi</i> (S)	3	<i>T. boeoticum</i> (A)	7	<i>T. dicoccon</i> (BA)	14	<i>T. aestivum</i> cv. (BAD)	4
<i>Ae. longissima</i> (S)	2	<i>T. monococcum</i> (A)	8	<i>T. durum</i> (BA)	4	<i>T. spelta</i> (BAD)	5
<i>Ae. searsii</i> (S)	3			<i>T. durum</i> cv. (BA)	2	<i>T. sphaerococcum</i> (BAD)	2
<i>Ae. sharonensis</i> (S)	2			<i>T. aethiopicum</i> (BA)	2	<i>T. compactum</i> (BAD)	3
<i>Ae. speltooides</i> (S)	6			<i>T. carthlicum</i> (BA)	3	<i>T. macha</i> (BAD)	1
<i>Ae. tauschii</i> (D)	19			<i>T. ispahanicum</i> (BA)	2	<i>T. petropavlovskyi</i> (BAD)	1
<i>Ae. comosa</i> (M)	2			<i>T. karamyshevii</i> (BA)	2	<i>T. vavilovii</i> (BAD)	3
<i>Ae. geniculata</i> (M)	2			<i>T. polonicum</i> (BA)	3	<i>T. zhukovskyi</i> (GAA)	2
<i>Ae. markgrafii</i> (C)	3			<i>T. turanicum</i> (BA)	3		
<i>Ae. umbellulata</i> (U)	4			<i>T. turgidum</i> (BA)	3		
<i>Ae. uniaristata</i> (N)	2			<i>T. araraticum</i> (GA)	89		
<i>Ae. cylindrica</i> (DC)	3			<i>T. timopheevii</i> (GA)	6		
<i>Ae. peregrina</i> (SU)	4			<i>T. militinae</i> (GA)	1		

Tab.1: *Triticum* and *Aegilops* species grown in 2020/2021. The letter in brackets indicates the genome. Classification of wheat species after Dorofeev et al. (1979).

Literature

- Zadoks, J.C., Chang, T.T. and Konzak, C.F. (1974), A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>
- Dorofeev VF, Filatenko AA, Migushova EF, Udaczin RA, Jakubziner MM (1979) Wheat. In: Dorofeev VF, Korovina ON (eds) *Flora of cultivated plants*, vol 1. Leningrad, Russia

Factors influencing the yield development of winter wheat in Germany over the past 25 years

Clara Leseberg¹, Eric Bönecke² und Hartmut Stützel¹

¹Institute of Horticultural Production Systems/Leibniz University Hannover, Hannover; ²Leibniz Institute of Vegetable and Ornamental Crops, Grossbeeren. E-Mail: claraleseberg94@web.de

Introduction

The spatio-temporal variability of environmental conditions has been described as the cause for the variance in the long-term yield development of winter wheat in Germany (Bönecke et al. 2020). However, the effect of environmental differences that influence the yield development should be investigated more profoundly with regard to direct yield productivity drivers. Therefore, we assessed the yield development of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) between 1995 and 2019 at large geographic spread across Germany as response of different genotypes with phenological characteristics and quality properties on climatic and site-specific differences. We focus on the plant available water during the vegetation phase (PAW_{VP} , mm) as a limiting factor for productivity. The obtained response of genotypic characteristics to variable PAW_{VP} may depict genetic adaptation since 1995.

Material and Methods

The data used in this study were gathered from state variety trials in Germany. The collected crop data include yields of more than 400 cultivars in 196 locations from 1995 to 2019. For these cultivars, we obtained phenological characteristics and quality properties from the Federal Plant Variety Office (Bundessortenamt, BSA). Besides that, we collected climatic and site-specific soil data for every experimental site, including soil type, soil rating, effective rooting depth, and usable field capacity. Furthermore, we gathered daily temperature, precipitation and evapotranspiration data from the German Weather Service (Deutscher Wetterdienst, DWD) for every experimental site. From these, PAW_{VP} and climatic water balance (CWB) were calculated. To focus on sensitive crop growth phases described in literature (Zhang et al. 2004), we delimited the vegetation period for every growing season and calculated the PAW for every year and every experimental site in the effective rooting depth dependent on the soil type. Our final data set contains more than 55,000 single observations from over 200 publications over 25 years. To identify the trends of winter wheat yield development, we performed trend analyses using simple linear regression models. First we run the trend analysis over all experimental data across all experimental sites. Then, the data set was grouped into experimental sites differing in PAW_{VP} aiming to assess the impact of climatic and soil-specific factors. Moreover, we investigated the data with regard to genetic factors by splitting the cultivars into groups differing in phenological characteristics and quality properties and performed trend analyses as well.

Results and Discussion

The trend analyses across all sites and genotypes showed an increase of $19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ between 1995 and 2019. Yields on loamy to clayey sites increased by ca. 250 kg ha^{-1} between 1995 and 2017, whereas yields on sandy sites decreased by almost a whole ton. At sites with relatively low PAW_{VP} ($<390 \text{ mm}$), an annual increase of ca. 6 kg ha^{-1} was observed, whereas on sites with medium PAW_{VP} (≥ 390 and $\leq 627 \text{ mm}$)

and high PAW_{VP} (>627 mm) yields increased by 21 and by 27 $kg\ ha^{-1}\ year^{-1}$, respectively. To identify the underlying causes of these trends we considered phenological differences of the genotypes and focused on the occurrence of heading in the further course. Across all experimental sites, genotypes with early heading (EH) showed an average increase of 29 $kg\ ha^{-1}\ year^{-1}$, whereas late heading (LH) genotypes showed a decrease of 2 $kg\ ha^{-1}\ year^{-1}$ (Figure 1, a). Genotypes with EH showed a positive yield trend between 1995 and 2019 by an average of 15 $kg\ ha^{-1}\ year^{-1}$ even in areas with low PAW_{VP} (Figure 1, b). In comparison, genotypes with LH showed a smaller increase on sites with high PAW_{VP} , but a decreasing trend of 8 $kg\ ha^{-1}\ year^{-1}$ with low PAW_{VP} (Figure 1, b) and 1 $kg\ ha^{-1}\ year^{-1}$ with medium PAW_{VP} (Figure 1, c). In conclusion, yield development of EH genotypes was higher than of LH genotypes, regardless of the environment. Our findings indicate that EH genotypes could lead to higher yield and less uncertainty in production. In general, the adaptation to environmental limitations by choosing genotypes with suitable properties seems to be an effective strategy to overcome potential yield losses caused by water scarcity, especially with respect to the ongoing and expected climate change.

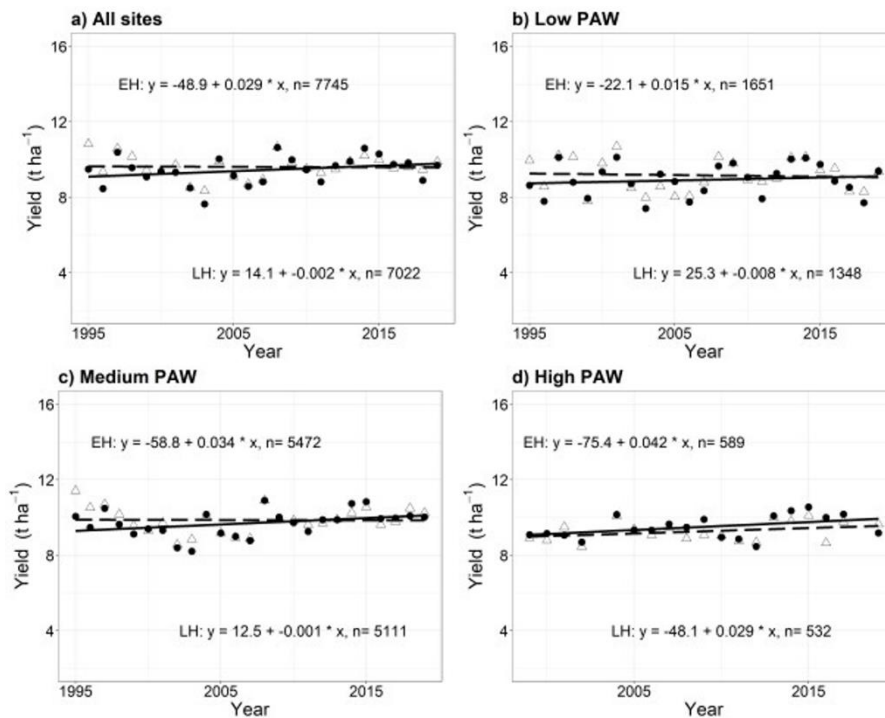


Figure 1. Yield development of winter wheat genotypes with relatively early (black dots, solid line) and late heading (open triangles, dotted line) between 1995 and 2019. a) Across all experimental sites. b) On sites with low PAW (<390 mm). c) On sites with medium PAW ($\geq 390 \leq 627$ mm). d) On sites with high PAW (>627 mm).

Literature

- Bönecke, E., Breitsameter, L., Brüggemann, N., Chen, T.-W., Feike, T., Kage, H., Stützel, H., 2020: Decoupling of impact factors reveals the response of German winter wheat yields to climatic changes. *Glob. Change Biol.* 2020; 26: 3601–3626
- Zhang, Q. Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., Hongyong, S., 2004: Effect of the soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. *Agr. Wat. Man.* 2004; 64: 107–122

Simulating wheat under German growth conditions – a comparison of different calibration strategies for the DSSAT Nwheat model

Shawon, A.R.¹, Memic, E.², Bergjord Olsen, A.K.³, Waalen, W.³, Kottmann, L.⁴, Hackauf, B.⁵ and Feike, T.¹

¹Institute for Strategies and Technology Assessment, Julius Kühn Institute (JKI) – Federal Research Centre for Cultivated Plants, Kleinmachnow, Germany, ²Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany, ³Dep. of Grain and Forage Seed Agronomy, Norwegian Institute of Bioeconomy Research, Stjørdal, Norway, ⁴Institute for Crop and Soil Science, Julius Kühn Institute (JKI) – Federal Research Centre for Cultivated Plants, Braunschweig, Germany, ⁵Institute for Breeding Research on Agricultural Crops, Julius Kühn Institute (JKI) – Federal Research Centre for Cultivated Plants, Groß Lüsewitz, Germany, E-Mail: Ashifur.Shawon@julius-kuehn.de

Introduction

Crop simulation models (CSM) are valuable tools in modern agronomic research (Chenu et al., 2017). They enable us to investigate crop development, growth, and yield formation in virtual experiments by integrating genotype, environment, and management information in a dynamic process-based approach. The CSM DSSAT-Nwheat is freely available and widely used in a global context (Kassie et al., 2016). Nwheat was hardly applied under German growth conditions, so a thorough calibration and validation is required prior to model application. Model calibration is often conducted in a rather un-standardized and insufficiently reported manner (Seidel et al., 2018), resulting in a knowledge gap for further model application. Therefore, we here propose, execute, and comparatively assess six alternative calibration strategies for Nwheat for German growth conditions and cultivars.

Materials and Methods

We built on a vast cultivar specific field experiment dataset of Federal and State variety trials complemented by additional wheat field trial data from published sources, adding up to nearly 100 site-years per cultivar (Tab. 1). We use the time-series estimator tool (TSE) for DSSAT (Röll et al., 2020), which allows a coordinated calibration of multiple cultivar and ecotype coefficients. We apply three different calibration approaches in combination with two data sets differing in the number of observed parameters, i.e., with vs. without yield component data. In the first calibration strategy (S1) we follow the classical approach of first calibrating phenology, then biomass growth, then yield, while in the third (S3) we calibrate all coefficients at a time. The second strategy (S2) is a combination of S1 and S3, giving specific weight to grain yield during each calibration step. About one fourth of the data is kept for independent model validation.

Table 1. Overview of experimental data available for model calibration and validation

Cultivar	Site-years	Sites	Calibration + validation datasets	Site-years extensive data	Site-years LSV-trials [‡]	Site-years BSA-trials [‡]
	[number]					
Ludwig	86	54	65 + 21	4	31	51
Mulan	92	47	69 + 23	13	43	46
Winnetou	61	37	50 + 11	12	2	47

[‡] Landessortenversuche (State variety trials) [‡]Bundessortenamtsversuche (Federal Plant Variety Office trials)

Results and discussion

We find substantial differences between strategies regarding coefficient setting and model performance, with S2 leading to the best performance based on different statistical indices. We further find that inclusion of yield component data, i.e., TKM, ear number, and grain number for calibration, improves model performance.

Table 2. Normalized root mean square error (nRMSE) and d-statistics of six calibration strategies for wheat cultivar Ludwig

Error stat.	Data set	Strategy	Cal/Val	GSTD	LAI	Biom.	Tillers m ⁻²	Grain yield	Grain m ⁻²	TKM	Mean error
nRMSE	with [‡]	S1	Cal	15.3	113.7	58.0	136.7	160.8	168.7	201.7	122.1
			Val	20.1	nn	nn	580.8	108.7	178.7	103	198.3
		S2	Cal	15.5	92.9	57.1	135.3	168.7	169.9	213.8	121.9
			Val	18.9	nn	nn	118.3	143.9	196.1	93.7	114.2
		S3	Cal	16.2	93.1	56.9	113.5	176.7	172.6	215.6	120.7
			Val	22.5	nn	nn	157.7	141.5	202.6	86.3	122.1
	without [‡]	S1	Cal	15.3	147.3	59.7	145.1	158.8	178.8	218.1	131.9
			Val	20.1	nn	nn	606.9	117.4	152.6	101	199.6
		S2	Cal	15.5	110.7	58.8	155.9	163.9	206.0	242.4	136.2
			Val	18.9	nn	nn	139.9	103.1	213.1	146.9	124.4
		S3	Cal	15.9	151.6	59.4	380	158.4	171.7	191.9	161.3
			Val	25.2	nn	nn	182.1	128.4	189.5	91	123.2
d-stat	with [‡]	S1	Cal	0.99	0.70	0.9	0.47	0.53	0.39	0.36	0.62
			Val	0.99	nn	nn	0.05	0.51	0.35	0.66	0.51
		S2	Cal	0.99	0.74	0.9	0.44	0.5	0.39	0.35	0.62
			Val	0.99	nn	nn	0.50	0.5	0.37	0.72	0.61
		S3	Cal	0.99	0.75	0.9	0.50	0.48	0.38	0.31	0.62
			Val	0.99	nn	nn	0.48	0.49	0.34	0.74	0.61
	without [‡]	S1	Cal	0.99	0.61	0.9	0.45	0.54	0.41	0.35	0.61
			Val	0.99	nn	nn	0.05	0.48	0.31	0.71	0.51
		S2	Cal	0.99	0.69	0.9	0.41	0.53	0.41	0.33	0.61
			Val	0.99	nn	nn	0.45	0.52	0.35	0.57	0.58
		S3	Cal	0.99	0.61	0.9	0.16	0.53	0.38	0.36	0.56
			Val	0.98	nn	nn	0.45	0.47	0.35	0.68	0.59

[‡] with yield component data [‡] without yield component data

References

- Chenu, K., Porter, J.R., et al. (2017) *Trends Plant Sci.*, 22(6), 472-490.
 Kassie, B.T., Asseng, S., Porter, C.H., et al. (2016). *Europ. J. of Agr.*, 81, 27-36.
 Seidel, S.J., Palosuo, T., Thorburn, P., et al. (2018) *Europ. J. of Agr.*, 94, 25-35.
 Röhl, G., Memic, E. and Graeff-Hönninger, S. (2020). *Agr. J.*, 112(5), 3891-3912.

Acknowledgement

This research was conducted in the frame of the project RYE-SUS funded by the ERA-NET Cofund SusCrop (Grant N°771134; BMBF 031B0812B).

Estimation of canopy parameters using inverted radiative transfer modelling in wheat

L. J. Koppensteiner¹, R. W. Neugschwandtner¹, S. Raubitzek², P. Weihs³, T. Neubauer², H. Wagentristsl⁴, A. Gronauer⁵ and H.-P. Kaul¹

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; ⁴Experimental Farm Groß-Enzersdorf/University of Natural Resources and Life Sciences Vienna; ⁵Institute of Agricultural Engineering/University of Natural Resources and Life Sciences Vienna.
E-Mail: lukas.koppensteiner@boku.ac.at

Introduction

Empirical models have been applied in many studies to estimate canopy parameters, e.g. linear regression between vegetation indices and LAI, nitrogen content and other traits (Mulla, 2013). These approaches are straightforward and often yield good results, however there are also disadvantages. Empirical models cannot be generalized easily, require both sensor and field measurements for calibration as well as validation and often do not utilize all relevant spectral information for a given target application (Baret and Buis, 2008).

An alternative are canopy reflectance models (CRMs). CRMs were established to model the complex interaction of solar radiation with vegetation canopy (Monteith, 1965). They also have been utilized for estimating canopy parameters using remote sensing data. The advantages of CRMs include the better generalizability, reduction in calibration and validation needs as well as the use of all available spectral data. Disadvantages of CRMs are, for example, the generally higher model complexity, the necessity of expert knowledge on model parameterization and inversion techniques and more computational power needed to perform quickly (Berger et al., 2018).

In this study, a model is set up to estimate the canopy parameters LAI and chlorophyll concentration in wheat (*Triticum aestivum*) using an artificial neural network (ANN) inversion of the CRM PROSAIL.

Materials and Methods

The current version of the widely used CRM PROSAIL calculates the canopy reflectance from 400 to 2500 nm in 1 nm increments based on 16 input parameters, which define chlorophyll and carotenoid content, water content, canopy architecture, LAI, soil background, solar diffusivity and observation geometry (Berger et al., 2018). A dataset was simulated consisting of 10000 observations. For each observation, random values were drawn from uniform distributions of all 16 PROSAIL input parameters within the wheat-specific parameter ranges as defined by Danner et al. (2017). PROSAIL was then used to simulate the hyperspectral reflectance of these 10000 random sets of input parameters. The resulting dataset consisted of 10000 observations, which included the 16 random parameter values and the simulated canopy reflectance of the CRM PROSAIL. The dataset was divided into a training (9000 observations) and a testing set (1000 observations). The training set was used to train an ANN. The ANN consisted of 2 fully connected layers (128 neurons each, ReLU activation function). For the corresponding loss function we used “mean absolute error” and for the optimizer we employed the adaptive optimization algorithm “Adam”. The training epochs were set to 500, however early stopping was applied to avoid overfitting. The test set consisting of 1000 observations was used to

evaluate the prediction of LAI and chlorophyll concentration [$\mu\text{g cm}^{-2}$]. For the ANN we used an existing Keras implementation in Python.

Results and Discussion

The ANN-based inversion of the CRM PROSAIL was generally successful. The predicted LAI and chlorophyll concentration values based on our model compared well to the true values of the testing set because most points in Figure 1 fall close to the 1:1 line. The mean absolute error based on the testing set was 0.47 for LAI and 5.04 for chlorophyll concentration. These preliminary results show promising estimations of LAI and chlorophyll concentration.

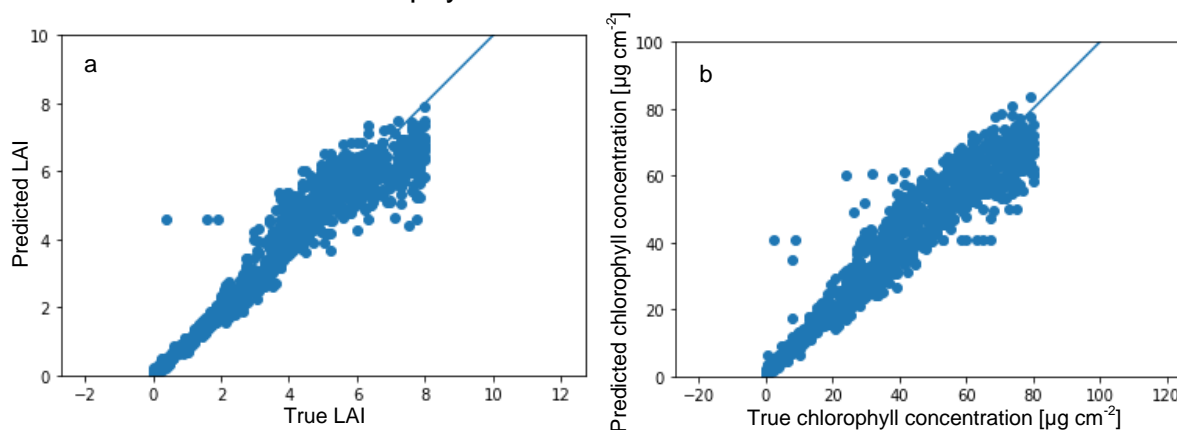


Figure 1: Scatterplot between true and predicted LAI (a) and chlorophyll content (b). For modelling, the proposed ANN-based inversion of the CRM PROSAIL was applied.

In a future step, experimental data of canopy reflectance as well as LAI, nitrogen content, and many other parameters will be used to evaluate this model further. This dataset is based on wheat field experiments with autumn- and spring sowing as well as different nitrogen fertilization levels conducted in the seasons 2019/20 and 2020/21 at the experimental farm Groß-Enzersdorf of BOKU. Additionally, the developed model can further be enhanced by e.g. improving the soil parameterization or using a recurrent neural network for a temporal sequence of data.

Literature

- Baret, F.; Buis, S. 2008. Estimating canopy characteristics from remote sensing observations: Review of methods and associated problems. In *Advances in Land Remote Sensing*; Springer: Dordrecht, Netherlands; 173–201.
- 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, 85–110.
- Danner, M.; Berger, K.; Woche, M.; Mauser, W.; Hank, T. 2017. Retrieval of Biophysical Crop Variables from Multi-Angular Canopy Spectroscopy. *Remote Sensing* 9, 726–746.
- Monteith, J.L. 1965. Light Distribution and Photosynthesis in Field Crops. *Annals of Botany* 29, 17–37.
- Mulla, D.J. 2013. Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Journal of Bioystems Engineering*, 114, 358–371.

Assessment of climate change impact on wheat production in Germany using a multi-model-ensemble

Christian Jorzig¹, Ashifur Rahman Shawon¹, Emir Memic², Anto Raja Dominic¹, Arno de Kock¹, Jörn Strassemeier¹, Burkhard Golla¹ and Til Feike¹

¹Institute for Strategies and Technology Assessment, Julius Kühn-Institut (JKI) | Federal Research Centre for Cultivated Plants, 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 patterns (Reynolds *et al.*, 2016). Thereby the use of a multi-model-ensemble approach in crop modelling can increase simulation robustness compared to single model outputs (Martre *et al.*, 2015). Therefore, this study aims to assess mid-century mean yield development and yield stability of winter wheat (*Triticum aestivum*) under different climate scenarios of RCP 2.6, RCP 4.5 and RCP 8.5 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 (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 compare simulated yields in 2031-2061 with simulated yields in 1971-2000 under different climate scenarios of the core ensemble of the German weather service (Deutscher Wetter Dienst, 2018). These virtual experiments are performed for a range of representative wheat production sites that cover the multitude of soil types and climate conditions present in Germany. Agricultural regions sharing similar conditions for crop production are grouped into so-called Boden-Klima-Räume (BKR), soil-climate-regions (Roßberg *et al.*, 2007). Furthermore, the selection of wheat production sites examined in this study also aimed to cover the most important crop production regions for wheat in the country (Fig. 1). All selected sites are test sites of the Federal Plant Variety Office (Bundessortenamt; BSA) and cultivar-specific experimental data of these sites, among others, had been used for previous model calibration and validation.

Results and Discussion

We find significant differences between climate scenarios and between the three crop models. While for some scenarios all models show comparative yield trends, for some scenarios results differ between models and wheat production sites. The specific assessment of different soil-climate-regions allows a more precise forecast of

climate change impact on potential future wheat production for agricultural regions with certain soil and climate conditions. We demonstrate the potential and necessity of using multi-model ensembles both, with regard to climate change scenarios and crop models, especially when intended for policy advice.

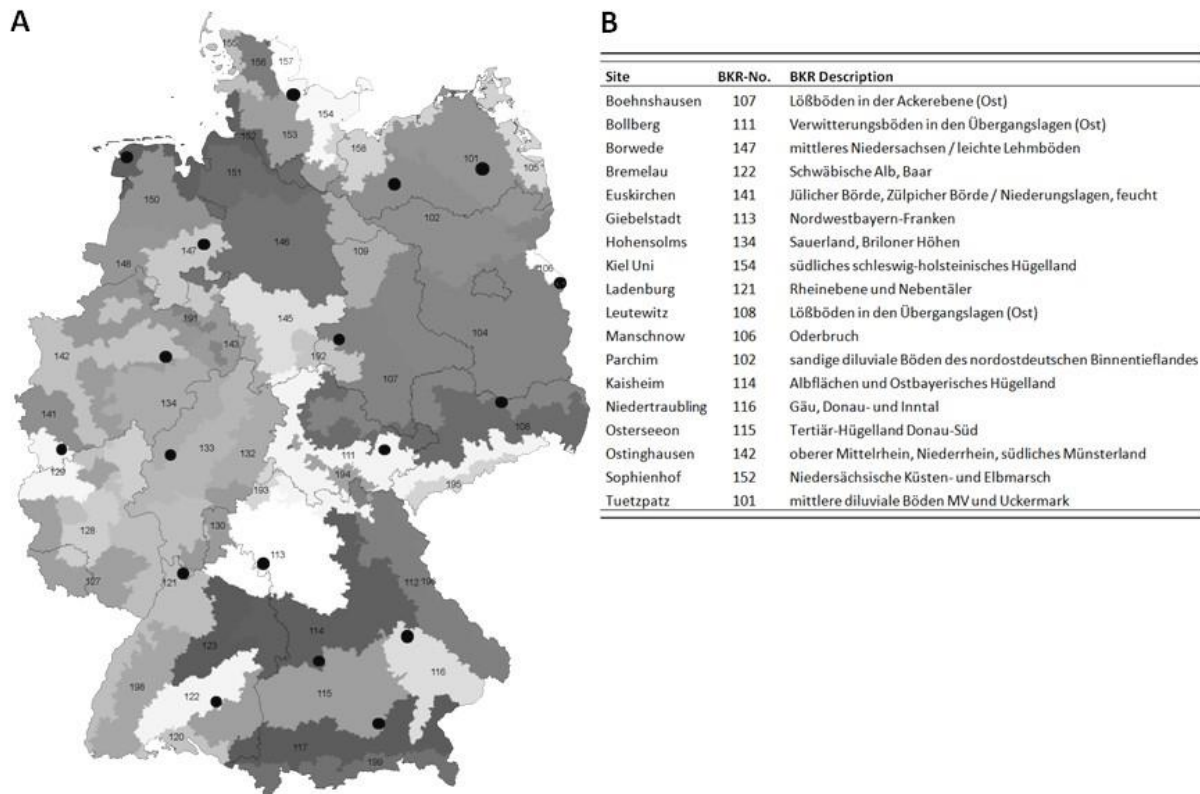


Figure 1. (A) Distribution of the wheat production sites examined in virtual experiments for mid-century mean yield development and yield stability crop modelling of winter wheat (*Triticum aestivum*) under different climate scenarios. Black dots indicate the location of the specific sites; the different soil-climate-regions (Boden-Klima-Räume; BKR) are shown in varying grey scales with corresponding BKR number. (B) List of examined wheat production sites with corresponding BKR-No. and respective description.

References

- Deutscher Wetter Dienst (DWD) (2018) Datensätze auf der Basis der RCP – Szenarien. www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimaprojektionen/fuer_deutschland/fuer_dtlid_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., 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.
- 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.
- Roßberg, D., V. Michel, R. Graf, R. Neukampf, 2007: Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 59 (7), 155–161.

Quantifying cultivar-specific sensitivities of yield components to fluctuating environmental variables during the developmental sub-phases in winter wheat

Khadija Sabir^a, Till Rose^b, Agim Ballvora^c, Wolfgang Friedt^d, Henning Kage^b, Jens Léon^{ce}, Frank Ordon^f, Rod J. Snowdon^d, Andreas Stahl^{df}, Hartmut Stützel^a, Benjamin Wittkop^d, Holger Zetzsche^f, and Tsu-Wei Chen^{a,g}

^aInstitute of Horticultural Production Systems, Leibniz University Hannover, Hannover, Germany;

^bDepartment of Agronomy and Crop Science, Christian Albrechts University of Kiel, Kiel, Germany;

^cInstitute of Crop Science and Resource Conservation, Chair of Plant Breeding, University of Bonn, Bonn, Germany; ^dDepartment of Plant Breeding, IFZ Research Centre for Biosystems, Land Use and Nutrition, Justus Liebig University, Giessen, Germany; ^eField Lab Campus Klein-Altendorf, University of Bonn, Rheinbach, Germany; ^fJulius Kuehn Institute (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Resistance Research and Stress Tolerance, Quedlinburg, Germany; ^gAlbrecht Daniel Thaer Institut of Agricultural and Horticultural Science, Humboldt University Berlin.

E-Mail: sabir@gem.uni-hannover.de

Introduction

Grain yield per unit area is a complex trait determined by the three yield components, spike number per unit area, kernel number per spike, and thousand grain weight that vary considerably as a result of the environmental conditions during the growing season (Fischer, 2011). Depending on the timing of environmental fluctuations, the extent of their effects on different yield components varies (Slafer, 2003; Hammer *et al.*, 2006; Fischer, 2011). With enhanced climatic variability during summer across Europe, negative effects on yield have increased. Therefore, we used a statistical approach to examine the effects of fluctuating environmental variables (global radiation, daily mean, maximum and minimum temperatures, soil water content and precipitation) during multiple developmental sub-phases of the yield components i.e. spike number, thousand kernel weight, and kernel number per spike.

Material and Methods

Field trials with 220 wheat cultivars were conducted in three seasons (2014–2017) at six different locations throughout Germany with diverse environmental conditions. Experimental sites included Gross Gerau, Hannover, Klein-Altendorf, Kiel, Quedlinburg, Rauischholzhausen. The experimental design was a randomized block design with two replications, where cultivars were randomized within four sub-groups according to flowering time and plant height. Plots were treated with three levels of nitrogen supply and plant protection chemicals, for detail see Voss-Fels *et al.* (2019) and Lichthardt *et al.* (2020). Temperature, rainfall and radiation were recorded with hourly resolution by weather stations close to study sites. Soil water potential and soil water content were simulated using the dynamic crop growth modeling environment HUME (Kage and Stützel, 1999). Spike number (spikes m⁻²), thousand kernel weight (g), and kernels per spike were determined according to Voss-Fels *et al.*, (2019) and Lichthardt *et al.* (2020).

Statistical analysis: The total period of ± 800 °Cd (i.e. ± 40 days), from heading of the j^{th} cultivar in each experiment was chosen to cover the main developmental stages of yield components (from double ridge to seed desiccation (Guo *et al.*, 2018; Xie *et al.*, 2015)). We sub-divided this development time span into 81 time-windows using sliding time-windows. For each time-window, the mean of an environmental variable under which the j^{th} cultivar in j^{th} location and k^{th} year was grown, was regressed

against the phenotypic observation of a yield component of the i^{th} cultivar. Two regression models, one with only 3 treatment levels and the second with both environmental variables and treatment levels as explanatory variables, were used. Both models were further compared by ANOVA to identify their explanatory power. ANOVA $-\log p_{\text{value}}$ of all comparisons was used to quantify the significance of an environmental effect in a time-window on yield components. All analyses were performed in the R environment (R Core Team, 2014).

Results and Discussion

Most sensitive developmental sub-phases of the main yield components to fluctuating environmental variables were identified. For example, the effects of global radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) on kernel per spike were significant during three time-windows (two before heading and one around the end of anthesis). Effects of unit change in an environment variable on cultivar performance for development of a yield component during time-windows were further calculated. Positive or negative effects during an identified sensitive time-window indicated the increase or decrease of a yield component per unit change in an environmental variable. Moreover, sensitive periods of yield components to environmental variables were found to be cultivar-specific as not all of the 220 cultivars showed equal response in all time-windows. Early and late flowering cultivars also showed differences in their phenology and sensitivity. Thus, cultivar-specific and time-window-specific sensitivities of yield components to environmental variables were identified. Therefore, this statistical approach provides an alternative strategy to better understand the interactions between wheat phenology, its yield components and effects of variations in environmental variables.

References

- Fischer, RA. 2011. Wheat physiology: A review of recent developments. *Crop and Pasture Science* 62, 95.
- 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. *Plant J* 95, 909–918.
- Hammer, G, Cooper, M, Tardieu, F, Welch, S, Walsh, B *et al.* 2006. Models for navigating biological complexity in breeding improved crop plants. *Trends in Plant Science* 11, 587–593.
- Kage, H., and Stützel, H. 1999. HUME: An object oriented component library for generic modular modelling of dynamic systems. *Modelling cropping systems. European Society of Agronomy, Lleida, Spain*, 299–300.
- Lichthardt, C, Chen, T-W, Stahl, A, Stützel, H. 2020. Co-evolution of sink and source in the recent breeding history of winter wheat in Germany. *Frontiers in Plant Science* 10, 1–15.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Slafer, GA. 2003. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Annals of Applied Biology* 142, 117–128.
- Voss-Fels, KP, Stahl, A, Wittkop, B, Lichthardt, C, Nagler, S *et al.* 2019. Breeding improves wheat productivity under contrasting agrochemical input levels. *Nature Plants* 5, 706–714.
- Xie Q, Mayes S, Sparkes DL. 2015. Carpel size, grain filling, and morphology determine individual grain weight in wheat. *J Exp Bot* 66, 6715–6730.

Bewertung und Akzeptanz heterogener Weizenpopulation in ökologischen Wertschöpfungsketten (BAKWERT) – Blattkrankheitsbefall aus dem Versuchsjahr 2020/21

Odette Weedon¹, Lena Kilian¹, Annette Haak², Torsten Siegmeier³, Detlev Möller³ und Maria R. Finckh¹

¹Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz, Witzenhausen; ²Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Emmendingen-Hochburg; ³Universität Kassel, Fachgebiet Betriebswirtschaft, Witzenhausen. E-Mail: odetteweedon@uni-kassel.de

Einleitung

Europäische Weizensorten verzeichnen einen Rückgang der Reaktionsvielfalt gegenüber aktuellen Umweltbedingungen (Kahiluoto et al., 2019), was zu einer begrenzten Sortenresistenz und Resilienz gegenüber Klimaschwankungen führt. Die positiven Zusammenhänge zwischen Vielfalt, Stabilität und Produktivität haben innovative evolutionäre Züchtung für Vielfalt auf der Grundlage von heterogenen Populationen inspiriert (Döring et al., 2011; Murphy et al., 2013). Heterogene Weizenpopulationen erfreuen sich eines zunehmenden Interesses in der ökologischen Landwirtschaft. Aktuelle Ergebnisse attestieren solchen Populationen gegenüber Liniensorten eine tendenziell bessere Ertragsstabilität (Weedon & Finckh, 2019; Vollenweider et al., 2020), sowie vergleichbar gute Erträge und Blattkrankheitsresistenzen (Weedon & Finckh, 2021). Als Reaktion auf die Notwendigkeit einer ökologischen Intensivierung der Landwirtschaft hat die EU gemäß der Richtlinie 2014/150/EU den Anbau und die Vermarktung heterogener Getreidepopulationen zeitlich befristet bis 28.02.2021 ermöglicht (European Commission, 2014; 2018). Für den Ökolandbau ist durch die ab 01.01.2022 in Kraft tretende neue EU Öko-Verordnung eine dauerhafte Zulassung von heterogenem Material bei allen Kulturen möglich.

Trotz Unterstützung durch die Wissenschaft und neue gesetzliche Regelungen ist die Akzeptanz der heterogenen Weizenpopulationen entlang der Wertschöpfungskette bisher eingeschränkt. Ein großes Hindernis für die Etablierung von Weizenpopulationen ist der Mangel an Erfahrung im Umgang mit heterogenem Material entlang der Prozesskette (Burwitz, 2019). Das Gesamtziel des BAKWERT-Projektes ist die Weiterentwicklung und Verbreitung dieses innovativen agrarökologischen Züchtungsansatzes durch die Etablierung und Erforschung regionaler ökologischer Wertschöpfungsketten für heterogene Winterweizenpopulationen in Zusammenarbeit mit Landwirten, Mühlen und Bäckereien (www.bakwert.de). In diesem Beitrag werden agronomische und phytopathologische Ergebnisse der on-farm Produktion gezeigt.

Material und Methoden

Im Rahmen des BAKWERT-Projektes werden zwei heterogene Winterweizenpopulationen ‚Brandex‘ und ‚Equality‘ im Vergleich zur Sorte ‚Aristaro‘ on-farm getestet. Für die erste Anbausaison (2020/21) haben zehn ökologisch wirtschaftende Landwirte, aufgeteilt in drei regionale Cluster (Nord-, Mittel- und Süddeutschland), jede Weizenherkunft in Streifen (mind. 0.4 ha/Herkunft) innerhalb desselben Schlages ausgesät. Die Blattkrankheitsbonituren wurden einmal pro Betrieb zwischen dem 22.06. und 24.06.2021 durchgeführt (BBCH 72-77). Für jeden

Betrieb wurde die nicht-grüne Blattfläche (NGBF %) auf einer Fläche von ca. 25 cm Länge entlang der Pflanzenreihe 18 mal pro Weizenherkunft bonitiert. Zusätzlich wurden pro Beobachtung die am häufigsten auftretenden Blattpathogene notiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die häufigsten Krankheitserreger, die über alle Standorte hinweg gefunden wurden, waren *Drechslera tritici-repentis* und *Septoria* spp., gefolgt von Gelbrost (*Puccinia striiformis*). Generell war der Krankheitsdruck über alle Standorte hinweg gering, wobei die Population ‚Brandex‘ (MW 8%) im Vergleich zu ‚Aristaro‘ (MW 11%) und ‚Equality‘ (MW 12%) einen niedrigeren Krankheitsbefall zeigte ($P < 0.001$). Die Variabilität innerhalb der Felder war insgesamt in den Populationen höher als bei ‚Aristaro‘.

Der Blattkrankheitsdruck war im südlichen Cluster (MW 6%) am geringsten, gefolgt vom nördlichen (MW 14%) und mittleren Cluster (MW 17%) ($P < 0.001$), ohne signifikante Interaktion zwischen Cluster und Weizenherkunft. Die niedrigeren Krankheitswerte, die im südlichen Cluster gefunden wurden, sind möglicherweise auf unterschiedliche Personen, die die Bonituren durchgeführt haben zurückzuführen. Es wurden auch unterschiedliche Erregerfrequenzen zwischen den Clustern gefunden, was zu den Unterschieden in den NGBF-Werten zwischen den Clustern beigetragen haben könnte. Zumindest unter den Bedingungen eines geringen Krankheitsdruckes in der laufenden Anbausaison waren die beiden heterogenen Weizenpopulationen mit der Sorte ‚Aristaro‘ vergleichbar. Weitere Ergebnisse, einschließlich der Pathogenfrequenzen, der Variabilität innerhalb der Schläge sowie Erträge, werden im Poster vorgestellt.

Literatur

- Burwitz L. (2019) Factors influencing the adoption of heterogeneous wheat populations - A qualitative study along the value chain. University of Kassel.
- Döring T.F., Knapp S., Kovacs G., Murphy K., Wolfe M.S. (2011) Evolutionary plant breeding in cereals-into a new era. *Sustainability*, 3, 1944–1971.
- Kahiluoto H., Kaseva J., Balek J., Olesen J.E., Ruiz-Ramos M., Gobin A., Kersebaum K.C., Takáč J., Ruget F., Ferrise R., Bezak P., Capellades G., Dibari C., Mäkinen H., Nendel C., Ventrella D., Rodríguez A., Bindi M., Trnka M. (2019) Decline in climate resilience of European wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116, 123–128.
- Murphy K.M., Carter A.H., Jones S.S. (2013) Evolutionary Breeding and Climate Change, In *Genomics and Breeding for Climate-Resilient Crops: Vol. 1 Concepts and Strategies*, pp. 377–389. Ed C. Cole. Berlin, Germany: Springer.
- Vollenweider C., Haak A., Buhmann K., Locher M., Weyermann V., Schwittek G., Mascher F., Finckh M.R., Weedon O.D. (2020) Stability of yield and baking quality parameters of heterogeneous wheat populations, In *Tagungsband der 71. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs*, pp. 3–6.
- Weedon O.D., Finckh M.R. (2019) Heterogeneous Winter Wheat Populations Differ in Yield Stability Depending on their Genetic Background and Management System. *Sustainability*, 11, 6172.
- Weedon O.D., Finckh M.R. (2021) Resilience of wheat composite cross populations to disease and climate vagaries over 13 generations. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. Available at: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021394>.

Ertragsbildung von Wintermohn bei unterschiedlichen Saatterminen

Reinhard Neugschwandtner¹, Georg Dobos², Helmut Wagentristsl³
und Hans-Peter Kaul¹

¹Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Tulln; ²Zeno Projekte, Wien;

³Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Groß-Enzersdorf.

E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at

Einleitung

Der Anbau von Mohn hat in Österreich eine lange Tradition. Mohnsamen werden für Backwaren, andere Speisen, als Speiseöl, aber auch in der pharmazeutischen Industrie und zur Herstellung von Farben und Seifen verwendet. Die Anbaufläche ist mit nur 2949 ha im Jahr 2019 jedoch gering. Die Erträge schwanken jahresabhängig zwischen 700 und 1000 kg/ha. Da Mohn überwiegend als Sommermohn angebaut, wird der Anbau mit fortschreitendem Klimawandel herausfordernder werden.

Als Alternative bietet sich hier Wintermohn an. Dieser ist keine typische winterannuelle Pflanze mit Vernalisationsbedarf, sondern laut Dobos et al. (2011) „ein winterfester Mohngenotyp, der im Laufe der Kulturpflanzen-Evolution eine morphologische Anpassung als Winterung erfahren hat“. Die in Wien ansässige Firma Zeno Projekte konnte 1997 mit ZENO die erste Wintermohnsorte der EU zulassen. Die höheren Erträge von Winter- im Vergleich zu Sommermohn werden auf die längere Vegetationszeit, die höhere Kornanzahl pro Kapsel und das höhere TKG zurückgeführt.

Es fehlen jedoch für den zentraleuropäischen Raum grundlegende Erfahrungen für den optimalen Saatzeitpunkt. Beim Saatzeitpunkt stellt sich die Frage, ob früh, wie der Raps, oder erst später, wie der Winterweizen, gesät werden soll. Für ersteres würde eine gute Bestandesetablierung vor dem Winter sprechen. Für zweiteres die höhere Winterhärte. Denn die Winterfestigkeit korreliert negativ mit der Rosettenform. Je weniger weit die Pflanze entwickelt ist, also je kleiner die Rosette ist, desto weniger empfindlich ist sie (Dobos, 2005).

Material und Methoden

Der Versuch wurde in den Jahren 2014/15 und 2015/16 an der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf der Universität für Bodenkultur Wien im Marchfeld im Osten Österreichs auf einem Tschernosemboden vierfach wiederholt durchgeführt. Die Wintermohnsorte „ZENO2002“ wurde an vier Saattermine (ST) beginnend ab Anfang September in rund zweiwöchigen Abständen ausgesät, wobei es witterungsbedingt zu geringfügigen Änderungen kam: ST 1 = 8.9.2014 bzw. 8.9.2015, ST 2 = 22.9.2014 bzw. 22.9.2015, ST 3 = 2.10.2014 bzw. 6.10.2015, ST 4 = 13.10.2014 bzw. 27.10.2015. Die Ergebnisse werden als Mittelwerte über beide Jahre und beide Saatstärken (0,5 bzw. 1 kg/ha) gezeigt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Pflanzendichte war bei den ST 2 und 4 am höchsten und beim ST 3 am niedrigsten. Die Anzahl an Kapseln pro Pflanze war beim ST 3 am höchsten und beim ST 4 am niedrigsten. Die Kapseldichte war bei den ersten Terminen höher als beim ST 4. Das TKG war wie folgt gereiht: $2 \geq 3 \geq 1 \geq 4$. Die Anzahl der Körner pro

Kapsel war bei den ST 3 und 4 höher als bei den ST 1 und 2. Der Kornertrag war beim ST 3 am höchsten.

Tab. 1: Ertragsstruktur und Kornertrag in Abhängigkeit des Saattermines. Mittelwerte über beide Jahre. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Saatterminen.

	Saattermine			
	8.9.2014/ 8.9.2015	22.9.2014/ 22.9.2015	2.10.2014/ 6.10.2015	13.10.2014/ 27.10.2015
	1	2	3	4
Pflanzendichte (Pflanzen/m ²)	42,4 ^{ab}	46,2 ^a	36,7 ^b	46,2 ^a
Kapseln/Pflanze	1,83 ^b	1,85 ^b	2,29 ^a	1,37 ^c
Kapseldichte (Kapseln/m ²)	71,8 ^a	75,8 ^a	77,6 ^a	60,8 ^b
TKG (g)	0,415 ^{bc}	0,432 ^a	0,424 ^{ab}	0,408 ^c
Körner/Kapsel	6391 ^b	6290 ^b	7774 ^a	7389 ^a
Kornertrag (kg/ha)	1852 ^b	2028 ^b	2549 ^a	1814 ^b

Die hohen Erträge beim ST 3 wurden aufgrund der hohen Anzahl an Kapseln pro Pflanze, des hohen TKGs und der hohen Anzahl an Körnern pro Kapsel und trotz der geringen Pflanzendichte erreicht. Die niedrigeren Erträge beim ST 1 ergeben sich vor allem aus der geringen Anzahl an Kapseln pro Pflanze und Körnern pro Kapsel. Während die niedrigen Erträge des ST 4 sich vor allem aus der sehr niedrigen Anzahl an Kapseln pro Pflanze und damit der geringen Kapseldichte und dem niedrigen TKG ergeben, während die Anzahl an Körner pro Kapsel hoch war.

Die Kornträge von Wintermohn im Marchfeld liegen bei allen Saatterminen deutlich über dem durchschnittlichen Mohnertrag in Österreich, der sich jedoch vor allem aus den Erträgen von Sommermohn ermittelt. Somit sollte sich Wintermohn gut in jede Fruchtfolge einbauen lassen, auch nach späträumenden Vorfrüchten.

Literatur

- Dobos, G., 2005. Wintermohn - Anpassung und agronomische Aspekte. In: Bericht über die 56. Tagung 2005 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, HBLFA Raumberg - Gumpenstein, 22.-24. November 2005, 53-55.
- Dobos, G., Kurch, R., Börner, A., Lohwasser, U., 2011. Untersuchungen zur Winterfestigkeit von Schlafmohn (*Papaver somniferum* L.) der Genbank in Gatersleben. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen 16(4), 151-155.

Plastik im Grünland? Einfluss von Mikroplastik auf das Pflanzenwachstum am Beispiel von Deutschem Weidelgras

Hanna Cornelsen und Nicole Wrage-Mönnig

Professur für Grünland und Futterbauwissenschaften, Universität Rostock, Rostock.

Email: hanna.cornelsen@uni-rostock.de

Einleitung

Studien zu den Auswirkungen von Mikroplastik (MP) auf marine und limnische Lebensformen lassen einen negativen Einfluss auch in terrestrischen Kompartimenten vermuten. Die Eintragspfade der Partikel in den Boden sind hierbei vielfältig, je nach Größe und Form können sie entweder durch die Luft verlagert werden oder es findet ein Eintrag direkt über landwirtschaftliche Tätigkeiten statt (Verwendung von Mulchfolien, Beregnung, Klärschlamm, Reifenabrieb, etc.) (Bergmann et al., 2019; Li et al., 2020). Über die Interaktion zwischen MP und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen ist bisher wenig bekannt, es mangelt an Qualität und Quantität vergleichbarer Analysemethoden (Qi et al., 2020). Ziel dieser Untersuchungen war daher, Einsichten in die Auswirkungen von MP auf das Keimverhalten und Wachstum bedeutender Futtergräser (Einjähriges und Deutsches Weidelgras) zu erlangen. Vorversuche haben eine Einflussnahme von MP auf den Wasserhaushalt der Pflanzen vermuten lassen. Zu diesem Zwecke wurden unterschiedliche Analysemethoden angewendet, um verschiedene Auswirkungen von MP auf die Pflanzen erfassen zu können.

Material und Methoden

Für die Untersuchungen der Auswirkungen von Mikroplastikpartikeln auf die Keimung und das Wachstum von Weidelgras wurden Keimversuche mit *Lolium multiflorum* Lam. var. *Westerwoldicum* („Pollanum“, DSV, Lippstadt, Deutschland) im Labor unternommen sowie ein Gefäßversuch im Freiland mit *Lolium perenne* („Trivos“, DSV, Lippstadt, Deutschland). In den Keimversuchen wurden die Auswirkungen von Polyvinylchlorid-Partikeln (PVC, 1-63 µm) mit denen von Partikeln aus LKW-Reifen (W 0004 (< 80 –400 µm); W 0610 (600 –1000 µm); W 2550 (< 2000 –5000 µm)) in fünf Konzentrationsgruppen (0 g; 0,5 g; 1 g; 1,5 g; 2 g) verglichen. Im Anschluss an die Wachstumsperiode von 10 Tagen wurde das Pflanzenmaterial auf sein Keimverhalten und die Biomasse hin untersucht. Im Gefäßversuch im Freiland wurden PVC-Partikel in drei Größenbereichen (< 0,25 mm; ~ 5 mm; > 5 mm) dem Boden beigemischt und diesmal die Auswirkungen auf das Wachstum von *Lolium perenne* beobachtet. Für die Analysen wurden pflanzenbauliche Ertragsparameter (Wachstumsrate, Ertrag Biomasse, Wurzelparameter) verwendet, sowie wöchentliche Aufnahmen der Blattoberflächentemperaturen mithilfe einer Infrarotkamera (VarioCam HD, Infratec GmbH, Dresden, Deutschland) durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Im Keimversuch zeigte sich eine deutlich negative Wirkung der MP-Partikel auf die Keimung und Jugendentwicklung des Weidelgrases. Die Anzahl der abnormal gekeimten Samen war bei allen Behandlungen im Vergleich zur Kontrollgruppe

erhöht (siehe Tab. 1). Insbesondere die Beimengung von PVC wirkte hierbei stark negativ auf die Entwicklung der Pflanzen. Bereits in der geringsten Konzentrationsstufe fand für die Samen unter dem Einfluss von PVC keine normale Keimung mehr statt.

Tab. 1: Darstellung der Keimraten in % des Einjähriges Weidelgrases unter dem Einfluss von Mikroplastik (MP) in Behandlungen mit 0,5 und 2 g MP je Petrischale. Es werden Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen gezeigt.

Art MP	Menge MP in g	Keimung normal in %	Keimung abnormal in %	Ungekeimt in %
Kontrolle	/	74 ± 10,6	6 ± 2,0	20 ± 9,2
PVC	0,5	0 ± 0,0	20 ± 12,5	80 ± 12,5
	2,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	100 ± 0,0
W 2550	0,5	66 ± 8,3	8 ± 1,2	26 ± 7,6
	2,0	42 ± 21,6	22 ± 13,6	36 ± 8,1
W 0610	0,5	64 ± 6,4	10 ± 0,0	26 ± 6,4
	2,0	36 ± 24,2	22 ± 12,9	42 ± 16,4
W 0004	0,5	46 ± 15,0	18 ± 9,5	36 ± 6,1
	2,0	34 ± 24,2	24 ± 3,1	42 ± 24,6

Für die drei verschiedenen MP-Arten von Reifenabrieb (W 2550, W 0610, W 0004) war der Anteil der abnormal und ungekeimten Samen im Vergleich zur Kontrolle ebenfalls stark erhöht. Eine Tendenz zeigte sich dahingehend, dass die Partikelgröße einen Einfluss auf das Keimergebnis hatte. Je kleiner die verwendeten MP-Partikel, desto höher war der Anteil abnormal gekeimter Samen. Die Ergebnisse aus dem Gefäßversuch im Freiland konnten mittels Infrarotaufnahmen der Blattoberflächen bisher keinen signifikanten Einfluss von MP auf die Blattoberflächen von Weidelgras nachweisen. Allerdings zeigte sich auch hier ein starker Einfluss der Partikel auf die Wurzelmorphologie und Ertragsparameter. Die hier dargestellten Untersuchungen zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen MP und einem reduzierten Wachstum von Weidelgras. In Anbetracht der raschen Zunahme einer Vielzahl von Kunststoffen in der Umwelt gibt dieser Umstand Anlass zur Sorge und bedingt weiteren Forschungs- und Handlungsbedarf.

Literatur

- Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, P., Tekman, M. B., Trachsel, J., & Gerdt, G. (2019). White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science Advances*, 5(8), eaax1157.
- Li, Z., Li, Q., Li, R., Zhao, Y., Geng, J., & Wang, G. (2020). Physiological responses of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to microplastic pollution. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(24), 30306–30314.
- Qi, Y., Ossowicki, A., Yang, X., Huerta Lwanga, E., Dini-Andreote, F., Geissen, V., & Garbeva, P. (2020). Effects of plastic mulch film residues on wheat rhizosphere and soil properties. *Journal of Hazardous Materials*, 387, 121711.

Beeinflusst die Wärmeemission von unterirdischen Hochspannungsleitungen Boden und Kulturpflanzen?

Ken Uhlig und Jan Rücknagel

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Allgemeiner Pflanzenbau / Ökologischer Landbau, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle(Saale) E-Mail: Ken.Uhlig@landw.uni-halle.de

Einleitung

Die 2011 beschlossene „Energiewende“ hin zu mehr erneuerbaren Energien forciert einen angepassten Netzausbau (Renn and Marshall, 2016). In Norddeutschland produzierter Strom wird überwiegend in Süddeutschland verbraucht. Der SuedOstLink, eine länderübergreifende Stromtrasse zur Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) mit einer Leistung von 525kV und einer Länge von 538 km, wird als Erdkabel umgesetzt und soll hierbei Abhilfe schaffen (Bundesnetzagentur, 2021). Allerdings ist wenig über die Auswirkung einer dauerhaften Wärmeemission einer HGÜ-Leitung auf den Wasserhaushalt und die Bodentemperatur in den darüberliegenden Schichten, auf das Wurzelwachstum, die Pflanzenentwicklung und den Ertrag bekannt. Zur Klärung der Fragen wurde ein Modellversuch an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg initiiert.

Material und Methoden

Für diesen Versuch wurden 24 Gefäße mit einem Durchmesser von 50 cm und einer Höhe von 140 cm konstruiert und mit Messtechnik ausgestattet. Stellvertretend für die unterschiedlichen Böden im geplanten Trassenverlauf in Sachsen-Anhalt wurde in 12 Gefäße ein tiefgründiger Löss (Loess) und in 12 Gefäße ein Sandlöss über Sand (Sand), unter Berücksichtigung der typischen Lagerungsdichte und getrennt nach Ober- und Unterboden, eingebaut. Jeweils sechs Gefäße sind zur Simulation der Abwärme eines HGÜ-Kabels an der Unterseite mit 50°C beheizt. Die anderen dienen als Kontrolle. Weiterhin wurden drei unterschiedliche Jahresniederschläge (trocken 407 mm, mittel 527 mm, feucht 678 mm) nachgeahmt. Die Untersuchung ist damit als dreifaktorieller Versuch mit zwei Wiederholungen konzipiert und findet unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus statt. Über drei Kulturphasen hinweg wurde eine Fruchtfolge, bestehend aus Sommergerste (*Hordeum vulgare*), Zuckerrüben (*Beta vulgaris*) und Sommerweizen (*Triticum aestivum*), etabliert. Für die Bestimmung der Ertrags- und Qualitätsparameter wurden die Ernteprodukte zunächst über 48h bei 60°C getrocknet (Trockenschrank ULE 800, Memmert). Der Proteingehalt des Getreides wurde mit Hilfe der Nahinfrarotspektroskopie (Infratec 1241, FOSS) bestimmt. Die Rüben wurden gewaschen, gewogen und zu Rübenbrei verarbeitet, der am Institut für Zuckerrübenforschung in Göttingen analysiert wurde. Die Ergebnisse wurden mit einer zweifaktorielle ANOVA (Niederschlag*Beheizt) ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Sommergerste und Zuckerrübe reagieren im Gefäßversuch mit unterschiedlichem Ertragsverhalten auf die Wärmeemission im Boden. Die Wirkung der Niederschlagsstufen sind dabei deutlich ausgeprägt und auch die Bodenart spielt tendenziell eine Rolle. So liegt der Kornertrag der beheizten Sommergerste für beide Bodenvarianten signifikant unter der Kontrolle, hingegen zeigen nur auf dem Sand die Niederschlagsstufen einen signifikanten Effekt (**Abb. 1A**). Alle Gefäße wurden

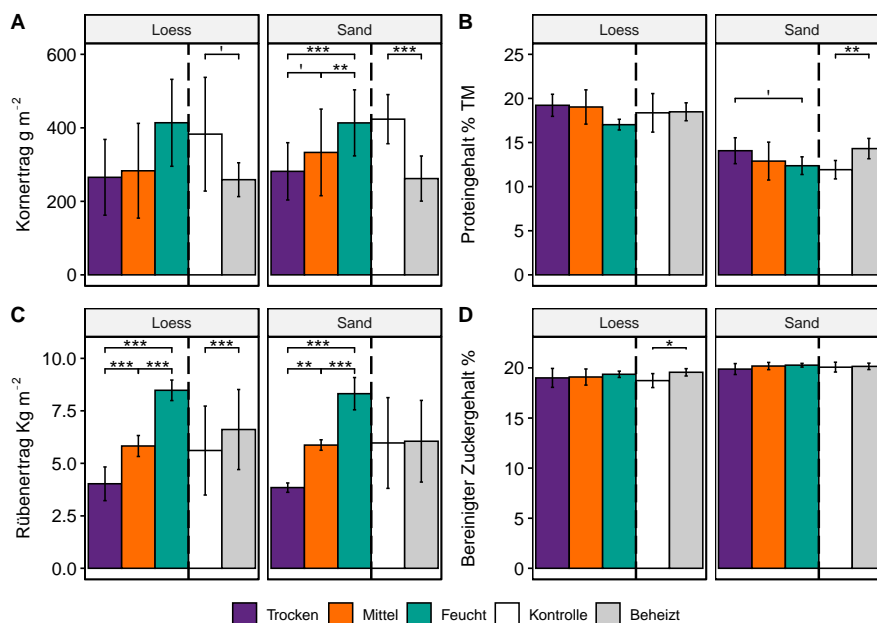


Abb. 1: Mittelwerte zu (A) Kornertrag und (B) Proteingehalt (Trockenmasse, TM) für Sommergerste sowie (C) Rüben-ertrag und (D) bereinigter Zuckergehalt für die Zuckerrübe. Fehlerbalken zeigen Standardabweichung. Darstellung getrennt zwischen den drei Bewässerungsstufen und „Beheizt“ und „Kontrolle“. Signifikanz $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$, $p < 0,1 = '$

initial auf ca. 90% Feldkapazität (FK) bewässert. Anzunehmen ist, dass die höhere FK des Loess den Effekt in der ersten Kulturphase kaschiert. In der zweiten Kulturphase zeigen sich unabhängig von der Bodenvariante hochsignifikante Ertragsunterschiede der Zuckerrübe zwischen den Niederschlagsstufen (**Abb. 1C**). Interessant ist der gegenteilig zur Sommergerste signifikant höhere Ertrag der beheizten Zuckerrüben auf dem Loess. Eine mögliche Erklärung liegt im Wurzelwachstum. Wärme, wie zum Beispiel die simulierte Wärmeemission im Versuch, kann das Wurzelwachstum in unterschiedlicher Weise und Intensität beeinflussen. Dies ist unter dem Begriff Thermotropismus bekannt (Muthert and Izzo, 2020). Die erhöhte Bodentemperatur wirkte sich negativ auf das Wurzelwachstum der Sommergerste aus, wodurch in den tieferen Bodenschichten weniger Bodenwasser akquiriert wurde (Daten nicht dargestellt). Die Zuckerrübe als Folgekultur konnte anschließend von dem verbliebenen Bodenwasser profitieren und es auf dem Loess in einen signifikant höheren Ertrag umsetzen. Bei den Qualitätsparametern zeigt sich für die beheizte Sommergerste auf dem Sand reziprok zum Ertrag ein signifikant höherer Proteingehalt und die Bewässerungsstufen haben einen tendenziellen Einfluss (**Abb. 1B**). Der bereinigte Zuckergehalt der Rüben ist auf dem Loess signifikant positiv durch die Wärmeemission beeinflusst. Die Sandvariante zeigt keine Unterschiede (**Abb. 1D**). Eine Wechselwirkung wurde für die Daten nicht gefunden.

Literatur

- Bundesnetzagentur, 2021. Monitoring des Stromnetzausbaus - Viertes Quartal 2020.
- Muthert, L.W.F., Izzo, L.G., 2020. Root Tropisms: Investigations on Earth and in Space to Unravel Plant Growth Direction. *Frontiers in Plant Science* 10, 22.
- Renn, O., Marshall, J.P., 2016. Coal, nuclear and renewable energy policies in Germany: From the 1950s to the “Energiewende.” *Energy Policy* 99, 224–232.

Anbau von Steinklee - Wiedereinführung in die Praxis und Verbesserung der Anbausituation

Andreas Gurgel und Julia Schneider

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow-Prüzen

Einleitung

Gegenwärtig ist Mais das dominierende pflanzliche Kosubstrat für die Biogasgewinnung. Alternative Pflanzenarten werden bisher wenig in der Praxis eingesetzt. Gerade auf den grundwasserfernen Sandböden Nordostdeutschlands gibt es schwerwiegende Probleme: vielerorts sehr enge Fruchtfolgen sowie negative Humusbilanzsalden aufgrund insgesamt niedriger Biomasseerträge. Die Gefahr der Degradation der Böden durch die unzureichende Humuszufuhr ist akut. Mit wuchsfreudigen Pflanzen wie dem Steinklee kann auf diesen ertragsschwachen Sandstandorten eine geeignete Kultur zur Gestaltung von nachhaltigen Energiepflanzenfruchtfolgen eingesetzt werden, um diesen Trend zu stoppen. Mit seinem Pfahlwurzelsystem und der intensiven Durchwurzelung des Oberbodens ist der Steinklee wie keine andere Pflanzenart auf den trockenen Sandstandorten in der Lage, die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern und vor Bodenerosion zu schützen. Eine gezielte Erhöhung oder mindestens Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in der Fruchtfolge trägt in jedem Fall zur Nachhaltigkeit der Pflanzenproduktion bei. Mit dem angestrebten Vorhaben wird die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Landwirtschaft sowie der vor- und nachgelagerten Bereiche gestärkt und erhalten. Mit dem Steinkleeanbau lässt sich neben der Gewinnung von Biomasse die Förderung der Bodenfruchtbarkeit verbinden. Als Leguminose benötigt Steinklee keine N-Düngung, es kann sogar mineralischer N-Dünger in der Folgekultur reduziert werden. Als nachwachsender Rohstoff ist der Steinklee in der Biogasanlage zu nutzen. Steinklee ist des Weiteren eine Pflanze, die besonders vielen Insekten einen Lebensraum bietet und besitzt somit einen hohen ökologischen Wert. Ein gezielter Steinkleeanbau kann deshalb dem Mangel an Blühpflanzen entgegenwirken und negative Wirkungen eines einseitigen Energiepflanzenanbaus ausgleichen. Für eine Wiedereinführung in die landwirtschaftliche Praxis ist eine Unterstützung und Begleitung der interessierten Betriebe im Sinne einer nachhaltigen Anbauentwicklung unbedingt notwendig.

Material und Methoden

In landwirtschaftlichen Betrieben wurde auf insgesamt 11 Standorten der Steinklee als Demonstration angebaut. Dabei wurden sehr unterschiedliche Standortverhältnisse und auch betriebliche Besonderheiten abgebildet. Es wurde großer Wert auf eine Vielfalt der Anbau- und Nutzungsmöglichkeiten gelegt.

Anhand der Schlagkarteien und Angaben der Betriebe wurden die Einordnung in die Fruchtfolge, die agrotechnischen Maßnahmen und Ergebnisse erfasst. Eine Versuchsanstellung und -auswertung im herkömmlichen Sinne war in diesem Modell- und Demonstrationsvorhaben nicht angestrebt. Je nach Nutzungsart der Steinkleebestände wurden Ergebnisse zusammengefasst. Die Anbauflächen wurden beprobt, um Informationen zur Stickstoffhinterlassenschaft und Humusakkumulation zu gewinnen.

Ergebnisse und Diskussion

Unter sehr unterschiedlichen Gegebenheiten wurde bewiesen, dass der Steinklee sowohl im konventionellen wie auch im ökologisch wirtschaftenden Betrieb angebaut werden kann.

Aus den Daten der Steinklee-Probenahmen zu den verschiedenen Schnittregimen ergaben sich Methanerträge zwischen 1281 m³/ha TM (ausschließlich einschnittige Nutzung) und 1845 m³/ha TM (ausschließlich zweischnittige Nutzung). Hierbei wurden die Methanausbeuten des Ansaatjahres und des Hauptnutzungsjahres gemittelt. Der Datenumfang, der als Basis der Berechnungen dient, ist jedoch bisher noch extrem gering. Die Methanausbeuten der verschiedenen Schnittregime des Steinklees lagen zwischen 26 und 30 m³/dt TM, beim Silomais lag sie bei 39 m³/dt TM.

Trotz der hohen Energieeffizienz des Silomaises ist der Steinklee eine Möglichkeit für die Energiegewinnung in der Biogasanlage, vorzugsweise für den Anbau auf Flächen, die aufgrund ihrer geringen Ertragsleistung aus der Produktion genommen wurden. Hier bietet der Steinklee die Chance bodenverbessernde Eigenschaften mit Biomassegewinnung zu verbinden.

Im Durchschnitt der Anbaujahre des zweijährigen Steinklees werden Deckungsbeiträge von 150 Euro/ha erzielt. Es ist davon auszugehen, dass der Deckungsbeitrag im Ansaatjahr negativ ausfällt, da hierbei die Arbeiten wie Aussaat und Schröpfung einer erfahrungsgemäß niedrigen Biomassegewinnung gegenüberstehen.

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass Steinklee eine gute alternative Energiepflanze darstellt, die gleichzeitig eine sehr gute Nektar- und Pollenquelle auch in der Trachtlücke ist (Chance zur Förderung der Bestäuber in einer Agrarlandschaft nach Ernte der Sommerungen). Vor allem nektarsuchende Tiere profitieren von den sehr lange blühenden Beständen. Zudem verfügt der Steinklee über ein starkes Wurzelsystem und bietet Chance zur Bodenverbesserung auf leichten Standorten und damit Verbesserung der Nährstoff- und Wasseraufnahme.

Es stellte sich heraus, dass nach abgeschlossenem Steinkleeanbau die Nmin-Werte des Bodens wesentlich höher waren als vor dem Steinkleeanbau. Jedoch waren die Nmin-Werte sandstandorttypisch. Eine übermäßige Akkumulation von Nmin auf den Flächen nach dem Steinkleeanbau wurde somit nicht provoziert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Domestikation der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.)

Christian Wever, Christoph Korte, Martin Greve, Julian Elfers, Georg Völkerling
und Ralf Pude

Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz – Nachwachsende Rohstoffe, 53359 Rheinbach, E-Mail: cwever@uni-bonn.de

Einleitung

Eine nachhaltige Landwirtschaft braucht neue mehrjährige Nutzpflanzen, die beständig Nahrung, Futter und Rohstoffe zur Verfügung stellen. Mehrjährige Kulturen mit ihren perennierenden Wurzelsystemen können den Klimawandels effektiver widerstehen und durch eine besonders effiziente Aufnahme von Nährstoffen den negativen Einfluss der Landwirtschaft auf die Umwelt zukünftig verringern (1). Die ursprünglich in Nordamerika heimische Becherpflanze (*Silphium perfoliatum* L.) ist eine Wildstaude mit vielen ökologischen Vorteilen (2 und 3). Insbesondere die lange ausdauernde Blütezeit und die Mehrjährigkeit machen diese Kultur zu einer wertvollen Art für die Agrarlandschaften. Die Art zählt zur Familie der *Asteraceae* und ist in der Lage hohe Biomasseerträge, wie Silomais zu erzeugen. Seit der rentablen Nutzung von *Silphium perfoliatum* für die Biogaserzeugung und der Aufnahme der Kultur in das europäische Greening-Programm (2) ist der Anbau auf 3.500 ha gestiegen. Die Becherpflanze ist eine noch nicht domestizierte Wildpflanze mit zahlreichen pflanzenbaulichen Herausforderungen (3). Die genaue Verwandtschaft der in Europa zirkulierenden Akzessionen war bisher unbekannt. In Osteuropa, gab es bereits zu Zeiten der Sowjetunion Bestrebungen diese Pflanze als Futterpflanze zu entwickeln. Der hohe Proteingehalt der Blätter und die Silierbarkeit der Biomasse machen die Becherpflanze zu einer möglichen Alternative zu etablierten einjährigen Nutzpflanzen (4). Für eine erfolgreiche *de novo* Domestikation in naher Zukunft wurde zunächst eine Evaluation der in Europa verbreiteten Genotypen durchgeführt. Um den europäischen Genpool zu erweitern wurden neue natürliche Akzessionen eingeführt, um sie agronomisch und genetisch zu vergleichen. Um, die Generationszeit zu halbieren und damit den Zuchtfortschritt zu beschleunigen, wird an einem Manipulationsverfahren des natürlichen Generationszyklus gearbeitet.

Material und Methoden

Das europäische Pflanzenmaterial stammt von europäischen botanischen Gärten und der Thüringischen Landesanstalt für Landbau. Die anderen Akzessionen wurden 2016 selbständig in den USA gesammelt. Die genomische DNS der Pflanzen wurde isoliert und via tunable Genotyping by Sequencing analysiert. Anhand der erhaltenen SNPs wurden Stammbäume kalkuliert (2). Die natürlichen Akzessionen aus den USA, sowie das in Europa verfügbare Pflanzenmaterial, werden seit 2017 in einem Feldversuch am Campus Klein-Altendorf, nahe Bonn, kultiviert. Da der Ertrag der bei *Silphium* erst ab dem zweiten Standjahr einsetzt, begann die Phänotypisierung des Feldversuchs 2018 und wurde 2019 und 2020 fortgeführt. Zu den erfassten Parametern zählen neben Ertrag auch Lagerbildung, Wuchshöhe, Triebdurchmesser, Triebanzahl und Blütefortschritt. Zur Verkürzung der Generationszeit wird unter anderem die Möglichkeit der Kultur unreifer Embryonen *in vitro* evaluiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die genetischen Analysen *via* Genotyping by Sequencing und Feldversuche zur Phänotypisierung verifizieren erstmalig den europäischen Genpool. Die Ergebnisse zeigen, wie ähnlich sich das in Europa zirkulierende Pflanzenmaterial auf genetischer Ebene ist. Nur die Population ukrainischer Herkunft zeigt intrinsisch eine einheitlich nahe Verwandtschaft (2). Über alle phänotypischen Parameter hinweg zeigen die "europäischen" Genotypen wenig Varianz und verdeutlichen somit das bisherige Problem der züchterischen Bearbeitung des europäischen Genpools. Im Gegensatz dazu lassen sich zwischen den Akzessionen aus dem natürlichen Verbreitungsgebiet immense Unterschiede finden. Dies eröffnet ein bislang nicht bekanntes züchterisches Potential. Basierend auf diesem neuen breiteren Genpool ist nun eine Selektion besonders vielversprechender Akzessionen möglich. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit des Genpools ist die Entwicklung von Inzuchtlinien, welche neue und einheitliche F₁ Hybriden für *Silphium perfoliatum* möglich machen würden.

Literatur

- 1) David L. Van Tassel, Lee R. DeHaan and Thomas S. Cox; Missing domesticated plant forms: can artificial selection fill the gap?; *Evolutionary Applications* 434–452 (2010).
- (2) Christian Wever, Martin Höller, Lukas Becker, Andrea Biertümpfel, Johannes Köhler, Delphine van Inghelandt, Peter Westhoff, Ralf Pude and Elena Pestsova; Towards high-biomass yielding bioenergy crop *Silphium perfoliatum* L.: phenotypic and genotypic evaluation of five cultivated populations; *Biomass and Bioenergy* 124:102–113 (2019).
- (3) David L. Van Tassel, Kenneth A. Albrecht, James D. Bever, Arvid A. Boe, Yaniv Brandvain, Timothy E. Crews, Markus Gansberger, Pedro Gerstberger, Luciana González-Paleo, Brent S. Hulke, Nolan C. Kane, Paul J. Johnson, Elena G. Pestsova, Valentín D. Picasso Risso, Jarrad R. Prasifka, Damian A. Ravetta, Brandon Schlautman, Craig C. Sheaffer, Kevin P. Smith, Pablo R. Speranza, M. Kathryn Turner, Alejandra E. Vilela, Philipp von Gehren, and Christian Wever, Accelerating *Silphium* Domestication: An Opportunity to Develop New Crop Ideotypes and Breeding Strategies Informed by Multiple Disciplines, *Crop Sci.* 57:1–11 (2017).
- (4) Christian Wever, David L. Van Tassel, D.L. and Ralf Pude. Third-Generation Biomass Crops in the New Era of De Novo Domestication. *Agronomy* 10(9), 1322. (2020)

Performance of wheat and rye in a mineral-ecological cropping system in Brandenburg

Robin Lieb, Bettina Klocke, Jürgen Schwarz and Til Feike

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

Introduction

There is an increasing societal and political wish to reduce the intensity of chemical-synthetical plant protection (csPP). Accordingly, in its “Farm to Fork Strategy” the European Commission envisages a 50% reduction of the overall use and risk of csPP in the EU by 2030 (EC, 2020). At the same time, global demand for agricultural products is increasing, while the available arable land is estimated to shrink by 0.25% per year in the coming decades (Ausubel et al., 2013). To meet these divergent expectations, the NOcsPS (LaNdwirtschaft 4.0 Ohne chemisch - synthetischen PflanzenSchutz) project develops and tests a mineral-ecological cropping system (MECS) using demand driven mineral fertilization (mF) while foregoing the use of csPP.

Material and Methods

A field experiment with six components, including wheat and rye, was established at the Dahnsdorf experimental field in Southwest Brandenburg in 2019. Four experiment treatments are tested: conventional (CONV) and ecological (ECO) cropping as reference systems, as well as MECS1 and MECS2 (same as MECS1, but reduced seed rate sown by single grain seeder). While in rye the cultivar ‘KWS Binntto’ was used in all treatments, in wheat ‘RGT Reform’ was used in all treatments except ECO; here ‘Govelino’ was chosen. Due to lower yield expectations the two MECS systems received 30% less mineral nitrogen fertilizer compared to CONV. Major assessed traits were: (i) yield and its components, (ii) incidence and severity of fungal diseases, as well as (iii) weed abundance.

Results and Discussion

Both MECS systems did not perform worse regarding grain yield compared to CONV in both, wheat and rye. Moreover, the single grain seeding technique (MECS2) did not lead to higher yields compared to conventional drilling (MECS1). Both systems performed better than ECO in wheat, but not in rye, where ECO had also lower yields compared to CONV. Though infestation pressure from fungal diseases and weeds was rather low in the investigated season, the infestation in ECO and both MECSs was much higher than in CONV, with MECS showing higher infestation with fungal diseases than ECO. These results coincides with other studies, e.g., Bilsborrow et al. (2013), where higher levels of mF resulted in higher disease infestation when not treated with csPP. One needs to note that the present study builds on data from the first year of conversion to ECO and MECS, where yield effects by neither using mF nor csPS (ECO) were stronger than just not using csPS (MECS). Treatment-specific effects, i.e., nitrogen deficiency in ECO and weed infestation in ECO and MECS are likely to become more pronounced in the coming years. These may also feature a higher fungal disease pressure and will provide deeper insights in the performance of MECS in comparison to CONV and ECO.

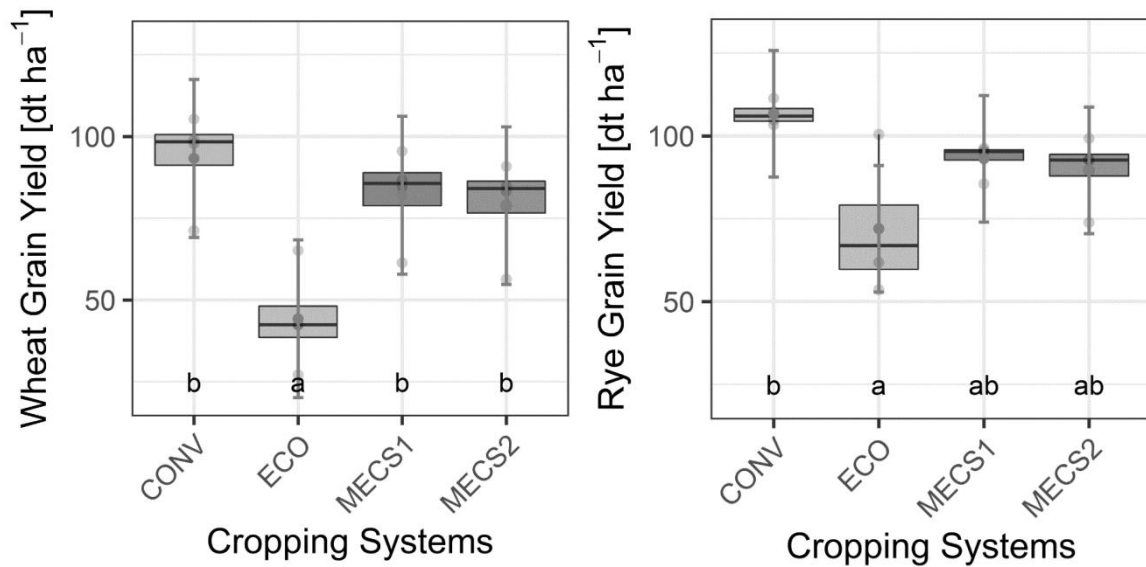


Figure 1. Grain yield of wheat (left) and rye (right) in the 2019/2020 season. Letters depict significant ($p < 0.05$) differences between treatments separately for wheat and rye. Note that in wheat cultivars differed between ECO ('Govelino') and the other treatments ('RGT Reform').

Acknowledgments

This research was funded in the frame of the 'Agricultural Systems of the Future' project NOCsPS – Agriculture 4.0 without chemical synthetic plant protection (BMBF 031B0731C).

References

- Ausubel J., Wernick I., Waggoner P. (2013): Peak Farmland and the Prospect for Land Sparing. *Population and Development Review* 38(1): 221–242. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2013.00561.x>
- Bilsborrow P., Cooper J., Tétard-Jones C., Średnicka-Tober D., Barański M., Eyre M., Schmidt C., Shotton P., Volakakis N., Cakmak I., Ozturk L., Leifert C., Wilcockson S. (2013): The effect of organic and conventional management on the yield and quality of wheat grown in a long-term field trial. *European Journal of Agronomy* 51(10):71–80. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.06.003>
- European Commission (2020): Farm to Fork Strategy – For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. https://ec.europa.eu/food/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf

Agronomic, environmental and economic impacts when integrating legumes into cropping systems across Europe

Moritz Reckling and Inka Notz

Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg.

E-Mail: moritz.reckling@zalf.de

Introduction

Legume crops provide benefits and have constraints beyond the year of their production (Watson et al. 2017). An integrated assessment of legumes in farmer managed crop rotations is needed to evaluate their impacts. The objective of this work was to analyse trade-offs and synergies between agronomic, environmental and economic impacts when integrating legumes into cropping systems.

Materials and methods

We used a multi-actor approach to assess the role of legumes in crop rotations of diverse groups of farmers and value chain actors from Ireland in the West to the Ukraine in the East within study areas that were part of the H2020 Legumes Translated project (Notz et al. 2021). The systems were co-designed by legume-experienced actors representing value chains with grain legumes (soybean, pea, faba bean, lupin, common bean) and forages (alfalfa and grass-clover) for food and feed (Figure 1).



Figure 1. Study areas with locally relevant legumes (icons) and the current proportion of arable land used for grain legumes (grey scale)

We present results on the impacts of legume-supported systems and compare them with a reference system without legumes using a multi-criteria assessment framework (Reckling et al. 2016). This framework allows to quantify a range of economic (different gross margins), environmental (N fertilizer use, N_2O , NO_3-N , crop

diversity) and agronomic (yield stability, protein & energy output) indicators at the crop rotation level.

Results and Discussion

On average, arable crop rotations with grain legumes reduced nitrous oxide emissions by 21% and N fertilizer use by 26% compared to rotations without legumes (Table 1). While protein output was increased by 13%, energy output was reduced by 10%. Standard gross margins were variable and results were site specific ranging from -9% in Central East Europe to +93% in Southern Europe. Gross margins increased when considering the legume feed value, subsidies for legumes and CO₂ taxes on N fertilizer production.

Table 1. Relative differences between arable CS with and without legumes

Impact area	Economic				Environmental				Agronomic		
	GM standard	GM feed value	GM subsidy	GM CO ₂ tax	N fertiliz.	NO ₃ N	N ₂ O	Crop diversity	Yield stability	Protein output	Energy output
Central East	-9%	-4%	-1%	-7%	-24%	+7%	-16%	0.85 vs. 0.46	-3 p.p.	+14%	-12%
Central West	-8%	-1%	+5%	-6%	-26%	+2%	-20%	0.88 vs. 0.45	-1 p.p.	+10%	-10%
North-West	0%	+18%	+7%	+2%	-25%	-21%	-20%	0.73 vs. 0.32	+0 p.p.	+15%	-3%
South	+93%	+93%	+105%	+134%	-54%	-30%	-63%	0.69 vs. 0.00	-4 p.p.	+35%	-20%
All regions	-3%	+5%	+8%	+1%	-26%	-2%	-21%	0.79 vs. 0.31	-2 p.p.	+13%	-10%

In forage systems, rotations with alfalfa and grass-clover led to even greater ecological services than grain legumes in arable systems (Table 2). Compared to systems without legumes, forage supported systems reduced nitrous oxide emissions by 26% and N fertilizer use by 45%. While protein output was increased by only 5%, energy output was reduced by 9%. Standard gross margins were site specific with positive and negative impacts. Gross margins increased when considering the legume feed value and CO₂ taxes on N fertilizer production.

Table 2. Relative differences between forage CS with and without legumes

Impact area	Economic			Environmental			Agronomic	
	GM standard	GM feed value	GM CO ₂ tax	N fertilizer	NO ₃ N	N ₂ O	Protein output	Energy output
Brandenburg (DE40, LBG2)	-14%	-14%	-12%	-72%	-63%	-31%	+55%	-13%
Scotland (UKM9)	+58%	+62%	+81%	-41%	+23%	-25%	-4%	-9%
All regions	+47%	+51%	+68%	-45%	+11%	-26%	+5%	-9%

These results provide evidence on the benefits and constraints of integrating legumes into existing farming systems in various bio-physical and socio-economic conditions across Europe considering the views of local actors.

Literature

- Notz I, Alves S, Haase T, Hargreaves P, Hennessy M, Iantcheva H, Recknagel J, Rittler L, Schuler J, Topp K, Vasiljević M, Wolf F, Reckling M (2021) Multi-Criteria Guidance on Developing Legume Cropping. Legumes Translated.
- Reckling M, Hecker J-M, Bergkvist G, et al. (2016) A Cropping System Assessment Framework - Evaluating Effects of Introducing Legumes into Crop Rotations. *Eur J Agron* 76:186-197. doi:10.1016/j.eja.2015.11.005
- Watson C, Reckling M, Preissel S, et al. (2017) Grain Legume Production and Use in European Agricultural Systems. *Adv Agron* 144:235-303. doi:10.1016/bs.agron.2017.03.003

Einfluss der Platzierung der Stangenbohne auf Trockenmasse- und Proteinerträge im Mais-Stangenbohnen-Gemenge

Vanessa S. Schulz^{1,2}, Sebastian Weisenburger³, Kerstin Stolzenburg²
und Kurt Möller²

¹Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Fakultät Agrarwirtschaft, Volkswirtschaft und Management, Institut für Angewandte Agrarforschung, Nürtingen; ²Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Referat 11, Pflanzenbau, Rheinstetten-Forchheim; ³Landratsamt Rastatt – Landwirtschaftsamt. E-Mail: vanessa.schulz@ltz.bwl.de

Einleitung

Das Anbausystem Mais-Stangenbohne zur Silagenutzung ist in der Praxis mittlerweile etabliert. Durch den gemeinsamen Anbau der Kulturarten soll bei gleichbleibenden Trockenmasseerträgen der Proteinertrag der Silage erhöht werden. An Versuchsstandorten in der Oberen Rheinebene konnte in mehrjährigen Feldversuchen bisher keine Erhöhung des Proteingehaltes der Silage nachgewiesen werden. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die bislang empfohlene Maissorte früher abreift als die Bohne und somit die Hülsen zum Zeitpunkt der Silomaiserente noch nicht voll ausgebildet sind. Zudem besteht in dieser Region das Problem, dass die Temperaturen im Sommer über dem Temperaturoptimum der Stangenbohne liegen, was zum Unterbrechen bzw. Abwurf der Bohnenblüten führen kann, bzw. den Stickstoffmetabolismus negativ beeinflusst (Porch & Jahn, 2001, Hungria & Kaschuk, 2014). Im Rahmen des Sonderprogramms der baden-württembergischen Landesregierung zur Stärkung der biologischen Vielfalt wird daher seit 2020 ein Feldversuch durchgeführt, bei dem ein markttypischer Mix aus Mais-Stangenbohnen abwechselnd mit reinen Silomaisreihen mit verschiedenen, spätreifenden Sorten angebaut wird.

Material und Methoden

Der Feldversuch wurde am Standort Forchheim (N 18°,58', E 8°,20', 116 m ü. N.N., 742 mm, 10,1 °C) angelegt. Durch die abwechselnde Befüllung der Säaggregate einer praxisüblichen, pneumatischen Einzelkornsämaschine wurden abwechselnd Mais und Mais-Bohnen-Reihen etabliert, die gegen einen reinen Silomaisbestand (V1) und einen Mais-Bohnen-Bestand (V2) geprüft wurden. Bei den Silomaisreihen in V3-V6 handelte es sich um mittel- bis spätreifende Hochleistungssorten ($S > 280$) (Tabelle 1). Der Abstand zwischen den Reihen betrug 75 cm. Angelegt wurde der Versuch als vierfach wiederholte Blockanlage. Die Datenanalyse erfolgte als gemischtes Modell mit der Software R. Nach einem globalen F-Test wurde ein Mittelwertsvergleich mittels Tukey's HSD Test ($p < 0,05$) durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Versuchsjahr (2020) wurden auf Grund der heißen, trockenen Witterung keine längeren Standzeiten erzielt. Auf Grund der frühen Abreife des Maises in V2 ($S = 250$) musste diese Variante eine Woche vor den anderen Varianten gehäckselt werden. Die Trockenmasse- (TM-) Erträge wiesen keine signifikanten Unterschiede auf ($p = 0,075$). Die Erträge von 193 dt ha⁻¹ eines reinen Maisbestandes mit einer standorttypischen Hochleistungssorte (V1) unterschieden sich nicht von denen des praxisüblichen Mais-Bohnen-Gemenges (V2) sowie den anderen Varianten (V3-V6) (Tabelle 2). Signifikante Unterschiede im TM-Gehalt wurden ebenfalls nicht nachgewiesen ($p = 0,057$). Alle Varianten lagen im silierbaren Bereich. Während ein

reiner Silomaisbestand (V1) mit 32,2 % die niedrigsten TM-Gehalte aufwies, erreichte der Mais-Bohnen-Bestand (V2) die höchsten TM-Gehalte mit 38,0 %. Durch den Einsatz von Hochleistungsmaissorten und die Erhöhung des Bohnenanteils in den Mais-Bohnen-Reihen ließ sich keine nachweisbare Steigerung des Rohproteinertrages erzielen ($p = 0,413$).

Das Konzept von abwechselnden Mais-/Mais-Bohnen-Reihen und die Verwendung von spätabreifenden Maissorten hat im ersten Versuchsjahr gezeigt, dass in trockenen Jahren auch mit diesem Ansatz keine Erhöhung der Rohproteingehalte zu erzielen war. Die Abreife der spätreifenden Sorten unterschied sich kaum vom praxisüblichen Mais-Bohnen-System, wodurch keine längere Zeitspanne für die Ausbildung und Abreife der Bohnenhülsen zur Verfügung stand. Zwar konnte durch dieses Aussaatssystem keine Erhöhung in TM-Ertrag und Proteinertrag erzielt werden, allerdings wurden diese auch nicht negativ beeinflusst. Als größte Herausforderung bei der Rohproteinsteigerung werden die ungünstig hohen Temperaturen während der Bohnenblüte gesehen. Durch pflanzenbauliche Maßnahmen besteht kaum die Möglichkeiten den Rohproteingehalt zu erhöhen.

Tab. 1: Geprüfte Varianten der Stangenbohnenplatzierung.

	Mais-Reihe	Mais-Bohnen-Reihe	Saatabstand (cm)
V1 (Kontrolle 1)	10 Kö. m ⁻² P9911	-	13,3
V2 (Kontrolle 2)	-	8 Kö. m ⁻² KWS Figaro + 4 Kö. m ⁻² WAV 612	11,1
V3	10 Kö. m ⁻² P9911		13,3
V4	10 Kö. m ⁻² Misteri CS	5 Kö. m ⁻² KWS Figaro +	13,3
V5	10 Kö. m ⁻² SY Orpheus	5 Kö. m ⁻² WAV 612	13,3
V6	10 Kö. m ⁻² Palizi CS		13,3

Tab. 2: Standzeit (Tage) und Wärmesumme (°C) von Aussaat bis Ernte sowie TM-Erträge (dt ha⁻¹), TM-Gehalte (%) und Proteinertrag (dt ha⁻¹) in Abhängigkeit der verschiedenen Anbauvarianten. SE gibt den Standardfehler an, GD die Grenzdifferenz.

	Standzeit (Tage)	Wärmesumme (°C)	TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)	TM-Gehalt (%)	Proteinertrag (dt ha ⁻¹)
V1	125	2373	193	32,2	12,94
V2	118	2248	193	38,0	14,64
V3	125	2373	202	35,9	15,60
V4	125	2373	181	37,4	14,55
V5	125	2373	176	36,6	13,53
V6	125	2373	190	35,5	14,84
SE			± 11,68	± 2,44	± 1,78
GD (HSD, $p < 0,05$)			26,83	5,60	4,18
p-Wert			0,075	0,057	0,413

Literatur

- Porch, T.G.; Jahn, M. Effects of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. *PlantCell Environ.* 2001, 24, 723–731.
- Hungria, M.; Kaschuk, G. Regulation of N₂ fixation and NO₃⁻/NH₄⁺ assimilation in nodulated and N-fertilized *Phaseolus vulgaris* L. exposed to high temperature stress. *Environ. Exp. Bot.* 2014, 98, 32–39.

Long-term effect of crop rotation on CO₂ efflux, soil microbial biomass C, soil organic carbon and dissolved organic carbon under different mineral fertilization - LTE "BNF" Giessen

Yavar Vaziritabar, Feng Yan, Michael Frei and Bernd Honermeier

Department of Agronomy and Crop Physiology, Institute of Agronomy & Plant Breeding, Justus Liebig University, Giessen, Germany. E-Mail: yavar.vaziritabar@agrar.uni-giessen.de; Twitter: @JLU_LTEs

Introduction

Most of the carbon in the soil is lost as CO₂ through microbial conversion processes. This is countered by carbon accumulation in the soil through crops and soil managements. In order to better understand the causes of the C-input and the C-losses, all relevant C-sources should be considered. Therefore, we attempted to analyse the long-term effects (LTE) of crop rotational sequence and N fertilization on soil organic C (SOC), C loss of the topsoil represented by CO₂ efflux (Fc), soil microbial biomass-C (SMB-C) and dissolved organic carbon (DOC).

Material and method

The LTE Biological Nitrogen Fixation "BNF" has been running in the research station Giessen since 1982. The site is characterized by a Gleyic Fluvisol (silty clay texture, C_t of 1.3-1.6% in 0-30 cm, pH 6.0-6.4), mean precipitation of 650 mm and annual air temperature of 8.1 °C. The field experiment includes two main treatments (A) preceding crops and (B) mineral fertilization (N, P, K) arranged as a randomized block design with four replications. The different preceding crops are cultivated every fourth year of the four years crops rotation including crimson clover (*Trifolium incarnatum*), field bean (*Vicia faba*), oat (*Avena sativa*), maize (*Zea maize*) and fallow. As subsequent crops, winter wheat is cultivated in the first year (first year after preceding crops but second year of the crop rotation) followed by winter rye in the second and summer barley in the third year after the preceding crops. The LTE "BNF" was investigated over the years 2015 – 2017 (9th crop rotation) and 2019-2020 (two years of the current 10th crop rotation). Mineral fertilization to wheat, rye and barley includes four sub-treatments: (1) control (without fertilization), (2) only PK, (3) PK + 50% N (wheat: 90, rye: 90, summer barley: 45 kg N/ha) and (4) PK + 100% N (wheat: 180, rye: 180, summer barley: 90 kg N/ha).

CO₂ efflux (Fc) of the soil surface was determined by a portable CO₂/H₂O analyzer LI-870 including a smart chamber based on the Non-Dispersive Infrared (NDIR) measurement principle within the two campaigns 2018/19 and 2020/21. The first campaign covered 1920 pairs of measurements within 16 observations from 14th Nov. 2018 to 27th July 2019. The second campaign included thirty-four observations and 4080 pairs of measurements during the growing season 2020/21 from 4th April 2020 to 14th January 2021. In addition, SMB-C analysis was carried out by the use of fumigation method, whereas SOC was measured by combustion method (Elemental Analyzer), and Dissolved Organic Carbon (DOC) was detected based on VDLUFA method by the use of an Auto-Analyzer.

Results and discussion

In 2018/19, the first year after the preceding crops we observed a C efflux (Fc) of the soil surface of about 3.6 g C m⁻² day⁻¹ resulting in a C loss of 109 g C month⁻¹ and

total efflux of 1321 g C year⁻¹. On the contrary, in 2020/21, a lower C efflux was recorded with 2.2 g C m⁻² day⁻¹, 65 g C month⁻¹ and 787 g C year⁻¹. The fluctuation of C efflux was related to the variations of air/soil temperature and the humidity of the soil on field conditions. It was observed that preceding crop of clover-mulch tended to give higher Fc values, which indicates a higher microbiological activity of the soil.

The carbon of the soil microbial biomass (SMB-C) in the topsoil (0-30 cm) was influenced by the preceding crops/land use. Thus, we found that in winter rye 2016, the second year after the preceding crops, crimson clover led to higher SMB-C of 344 µg C/g DM as compared to fallow with 250 µg C/g DM. Further on, in winter wheat 2019, we found that the preceding crops with crimson clover and oat increased the SMB-C to the same level of 346 and 349 µg C/g DW, respectively. This trend was repeated in April and October 2020, although there was no difference in SMB-C after cultivation of different preceding crops. Furthermore, in October 2019 mineral N fertilization (NPK 100% and PK + 50% N) increased the SMB-C by 13% and 16%, respectively. We assume that both clover mulch and higher N fertilization resulted in higher organic residues and higher N contents in the soil and this may lead to an increase in SMB-C (Scotti et al. 2015).

Soil organic carbon (SOC) of the topsoil was increased by clover mulch and field bean within the first, second and third year of the 9th crop rotation. In addition, within the 10th crop rotation in 2019 after wheat, a significant higher SOC value was measured for clover mulch, field bean and oat (about 67.2 kg ha⁻¹) as compared to maize (about 63 kg ha⁻¹). Also, two years after the preceding crops in April 2020, a significant effect of clover mulch on SOC was determined. We conclude that clover mulch field management resulted in a sustainable sequestration of the carbon in the topsoil through both direct C input by clover mulch and an indirect effect by higher biomass production of the subsequent crops due to clover mulch.

The dissolved organic carbon (DOC) of the topsoil (0-30 cm) was significantly influenced by preceding crops and mineral N fertilization. The DOC level of the topsoil treated with crimson clover (84.5 kg ha⁻¹) and oat (73.1 kg ha⁻¹) significantly increased as compared to field bean (71.4 kg ha⁻¹), maize (70.3 kg ha⁻¹) and fallow (62.2 kg ha⁻¹). In addition, mineral fertilization (NPK 100%) led to a higher DOC level of 96.4 kg ha⁻¹ as compared to the control (56.3 kg ha⁻¹) in the topsoil. These results show that clover mulch as preceding crop with subsequent N-fertilized cereals led to increase in soluble carbon compounds, which contribute to the carbon dynamics in the topsoil.

In conclusion, preceding crops and mineral N fertilization can significantly influence carbon dynamics in agricultural ecosystems. A sustainable carbon sequestration can be realised by a proper field cropping system especially through the use of legume crops.

Literature

Scotti R., Bonanomi G., Sceleza A., Zoina A., Rao M. A. 2015. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agriculture systems. *J. Soil Sc. Pl. Nutr.* 15 (2), 333–352.

Erfassung und Modellierung von Ökosystemleistungen in Agrarökosystemen

Sebastian Wolfrum, Johannes Burmeister und Roswitha Walter

Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz/Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising. E-Mail: sebastian.wolfrum@lfl.bayern.de

Einleitung

Aktuelle Pflanzenbausysteme erzielen hohe Erträge durch den Einsatz ertragssteigernder Produktionsmittel wie z. B. chemische Pflanzenschutzmittel und mineralische Dünger. Trotz der dadurch sehr hohen Produktivität und Leistungsfähigkeit werden Umweltgrenzen dieser ressourcenintensiven Wirtschaftsweise sichtbar. Die Landwirtschaft steht unter immer stärkerem gesellschaftlichem Druck, die Art und Weise der Produktion zu verändern und stärker auf Umweltaspekte zu achten. Im Rahmen der „ökologischen“ Intensivierung soll ein Teil dieser „Inputs“ durch Funktionen und Leistungen, die Elemente der Biodiversität erbringen, ersetzt werden. Um die Möglichkeiten für „biodiversitätsbasierte“ Pflanzenbausysteme in der landwirtschaftlichen Praxis wissenschaftlich aufzuzeigen, werden im Projekt „Schritte zu biodiversitätsbasierten Pflanzenbausystemen“ ausgewählte Ökosystemfunktionen und -leistungen gemessen und die Ergebnisse in Modellen zusammengeführt.

Material und Methoden

Um erste Erfahrungen mit der Erfassung der ausgewählten Ökosystemleistungen, ökologische Schädlingsbekämpfung, Samenfraß und Zersetzung organischer Stoffe zu sammeln, wurden 2020 in einem Feldversuch zur Erprobung verschiedener Herbizidstrategien für die Mulchsaat von Mais mit abfrierenden Zwischenfrüchten und Varianten der Gülleausbringung in der Nähe von Passau (Südbayern) als Tastversuch unterschiedliche Methoden evaluiert.

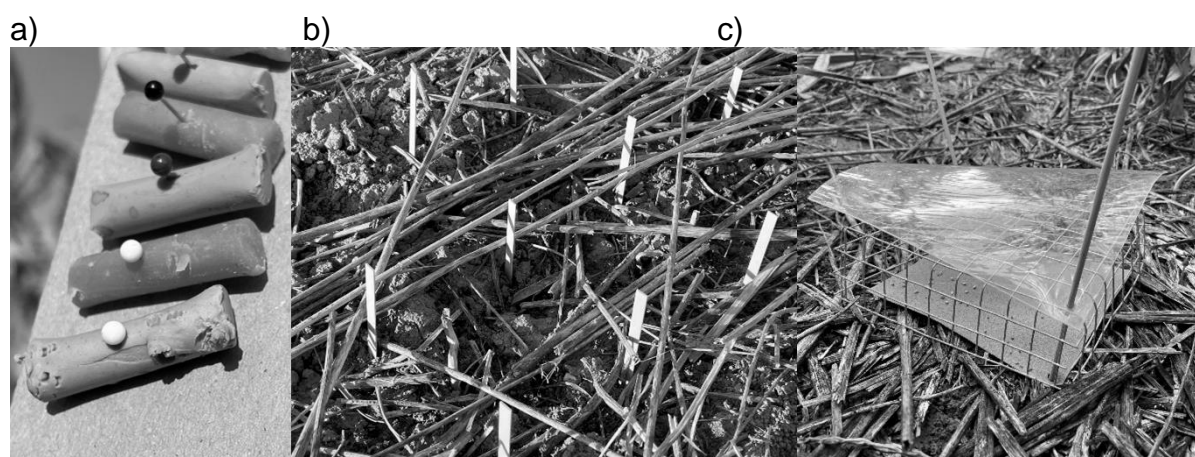


Abb. 1. a) Dummyraupen; b) Samenkarte c) Köderstreifentest

So wurden aus dem Set der REFA Methoden (Meyer et al. 2015) aus unterschiedlicher grüner Knetmasse geformte Dummyraupen (Abb. 1a) sowohl an den Maispflanzen als auch am Boden des Versuchs ausgebracht. Gleichzeitig wurden sogenannte Samenkarten (Abb. 1b) jeweils mit und ohne Fraßschutz aus Drahtgitter ausgelegt. Auf den Samenkarten aus Schleifpapier wurden vier

verschiedene, typische Unkrautsamen mit Sprühkleber befestigt. Für die Bestimmung der Zersetzungsleistung von organischem Material durch Bodenorganismen wurde der Köderstreifentest (Abb. 1c) nach Kratz (1998) verwendet.

Für die Modellierung von Ökosystemleistungen wurde ein neuartiges, leicht anwendbares System von Villa et al. (2014) erprobt.

Ergebnisse und Diskussion

In den Tastversuchen hat sich gezeigt, dass die Erfassung von Ökosystemleistung mit großem Aufwand verbunden ist. Die Dummyraupen aus Knetmasse, die am Boden ausgebracht waren, erzielten gute Nachweise. Für die Samenkarten zeigte sich ein größerer Verbesserungsbedarf, bis die Methode in der Praxis verwendet werden kann. Der Köderstreifentest lieferte ebenfalls gute Ergebnisse.

Mit Hilfe des Online-Tools von Villa et al (2014) konnten großflächig schnelle Ergebnisse zu einzelnen Ökosystemleistungen abgefragt werden. So zeigt z. B. Abb. 2 den Nettowert der Bestäubungsleistung für Bayern. Das Tool hat damit somit für die Modellierung von Ökosystemleistungen in Agrarökosystemen ein hohes Potential.

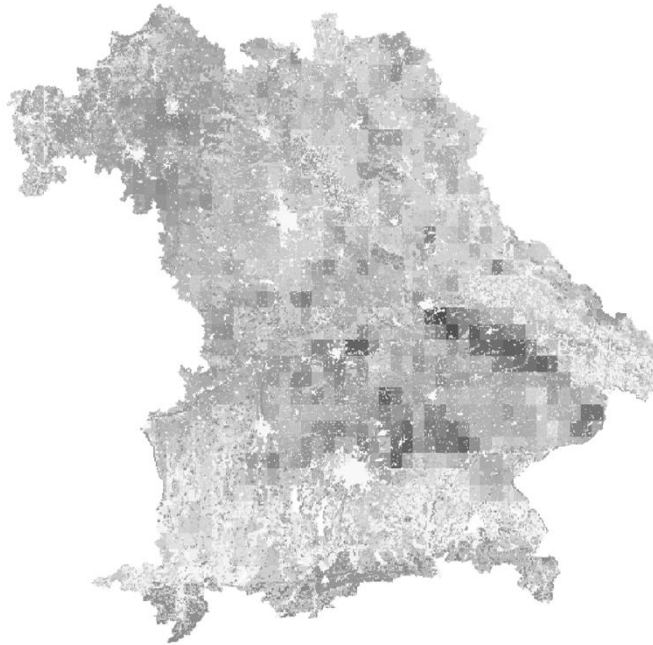


Abb. 2. Modellierung von Ökosystemleistungen: Nettowert der Bestäubungsleistung für Bayern (hell – niedrig; dunkel – hoch)

Literatur

- Kratz, W. (1998). *The bait-lamina test*. Environmental Science and Pollution Research 5, 94–96
- Meyer, S., Koch, C. und Weisser, W. (2015). *Towards a standardized Rapid Ecosystem Function Assessment (REFA)*. Trends in Ecology and Evolution. 30(7), 390-397.
- Villa, F., K.J. Bagstad, B. Voigt, G.W. Johnson, R. Portela, M. Honzak, and D. Batker. (2014). *A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment*. PLOS ONE: 9(3):e91001

Multi-purpose intercropping: A useful strategy to increase food and feed supplies and land use efficiency in the developing countries

Salama, H.S.A.^{1*}, Nawar, A.I.¹ and Khalil, H.E.²

¹Crop Science Dept., Faculty of Agriculture, Alexandria University, Alexandria, Egypt,

²Crop Intensification Dept., Field Crop Research Institute, Agriculture Research Center, Giza, Egypt.

*E-Mail: heba.salama@alexu.edu.eg

Introduction

Developing countries are challenged with escalating food and feed security gaps due to the increasing populations, and limited resources. Multipurpose intercropping is utilizing the intercropping component crops in several purposes, like food and feed production. This can help in increasing overall benefit from the agricultural practice, particularly at low-input farming systems (Salama et al., 2020). Sunflower and soybean are among the most important oil crops in Egypt and the world. In an intercropping context, sunflower and soybean are expected to perform well due to their complementary use of resources (Andrade et al. 2012). They are mainly grown for seed production, with a considerable potential to serve as summer forages (Nawar et al., 2020). The aim of this work was to develop guidelines for the multipurpose utilization of sunflower and soybean intercrops for seed and forage production in small scale farms in the Northern regions of Egypt.

Materials and methods

A 2-year field trial was carried out at Alexandria, Egypt (2017 and 2018). Sunflower and soybean were additively intercropped under varying N fertilizer rates (70, 105, and 140 kg N ha⁻¹). They were thinned at different intervals, i.e, 15, 30, and 45 days after sowing (DAS) for sunflower and 30, 45, and 60 DAS for soybean. Yield (t ha⁻¹), and crude protein (CP g kg⁻¹) were determined for the thinned plants that were supposed to be used as forage. The rest of the canopy, for both crops, was left until maturity and seed harvesting, and seed yield (t ha⁻¹) and its oil content (g kg⁻¹) were determined. In addition, land use efficiency and yield gain were also evaluated using the dry matter equivalent ratio (DMER) compared to the traditional land equivalent ratio (LER).

Results and discussion

Forage yield was non-significantly variable among tested N rates, yet was significantly affected by the thinning interval (Table 1). The later the thinning, the more forage yield was produced for both crops. Only in case of soybean, the intermediate and high N rates resulted in higher CP content than the low N rate. Forage CP progressively decreased with later thinning. The decline in forage CP content with plant maturity was most probably attributed to the associated decline in the leaf/stem ratio, as leaves are usually higher in quality than stems.

For sunflower, the lowest seed yield values were produced with 70 kg N ha⁻¹ and thinning at 30 and 45 DAS. All the other treatments produced seed yield significantly similar to pure plots (4.00 t ha⁻¹). The pure soybean stands produced the highest amount of seeds (1.61 t ha⁻¹), that was significantly similar to early thinning under the three tested N rates. On the contrary, delaying thinning resulted in a reduction in soybean seed yield, regardless of the N rate. Davis et al. (2015), reported that thinning soybean stands at an early stage of maturity resulted in the lowest reduction

in seed yield compared with intact stands, probably due to the increase in light availability for the remaining plants after thinning and more photosynthetic capacity. Sunflower seed oil content decreased with increasing the N rate, which was probably attributed to the increase in seed CP content, which led to decreasing the other seed components, including oil content (El-Kady et al., 2010). Soybean seed oil content was non-significantly affected by the tested treatments.

Data of LER indicated that all the treatments had a positive impact on land use (LER > 1). Observing DMER showed a slight yield gain (DMER > 1), that was achieved with early and intermediate thinning for the three N rates, while late thinning resulted in a loss in overall yield (DMER < 1) as a result of severe competition in the stand. DMER provided a more realistic estimate of the effect of intercropping compared with growing sole crops (Salama et al., 2016), especially for crops in which DM is the main economic component (Nawar et al., 2018).

Table 1. Means of forage yield ($t\ ha^{-1}$), its crude protein (CP) content ($g\ kg^{-1}$), seed yield ($t\ ha^{-1}$), and seed oil content ($g\ kg^{-1}$), of soybean and sunflower as affected by the treatment combinations of N rate ($kg\ ha^{-1}$) and thinning interval (DAS)

N rate	Sunflower					Soybean					
	Thinning interval	Forage yield	Forage CP	Seed yield	Seed oil content	Thinning interval	Forage yield	Forage CP	Seed yield	Seed oil content	
70	15	5.33 e	175.85 a	3.07 ab	483.63 ab	30	8.47 bc	138.33 b	1.10 ab*	189.88 a	
	30	8.62 cd	82.83 b	2.84 b	492.88 ab	45	9.20 b	85.23 d	0.91 b	190.35 a	
	45	9.21 abc	59.05 c	2.79 b	519.00 a	60	10.70 a	77.90 d	0.90 b	210.33 a	
105	15	5.81 e	180.10 a	3.98 a	462.45 ab	30	8.44 bc	151.30 a	1.26 ab	174.55 a	
	30	8.79 bcd	76.18 b	3.33 ab	481.70 ab	45	8.66 bc	108.88 c	0.79 b	208.99 a	
	45	9.96 ab	61.48 c	3.28 ab	510.85 ab	60	11.03 a	81.85 d	0.77 b	202.68 a	
140	15	5.95 e	176.38 a	3.70 ab	450.40 b	30	7.43 c	153.88 a	1.25 ab	204.23 a	
	30	7.88 d	75.20 b	3.42 ab	478.63 ab	45	8.35 bc	100.40 c	0.94 b	194.28 a	
	45	10.28 a	55.63 c	3.34 ab	486.35 ab	60	10.69 a	83.20 d	0.95 b	194.26 a	
Pure stand				4.00 a	494.74 ab					1.61 a	208.47 a

*Means followed by different small letter(s) are significantly different according to the L.S.D. test at $p \leq 0.05$.

References

- Andrade, J. F., Cerrudo, A., Rizzalli, R. H., & Monzon, J. P. (2012). Sunflower–soybean intercrop productivity under different water conditions and sowing managements. *Agronomy journal*, 104(4), 1049-1055.
- Davis, V. M., Mellendorf, N. E., Villamil, M. B., & Nafziger, E. D. (2015). Initial plant size affects response to thinning in soybean. *Agronomy Journal*, 107(1), 158-166.
- El-Kady, F. A., Awad, M. M., & Osman, E. B. A. (2010). Effect of nitrogen fertilizer rates and foliar fertilization on growth, yield and yield components of sunflower. *Journal of Plant Production*, 1(3), 451-459.
- 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.
- Nawar, A. I., Salama, H. S., & Khalil, H. E. (2020). Additive intercropping of sunflower and soybean to improve yield and land use efficiency: Effect of thinning interval and nitrogen fertilization. *Chilean journal of agricultural research*, 80(2), 142-152.
- Salama, H., El-Karamity, D. E. S., & Nawar, A. I. (2016). Additive intercropping of wheat, barley, and faba bean with sugar beet: Impact on yield, quality and land use efficiency. *Egyptian Journal of Agronomy*, 38(3), 413-430.
- Salama, H. S. A., Khalil, H. E. S., & Nawar, A. I. (2020). Utilization of Thinned Sunflower and Soybean Intercrops as Forage: A Useful Strategy for Small Scale Farms in Intensive Agricultural Systems. *International Journal of Plant Production*, 14(3), 487-499.

Spatial and temporal crop diversification through new field arrangements in a heterogeneous agricultural landscape: the patchCROP landscape experiment and simulation study

Ixchel M. Hernández-Ochoa¹, Thomas Gaiser¹, Kathrin Grahmann², Thomas Döring³, Stefan Pätzold⁴, Daniel Pfarr⁴, Wulf Amelung⁵, Lasse Klingbeil⁶, Uwe Rascher⁸, Ribana Roscher⁹, and Frank Ewert^{1,2}.

¹INRES, Crops Science Group, University of Bonn ; ²Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF) ; ³INRES, Agroecology and organic farming working group, University of Bonn ; ⁴INRES Soil Science and Soil Ecology, University of Bonn; ⁵INRES, Soil Science division, University of Bonn ; ⁶INRES, Institute for Geodesy and Geoinformation, University of Bonn ; ⁷Shoot Dynamics, Research Center Jülich ; ⁸Institute of Geodesy and Geoinformation, Department of Photogrammetry, University of Bonn; ⁹Institute for Geodesy and Geoinformation Bonn, Remote Sensing Group, University of Bonn

Introduction

Intensive agriculture in Germany is highly productive with high use of mineral fertilizers and chemical pesticides. However, the practice has led to a series of environmental concerns due to nitrate leaching to water bodies (Bohm et al., 2009) and N₂O greenhouse gas release to the atmosphere (Halvorson et al., 2014). The use of chemical pesticides has also led to loss of biodiversity in agricultural fields (Dudley et al., 2017). Climate change additionally poses threats to crop production with increased environmental stress, which is expected to become more frequent in the future (Olesen et al., 2011). Crop diversification provides multiple benefits to the agroecosystems in regards to soil conservation, crop yield stability, nitrogen cycling, carbon sequestration, reduced pest incidence, the promotion of biodiversity and more climate resilience (Feliciano, 2019; Tamburini et al., 2020; Zampieri et al., 2020). With the rapid development of robotics in agriculture it may be possible in the future to reduce field sizes that can be managed with smaller machinery. Smaller field sizes together with landscape elements promote biodiversity and species richness (Concepcion et al., 2020; Fahrig et al., 2015). Therefore, increasing spatio-temporal crop diversification together with new field arrangements by considering soil heterogeneities can help to improve resource use efficiency and the promotion of biodiversity in the agricultural landscape. Combining reduced field sizes with crop diversification will promote a multifunctional landscape that balances the benefits and tradeoffs of the agroecosystems by anticipating natural variabilities in soil and other site characteristics. Therefore, the main goal of this study is to explore how spatial and temporal crop diversification together with smaller field arrangements (patches) affects the multifunctional response of agroecosystems in terms of crop growth, yield, input reduction, resource use efficiency and the promotion of biodiversity.

Materials and Methods

The landscape laboratory "patchCROP", is an on-farm field experiment consisting of 30 plots ("patches"), with each patch measuring 72x72 m (~ about 0.5 ha). The field has been classified into high potential and low potential yield zones, based on soil physical and chemical properties and past yield maps. Site specific crop rotations were defined: the high yield potential rotation includes winter barley, rapeseed, winter wheat, soybean+cover crop, and maize+cover crop. Whereas the low yield potential includes winter rye, sunflower, winter oats, maize+cover crop, and lupin. An additional factor of crop protection (reduced pesticides and landscape elements) is

also included with three defined windows: conventional management (Window 1), reduced pest management (Window 2), and reduced pest management + flower strips (Window 3) to increase biodiversity. Reference plots (one sole crop in a whole field) for the main crops are also implemented within commercial field (50 to 100 ha fields). In total, the experimental area is about 400 ha, within the agricultural enterprise (Komturei Lietzen), which has a total area of about 2000 ha. Currently, no treatment replications are available. Measured variables include plant growth variables, soil moisture status, biodiversity, and pest monitoring are carried out combining of field monitoring, field and soil sensors, and unnamed aerial vehicles (UAV). In addition, agroecosystem models will be used to upscale the impacts of this practice to the landscape and regional scales.

Results and Discussion

With the patchCROP, we aim to contribute to the scientific base of newly diversified field arrangements to identify the synergies and tradeoffs from a set of ecosystem services (provision of food and feed, regulation soil nitrogen retention, regulation GHG with the quantification of soil N₂O emissions and carbon storage, soil conservation with quantification of soil erosion), pest incidence dynamics, as well as the promotion of biodiversity in the agricultural landscape. Moreover, the multidisciplinary approach promotes the design, support and implementation of new digital technologies and ecological advances that will serve in the advance of multifunctional systems in agriculture with efficient resource management and promoters of biodiversity by reducing pesticide applications and fostering of beneficial species. The patchCROP serves as an experimental long-term infrastructure providing the space to test digital tools and cropping systems of the future.

Literature

- Bohm, C., Landgraf, D. and Makeschin, F., 2009. Effects of two contrasting agricultural land-use practices on nitrogen leaching in a sandy soil of Middle Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(3): 408-417.
- Concepcion, E.D. et al., 2020. Optimizing biodiversity gain of European agriculture through regional targeting and adaptive management of conservation tools. *Biological Conservation*, 241: 108384.
- Dudley, N. et al., 2017. How should conservationists respond to pesticides as a driver of biodiversity loss in agroecosystems? *Biological Conservation*, 209: 449-453.
- Fahrig, L. et al., 2015. Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 200: 219-234.
- Feliciano, D., 2019. A review on the contribution of crop diversification to Sustainable Development Goal 1 "No poverty" in different world regions. *Sustainable Development*, 27(4): 795-808.
- Halvorson, A.D., Snyder, C.S., Blaylock, A.D. and Del Grosso, S.J., 2014. Enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: potential role in nitrous oxide emission mitigation. *Agronomy Journal*, 106(2): 715-722.
- Olesen, J.E. et al., 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, 34(2): 96-112.
- Tamburini, G. et al., 2020. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*, 6(45): eaba1715.
- Zampieri, M. et al., 2020. Estimating resilience of crop production systems: From theory to practice. *Science of the Total Environment*, 735.

Standortsspezifische Optimierung im Maisanbau durch Integration von landwirtschaftlichem Erfahrungswissen und Fernerkundungsdaten unterschiedlicher Qualität

Brit Kirsten Weier und Eike Stefan Dobers

Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg. E-Mail: weier@hs-nb.de

Einleitung

Fernerkundungsdaten wie z.B. Luft- und Satellitenbilder unterstützen die Optimierung von landwirtschaftlichen Betrieben. Sie ermöglichen z.B. eine Charakterisierung von Standortbedingungen und die nachfolgende Anpassung von Produktionsverfahren oder auch die Begleitung von eigenen Versuchen (*On-Farm Experimentation*).

Im Rahmen des Forschungsprojektes AgriSens- DEMMIN 4.0 (BMEL) werden auf einem Praxisfeld Optimierungsmöglichkeiten für die landwirtschaftliche Praxis im Rahmen der Maisaussaat untersucht. Eine standortangepasste Aussaatkarte wurde in Abhängigkeit von den mehrfaktoriellen Bedingungen der Bestandsetablierung und dem regionsspezifischen Praxiswissen des verantwortlichen Landwirts erstellt. Ziel des Feldversuchs ist eine gleichmäßige Bestandsetablierung und -entwicklung.

Material und Methoden

Die standortspezifische Anpassung der Aussaatstärke richtete sich nach dem Ertragspotenzial und der Bodentextur des Saathorizonts. Der erste Faktor wurde anhand von frei verfügbaren Satellitenbilddaten (Sentinel 2) der Jahre 2018 bis 2020 über eine Biomasse-Schätzung mittels NDVI ermittelt und zusätzlich das Standortwissen des Landwirts räumlich integriert. Anhand der Ergebnisse wurde das Feld (ca. 60 ha) manuell in Zonen mit geringem, mittlerem und hohem Ertragspotenzial eingeteilt. Die Bodentextur als zweiter Faktor wurde visuell über Schrägluftbilddaten der unbedeckten Bodenoberfläche des Feldes ermittelt (Abb. 1). Unterschiedliche Verfärbungen sowie das Wissen des Landwirts waren Grundlage für die Arealabgrenzung. Dunklere Bereiche wurden als lehmigere und/oder humosere, hellere als sandigere Zonen interpretiert. Die Geoinformationen wurden mit der freien Software QGIS verarbeitet.

In Abhängigkeit der beiden Faktoren wurde die betriebsübliche Aussaatstärke von 9 Körnern/ m² an die Bedingungen des Feldes angepasst (Tab. 1). Insgesamt entstanden so sechs verschiedene Aussaatstärken.

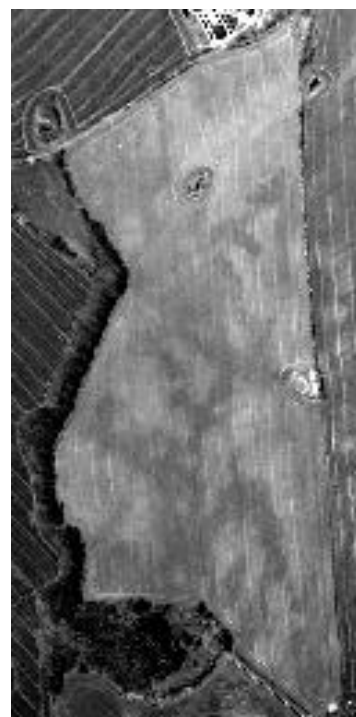


Abb. 1: Luftbilddatenaufnahme des unbedeckten Bodens in Graustufen vom 31.03.2021

Tab. 1: Aussaatstärkenanpassung in Körnern/ m²

Bodentextur Saathorizont	Ertragspotenzial		
	gering	mittel	hoch
Sand	7	9	10
sandiger Lehm	8	9	10
Lehm	8,5	10	11

Ergebnisse und Diskussion

Die Maisaussaat erfolgte anhand der erstellten Aussaatkarte am 26.04.2021. Ein situationsbezogener Pflanzenschutz hat den Einfluss von Krankheiten und Schädlingen auf die Bestandsentwicklung ausgeschlossen. Die bodenartbedingte Keimwasserbereitstellung war aufgrund der Witterungsverhältnisse ausreichend. Eine Feldbonitur am 26.06.2021 diente zur Überprüfung der Bestandsdichte in den einzelnen Aussaatzen. Dabei wurde mehrfach die Anzahl der Pflanzen/m² in verschiedenen Bereichen mit unterschiedlichen Saatstärken erfasst (Abb. 2).

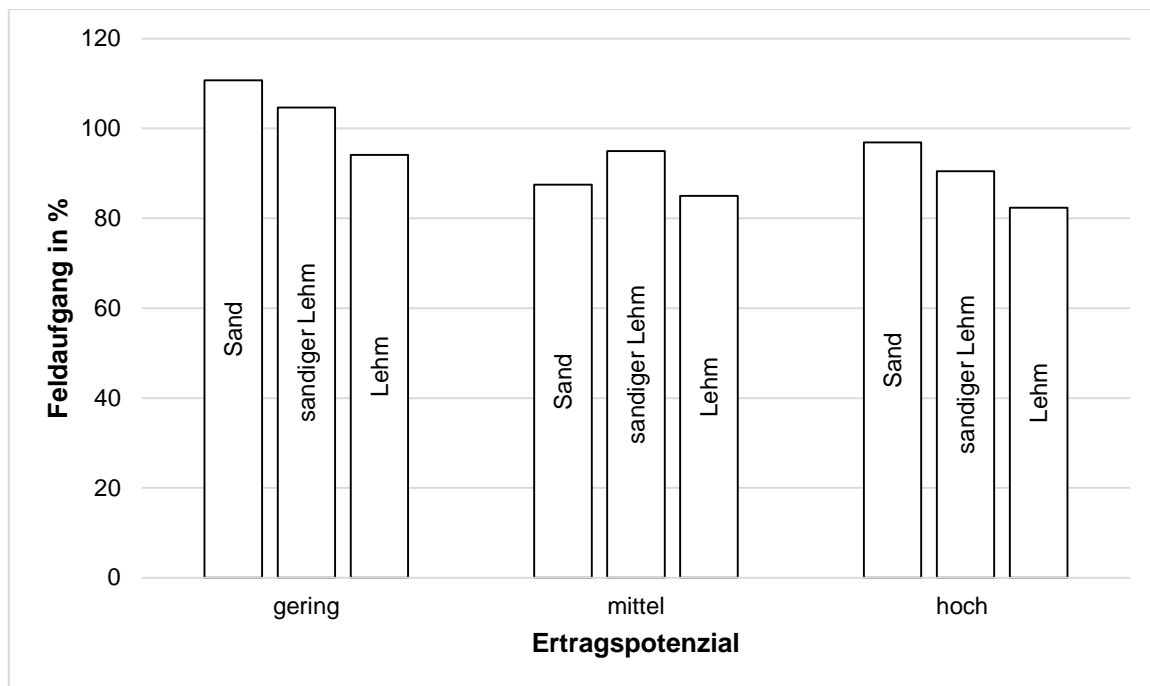


Abb. 2: Feldaufgang in % nach charakterisierten Bodenhorizonten, Ergebnisse der Feldbonitur vom 26.06.2021

Die bonitierte Bestandsdichte lag zwischen 8 bis 10 Pflanzen/ m². Aus den gezählten Pflanzen/m² wurde der Feldaufgang in Prozent berechnet. Es ergaben sich Werte zwischen 82 bis 110%. Die räumliche Variabilität der Textur des Oberbodens hatte keinen erkennbaren Einfluss auf den Bestandsetablierung.

In den Zonen mit geringem Ertragspotenzial ist der Feldaufgang auffallend hoch. Dieser Aspekt stellt die Komplexität der Umsetzung dieses Ansatzes der Digitalisierung dar. Neben der Kombination von landwirtschaftlichem Erfahrungswissen und Fernerkundungsmethoden spielt die praktische Umsetzung über den Bereich der Landtechnik ebenfalls eine große Rolle bei den standortangepassten Bearbeitungsschritten.

Mit Hilfe von Fernerkundungsmethoden kann das Wissen eines pflanzenbaulichen Betriebes verbessert bzw. regionalisiert werden. Zum Beispiel wird die Bodentextur des Saathorizontes in den Karten der Bodenschätzung nicht erfasst. Anhand der visuellen Auswertung des Farbluftbildes wurde dieser Faktor in die Erstellung einer standortangepassten Aussaatkarten etabliert. Dabei weicht die mittlere Saatstärke von etwa 9,3 Körnern/ m² geringfügig vom üblichen Betriebsstandard (9 Körner/ m²) ab. Die Aspekte der Bestandsentwicklung und Ertragsbildung sind in weiteren Bonituren zu überprüfen.

Standardisierung von UAV-gestützten Bonituren am Beispiel Winterraps

Jorita Krieger und Heike Gerighausen

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig.
E-Mail: jorita.krieger@julius-kuehn.de

Einleitung

Der Einsatz von unbemannten Fluggeräten (UAV), sogenannten Multikoptern, in der Pflanzenzüchtung ermöglicht nicht nur eine schnellere und objektivere Bonitur, sondern auch eine Vergrößerung des Testsortimentes und damit eine Beschleunigung des Züchtungsprozesses (Hassan et al. 2019, Kawamura et al. 2020). Allerdings fehlt es bislang an standardisierten Methoden für die Durchführung von Messflügen und die Datenauswertung, weshalb über unterschiedliche Technik und an verschiedenen Standorten erfasste Boniturergebnisse oft nicht vergleichbar sind.

Im Projekt Standards4DroPhe sollen deshalb technische Vorgaben und Softwarelösungen zur Durchführung und Auswertung von Multikopterflügen entwickelt werden, um Merkmale optisch erfassen und zu digitalen Boniturdaten verarbeiten zu können. Hierbei stehen der Blühverlauf und die Bestandeshöhe von Winterraps sowie der Einsatz von RGB-Kameras im Fokus. Projektpartner sind die Hochschule Osnabrück, mehrere Pflanzenzüchter und das Bundessortenamt.

Material und Methoden

In der Saison 2020/21 wurde am Standort Braunschweig (sandiger Lehm, 637 mm, 9,5 °C) ein Feldversuch mit 16 Genotypen und zwei N-Stufen (120 und 170 kg ha⁻¹ N) als Spaltanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Der Versuch wurde von BBCH 60 bis 69 dreimal wöchentlich bonitiert und regelmäßig die Bestandeshöhe an drei Stellen pro Parzelle gemessen. Darüber hinaus wurde in 18 mit RTK-GPS eingemessenen Dauerbeobachtungsplots mit einer Fläche von 0,25 m² die Bestandeshöhe an fünf markierten Einzelpflanzen erfasst. Für die Befliegungen kamen ein Aibot X6V2 (UAV1) von Aibotix mit RGB-Kamera (Sony α 6000, 24,3 MP und Sony α 6400, 24,2 MP) und eine DJI Mavic 2 Enterprise Dual (UAV2) mit RGB-Kamera (DJI, 12 MP) zum Einsatz. Die erste Befliegung erfolgte nach der Aussaat zur Erstellung des Nullmodells für die Berechnung der Bestandeshöhe. Zudem wurde der Bestand parallel zu den Erhebungen befliegen. Die Flughöhe wurde an eine Bodenauflösung („ground sampling distance“, GSD) von 0,7 cm angepasst, was einer Höhe von 23 m (UAV2) bzw. 35 m (UAV1) entsprach.

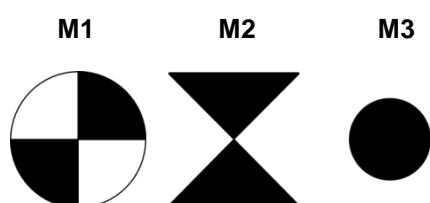


Abb. 1: Ground control points

Für die Erstellung der Höhenmodelle wurden auf der Versuchsfläche in regelmäßigen Abständen 13 georeferenzierte Feldmarken („ground control points“, GCP) installiert. Vor dem Hintergrund den hohen Zeitaufwand des manuellen Setzens von GCPs in der Prozessierungssoftware zu reduzieren, wurden verschiedene Marker zur automatisierten GCP-Detektion getestet (Abb. 1).

Die Prozessierung der UAV-Bilddaten erfolgte mit Agisoft Metashape (Version 1.7.3) und die Weiterverarbeitung der Orthofotos und Höhenmodelle in R (Version 4.1.0) und QGIS (Version 3.16.4).

Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung der in-situ Bonituren ergab, dass das getestete Rapssortiment eine deutliche genotypische Differenzierung in den Merkmalen Blühverlauf und Bestandeshöhe aufwies, während die N-Düngung ohne Effekte blieb. Zwischen dem Erscheinen erster Blüten bis zum Erblühen aller Pflanzen auf der Parzelle lagen im Mittel 10 bis 19 Tage. Die Bestandeshöhe zu BBCH 69 variierte signifikant um 43 cm zwischen 120 cm (Sorte 11) und 163 cm (Sorte 16) (Abb. 2). Die auf den Einzelpflanzen beruhende Bestandeshöhe zeigte zudem eine gute Übereinstimmung mit den regelmäßig im Gesamtbestand erfassten Werten (Abb. 3).

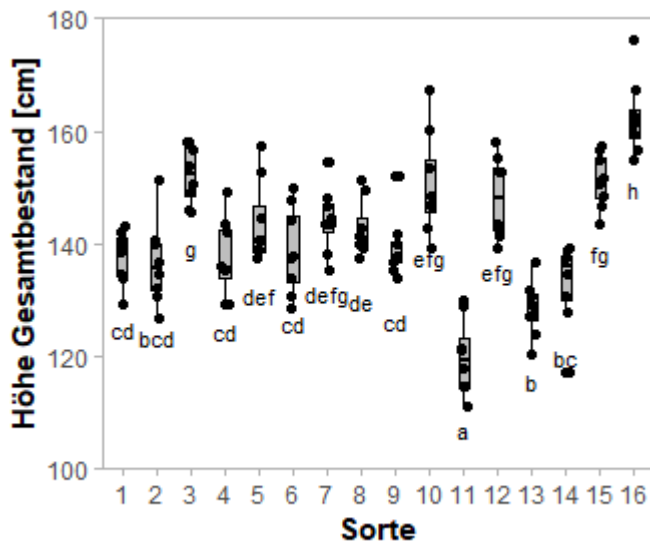


Abb. 2: Einfluss der Sorte auf die Bestandeshöhe zu BBCH 69 im Mittel der N-Stufen, Tukey-Test ($\alpha = 0,05$)

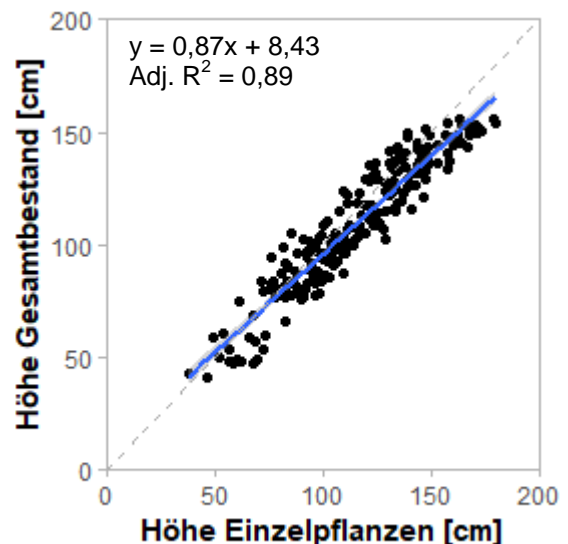


Abb. 3: Zusammenhang zwischen der mittleren Höhe der Einzelpflanzen und der Bestandeshöhe

Untersuchungen zur automatisierten GCP-Detektion ergaben, dass bezogen auf die eingesetzte Sensorik M3-Marker besser von der Software gefunden wurden als M1- und M2-Marker (Abb. 1). Der Durchmesser der schwarzen Markierung dieser GCPs sollte bei einer GSD von 0,7 cm größer als 8 cm sein. M3-Marker mit einem Markierungsdurchmesser von ca. 15 cm wurden zuverlässig detektiert.

Die Anzahl an GCPs kann beim Einsatz von UAVs mit RTK-GPS minimiert und die Fluggenauigkeit erhöht werden, was im zweiten Versuchsjahr ausgetestet werden soll. Mit „Low-Budget“-UAVs konnten Hassan et al. (2019) und Kawamura et al. (2020) die Bestandeshöhe in Weizen bzw. Reis mit einem RMSE von 6 bzw. 9 cm bestimmen. Nach vorläufigen Ergebnissen des ersten Versuchsjahres ist davon auszugehen, dass in Kombination mit den ungünstigen Witterungsbedingungen zur Rapsblüte dieser Fehlerbereich überschritten wird.

Literatur

- 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.

Assessing the senescence of spring barley genotypes using high-throughput phenotyping through UAVs images

Dany Moualeu-Ngangué and Hartmut Stützel

Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme Abteilung Systemmodellierung Gemüsebau, Leibniz Universität, Hannover. E-Mail: moualeu@gem.uni-hannover.de

Introduction

Estimating the proportion of green leaves in the canopy can help to monitor the senescence of the plot and improve yield prediction based on the photosynthetic activities of the crop species. In the literature, it is common to estimate leaf senescence based essentially on manual and visual scoring, which are therefore often subjective, time consuming, and expensive (Makanza et al., 2018). Using UAVs images can offer cost effective and quick perspectives for assessing genotypic variation in the senescence rate of different field crops. However, the UAV images need to be compared to measured values to ensure that they provide physiologically meaningful information.

UAVs equipped with RGB sensors can allow to access the three visible bands of different crop species and define spectral transformations that might be related to traits such as canopy greenness or allow to estimate head number for different crop species (Araus and Cairns, 2014).

The aim of this work is to evaluate the genotypic variation in the senescence rate of summer barley and to investigate the relationship between senescence and vegetation indices derived from 3D orthomosaic obtained from UAV images.

Material and Methods

The experiment was conducted in the experimental station of the institute for horticultural production systems of the Leibniz Universität Hannover in Ruthe (Sarstedt, 52.2442878N, 9.82361319E). In an experiment involving 144 summer barley genotypes of the barley core collection (IPK Gatersleben) in two repetitions, 38 genotypes were chosen to investigate the relationship between greenness and vegetation indices.

Images of the field were obtained using a quadrotor DJI Mavic 2 Pro (DJI Corporation, Shenzhen, China) equipped with a 20 megapixel RGB camera (pixel size: 2.4µm x 2.4µm, image size: 5472x3648Pixels, Hasselblad, Gothenburg, Sweden). The UAV was powered by a rechargeable battery, which allowed for a continuous flight of almost 30 minutes and the flights were performed on weekly basis, when the climatic condition allowed (low wind speed, no rain and not too much direct solar radiation). The same path was at 20m height was used for each flight every week, with the same drone configuration including gimbal angle (-90°), continuous image shooting every two seconds and the same drone direction. To achieve a good performance of image stitching, the forward and side overlaps were 80% and 75%, respectively.

After each flight a total of 700-800 images was obtained and a structure from motion (SfM) and multi-view stereo (MVS) approaches integrated in the software Agisoft Photoscan Professional software (Agisoft LLC, St. Petersburg, Russia). The resulted orthomosaic image was processed in R (V3.6.1, R Core Team, 2020) using the 'raster' package. The excess green vegetation index (ExG) was calculated using the formula

ExG=2G-R-B where R, G and B represent the red, green and blue layers of the orthomosaic images. To evaluate the relationship to the canopy greenness, the bell shape function was first applied on the different ExG images found for each variety to estimate the point where the decay of the ExG started to decline. The percentage of green leaf area of each plot was estimated by visual scoring between 0 and 100 where 100 % represent a canopy with no visible senescent leaf and 0% a canopy with no green leaf in the plot.

Results and discussion

The dynamics of the excess green index appeared to follow a bell-shape function with the maximum reached around the heading. The required temperature sum for the ExG to reach the maximum was between 825 and 950 °Cday. At that corresponding time, all genotypes had over 98% of green leaf area. During the decreasing phase significant correlations were found between the greenness scored visually and the excess green index for each genotype at different time point. From all the investigated varieties, the distribution of R^2 of the relationship between ExG and greenness is summarize in Figure 1(b).

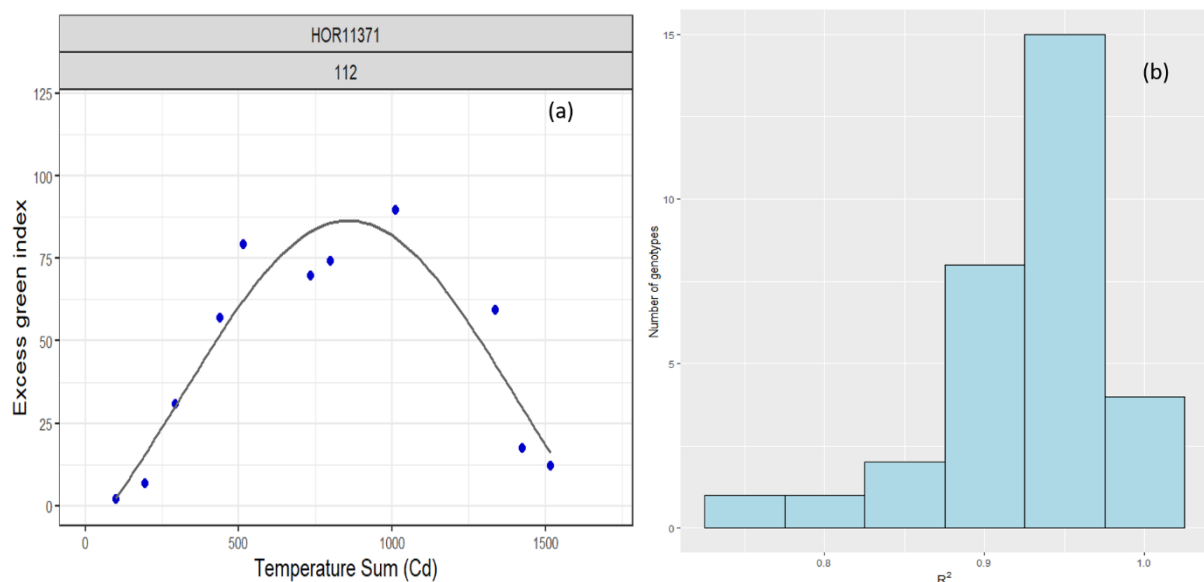


Figure 1: (a) Dynamics of the excess green index of the genotype HOR11371 on one plot (b) Distribution of the R^2 of the relationship between the excess green index and the greenness scored visually on the field.

References

- Araus JL, Cairns JE. 2014. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. *Trends in plant science* 19: 52–61. doi:10.1016/j.tplants.2013.09.008.
- Makanza R, Zaman-Allah M, Cairns J, et al. 2018. High-Throughput Phenotyping of Canopy Cover and Senescence in Maize Field Trials Using Aerial Digital Canopy Imaging. *Remote Sensing* 10: 330. doi:10.3390/rs10020330.

Sensor- und satellitengestützte Analyse des räumlich variablen Stickstoffdüngedarfs

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

Aufgrund kleinräumig wechselnder Bodeneigenschaften (Textur, nutzbare Feldkapazität) auf heterogenen Ackerflächen variieren die Erträge und N-Entzüge der Kulturpflanzen deutlich (Godwin et al. 2003). Bei schlageinheitlicher Düngung kann es dabei zur Überdüngung in Niederertragszonen kommen (hohe N-Überschüsse und potenzielle Nitratverluste bzw. Stickstoffanreicherung im Boden), während in Hohertragszonen das Ertragspotential nicht vollständig ausgeschöpft wird und/oder der N-Entzug der Pflanzen das N-Angebot übersteigt und die N-Vorräte im Boden reduziert werden (negative N-Salden) (Dalgaard et al. 2012).

Mit sensor- bzw. satellitengestützter teilflächenspezifischer Düngung können N-Salden ohne negative Wirkungen auf die Erträge reduziert und umweltrelevante Stickstoffemissionen vermindert werden (Hülsbergen et al. 2017). Für Winterweizen, Wintergerste und Raps sind bereits einige sensorgestützte Düngesysteme sowie wissenschaftlich fundierte Düngealgorithmen verfügbar (Maidl 2011; Spicker 2017). Einige Dienstleister, die sich auf die Prozessierung von hochauflösenden Satellitenbildern für die Landwirtschaft spezialisiert haben, erstellen anhand von Vegetationsindizes und Wachstumsmodellen standortangepasste Stickstoffdüngekarten für die jeweiligen Düngetermine (Söderström et al. 2016; TalkingFields 2019).

Trotz der zunehmenden Verfügbarkeit und Qualität von sensor- bzw. satellitengestützten Düngesystemen ist die schlageinheitliche Düngung noch immer der Standard in der praktischen Landwirtschaft (Finger et al. 2019). An drei Standorten in Bayern werden die Wirkungen der sensor- und satellitengestützten teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung auf die räumliche Variabilität der Erträge, der N-Entzüge und der N-Salden untersucht und mit der praxisüblichen schlageinheitlichen Düngung verglichen. Es wird von der Hypothese ausgegangen, dass durch den Einsatz teilflächenspezifischer Düngesysteme die Variabilität und die Höhe der N-Salden stark abnimmt und die N-Effizienz steigt.

Material und Methoden

Es wurden Ackerschläge gewählt, die aufgrund der Bodenheterogenität eine räumliche Variabilität von Pflanzenparametern (Erträgen, Korn-N-Entzügen und N-Salden) bei Winterweizen und Wintergerste erwarten lassen. Anhand von georeferenzierten Bodenanalysen und mehrjährigen Satellitendaten wurden die Ackerschläge zunächst in Ertragszonen geteilt (Hohertrag, Mittlerertrag und Niederertrag). Langjährige Ertragsmittelwerte dienten zur Definition der absoluten Ertragspotenziale in den Zonen. Zwischen den Fahrgassen (12 bis 15 m breit) der Ackerschläge wurde zu den Entwicklungsstadien EC 32 und EC 39 im Wechsel variabel und schlageinheitlich mit Stickstoff gedüngt. Mittels Sensormessungen anhand des traktormontierten Sensorsystems TUM 2014-220 wurde der REIP-Index

vor den jeweiligen Düngeterminen erfasst. Zur Umsetzung der variablen Düngung wurden Parzellen von 20 m Länge angelegt und für jede Parzelle der mittlere REIP-Index berechnet. Mittels des Düng-Algorithmus für Weizen und Gerste nach Maidl (2011) wurden je nach standortspezifischem Ertragspotenzial die variablen Stickstoff-Düngemengen berechnet. Nach diesem Prinzip wurden mehrere Flächen an verschiedenen Standorten (Bayern) gedüngt.

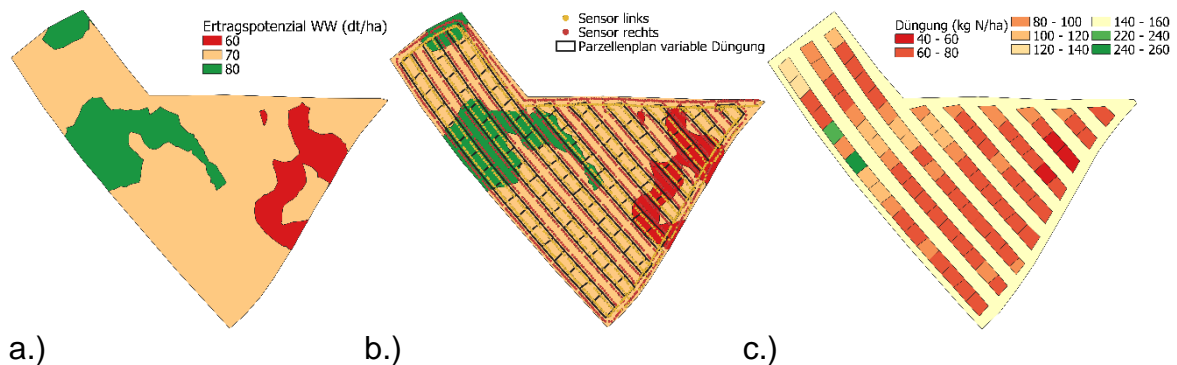


Abb. 1: “Lechnerfeld“, Winterweizen 2021, (5,5 ha): a.) Ertragspotenzial, b.) Sensormessung mit Parzellenplan, c.) Düngung der Parzellen nach Düng-Algorithmus und Ertragspotenzial im Wechsel mit schlageinheitlicher Düngung

Die räumliche Variabilität der Pflanzenparameter wird über die georeferenzierte Ertragskartierung (Mähdrescher, Satellitendaten und Sensormessungen) und die teilflächenspezifische Düngung erfasst. Zur Interpretation der Variabilität der N-Salden in Bezug zum Ertragspotenzial der Flächen werden Bodenparameter wie Humus- und Gesamtstickstoffgehalt ermittelt. Mit statistischen Interpolationsverfahren werden die Parameter in Beziehung gesetzt.

Literatur

- Dalgaard, T.; Bienkowski, J. F.; Bleeker, A.; Dragosits, U.; Drouet, J. L.; Durand, P. et al. (2012): Farm nitrogen balances in six European landscapes as an indicator for nitrogen losses and basis for improved management. In: *Biogeosciences* 9 (12), S. 5303–5321. DOI: 10.5194/bg-9-5303-2012.
- Finger, Robert; Swinton, Scott M.; El Benni, Nadja; Walter, Achim (2019): Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. In: *Annu. Rev. Resour. Econ.* 11 (1), S. 313–335. DOI: 10.1146/annurev-resource-100518-093929.
- 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. In: *Biosystems Engineering* 84 (4), S. 375–391. DOI: 10.1016/S1537-5110(03)00031-X.
- HÜLSBERGEN, K.-J., MAIDL, F.-X., FORSTER, F. & PRÜCKLMAIER, J. (2017): Minderung von Nitratausträgen in Trinkwassereinzugsgebieten durch optimiertes Stickstoffmanagement. am Beispiel der Gemeinde Hohenthann (Niederbayern) mit intensiver landwirtschaftlicher Flächennutzung. Technische Universität München.
- Maidl, F.-X. (2011): Verfahren zur Bestimmung des Düngerbedarfs, insbesondere des Stickstoff-Düngerbedarfs und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Online verfügbar unter <https://patentimages.storage.googleapis.com/24/c9/5b/0c3e68e713a556/DE102011050877B4.pdf>, zuletzt geprüft am 04.11.2020.
- SÖDERSTRÖM, M., STADIG, H., MARTINSSON, J., PIKKI, K. & STENBERG, M. (2016): CropSAT – A public satellite-based decision support system for variable-rate nitrogen fertilization in Scandinavia.
- SPICKER, A. B. (2017): Entwicklung von Verfahren der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung zu Wintergerste (*Hordeum vulgare* L.) und Winterraps (*Brassica napus* L.) auf Grundlage reflexionsoptischer Messungen. Dissertation, Technische Universität München.
- TALKINGFIELDS (2019): Düngung smart! - talkingfields - Betrieblicher Einsatz von Satellitendaten im Pflanzenbau. <https://www.talkingfields.de/alle-produkte/duengung-smart/> (26.04.2019).

Assessing morphologic short term stress reactions in plants using a 3D imaging approach

Simon Schmitz, Andreas Fricke und Hartmut Stützel

Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Leibniz Universität, Hannover
E-Mail: schmitz@gem.uni-hannover.de

Introduction

Due to their inability to move away from adverse locations, plants must necessarily adapt also to short term stresses. The precise mechanisms of adaptation are still under research. In theory plants are able to “memorize” stresses. The mechanics of this adaptation are linked to genetic changes in the epigenetic makeup of plants and the trans- and posttranscriptional regulation of gene expression (Mirouze and Paszkowski., 2011). Recent findings also indicate that these changes appear to be inheritable (Slaughter et al. 2019). This adaptation can also be disadvantageous, with plants primed to high water levels being more vulnerable towards drought (Luki et al. 2020).

As with every biological function, adaptations are always a trade between various different compartments. A plant that undergoes such adaption in response to short term stress might be protected against a repeating stress, but at the expense of energy now not used to further leaf growth or fruit production. These adaptations are reducing the yield in order to enhance survival rates, an evolutionary advantage, but in modern crop production more of a disadvantage.

Many of these stressors are of such short time frames that our plant monitoring systems can often not measure or detect them. In fact, it is a debated topic if such short term changes and metabolic fluxes can even be classified as a stress response (Lichtenthaler, 1998). Leaf color changes or the reduction in fruit yield however are signs of long term stress, lasting adaptations to adverse locations and environments. It is therefore possible that many short term stress reactions and adaptations are happening while we cannot observe them, resulting in significant yield reduction due to these adaptations adding up over time.

In order to prevent such adaptations and the yield reduction it is therefore important to detect these stresses as soon as possible.

Material and methods

In our work we plan to analyze the plant responses on such short term stress, using a new continuous 3D modeling system. With this system we capture morphological responses such as leaf movements in combination with physiological reactions such as leaf temperature and transpiration. The goal is to detect stress responses at the earliest as possible stage. For this tomato, sweet pepper and eggplant are grown under growth chamber conditions in a hydroponic system and exposed to a five to ten minute salt stress in various concentrations to simulate drought.

For the 3D modeling we use a continuous scanning method relying on three fixed simultaneously triggered cameras to create a model of the plant leaves through a

structure-from-motion algorithm. Leaf temperature measurements are performed with a thermal camera, transpiration measurements with weighted hydroponic pots.

Results and discussion

The method creates 3D models that very closely match the real plant, without the need for time consuming scanning or turntable systems that either move the plant or the cameras around. It is therefore a cheap and easy way to determine leaf angles, azimuth angles and the leaf size remotely, without any influence on the plant in any way. Additionally the system works in real time as well, since no time has to be spent turning the cameras of the plant. Thus even short term changes can be measured in the models.

The poster shows first results.

Literature

- Lichtenthaler, H. K. (1996). Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. *Journal of plant physiology*, 148(1-2), 4-14. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(96\)80287-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80287-2)
- Lukić, N., Kukavica, B., Davidović-Plavšić, B., Hasanagić, D., & Walter, J. (2020). Plant stress memory is linked to high levels of anti-oxidative enzymes over several weeks. *Environmental and Experimental Botany*, 178, 104166. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104166>
- Mirouze, M., & Paszkowski, J. (2011). Epigenetic contribution to stress adaptation in plants. *Current opinion in plant biology*, 14(3), 267-274. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.03.004>
- Slaughter, A., Daniel, X., Flors, V., Luna, E., Hohn, B., & Mauch-Mani, B. (2012). Descendants of primed Arabidopsis plants exhibit resistance to biotic stress. *Plant physiology*, 158(2), 835-843. <https://doi.org/10.1104/pp.111.191593>

Schätzung der oberirdischen Trockenmasse von Winterraps *Brassica napus*, Wintergerste *Hordeum vulgare* und Blauer Lupine *Lupinus angustifolius* durch Blattflächenermittlung von Digitalfotos

Sarah Katharina Limpächer und Eike Stefan Dobers

Hochschule Neubrandenburg, Brodaer Str. 2, 17033 Neubrandenburg. E-Mail: limpaecher@hs-nb.de

Einleitung

Pflanzenbaulichen Untersuchungen, welche die oberirdische Biomasseentwicklung als Parameter erheben, nutzen die zerstörerische Trockenmassebestimmung nach definierten Zeitabschnitten. Diese Methode ist sehr arbeitsintensiv und erfordert zudem für die Erhebung von Zeitreihen umfangreiche Wiederholungszahlen. Phänotypisierung mittels Bildauswertung ist ein alternatives Vorgehen, um nicht-zerstörend die Biomasse-Entwicklung der Pflanzen zu erfassen (Ge, 2016). Der Beitrag stellt Ergebnisse von Untersuchungen vor, welche mittels RGB-Digitalfotografie und Verwendung von OpenSource-Software die oberirdische Blattfläche ermitteln.

Material und Methoden

Winterraps, Wintergerste und Blaue Lupine wurden im Gewächshaus in Töpfen (13x19x13cm) in mehreren Versuchsdurchgängen angezogen. Es wurden je Art 50 Töpfe je Versuchsdurchgang und kulturspezifisch 9 bis 25 Pflanzen pro Topf angesetzt. Je 10 Töpfe wurden mittels UV-C Strahlung unterschiedlicher Intensität in ihrem Wachstum beeinflusst (UK, 4 Stufen UV-C), um Variation in der Biomasseentwicklung zu erhalten. Die Behandlung der Pflanzen erfolgt in BBCH 10-11 (Raps, Gerste) bzw. BBCH 21 (Lupine). Ab dem Tag der Behandlung wurden die Töpfe an 3-5 Terminen (t1-t5) bis zur Trockenmassebestimmung fotografiert. Nach 14 Tagen wurde die oberirdische Biomasse geerntet und die Trockenmasse je Topf durch Trocknung bestimmt (48 h, 105°C). Die Dikotylen wurden senkrecht von oben und die Monokotyle von der Seite fotografiert. Während des Fotografierens wurden die Pflanzen diffus beleuchtet, keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt und sie stehen auf bzw. vor einem blauen Hintergrund.

Die Auswertung fand mit der OpenSource-Software „Fiji“ statt (Schindelin, 2012). Die grünen Pixel pro Bild werden mit Hilfe eines Makros ermittelt, als räumliche Referenz dient die Topfbreite. Diese bildgestützte Schätzung der oberirdischen Blattfläche je Termin (BF-T_n) wird der ermittelten Trockenmasse am Erntetag (TM) gegenübergestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Die lineare Regression von BF am Erntetag auf TM ergab R² von 0.6145 (Raps), 0.3374 (Gerste) bzw. 0.7205 (Lupine) (Abb.1 für Raps). Somit zeigt sich, dass speziell bei den Dikotylen diese Methode als effektiv zu betrachten ist. Das geringe Bestimmtheitsmaß bei Gerste kann dadurch erklärt werden, dass sich die 25 im Topf befindlichen Pflanzen gegenseitig bedecken und somit die tatsächliche Blattfläche nicht in Gänze erfasst werden kann.

Die lineare Regression von BF der Termine vor dem Erntetag ergab geringere Werte für R². Termin eins ergab ein R² von 0.1085 und Termin zwei von 0.3931.

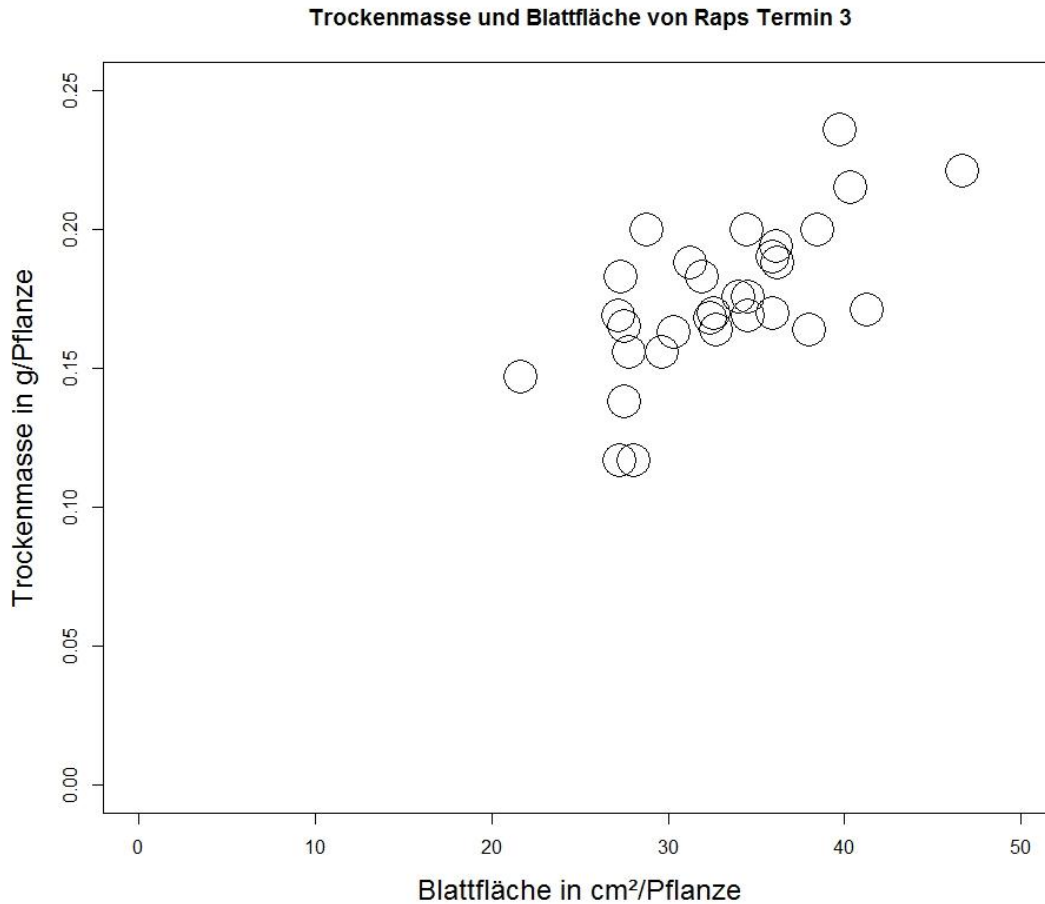


Abb. 1: Raps Bildauswertungsdaten in Relation zur ermittelten Trockenmasse (g/Pflanze) ($R^2 = 0.6145$)

Die lineare Regression der Lupine ($R^2 = 0.7152$) und der Gerste ($R^2 = 0.2969$) zeigten ein hohes Signifikanzniveau ($p < 0.001$) für den ersten Fotografietermin (T1). Die zwei anderen Termine, speziell der am Tag der Trockenmasseerhebung zeigen keinen Zusammenhang. Die entsprechenden R^2 -Werte sind in Tabelle 1 aufgeführt und zeigen, dass der Wert sich bis zum Erntetag verringert.

Tab. 1: R^2 für Gerste und Lupine an Termin 2 und Termin 3

Kultur	R^2 für T2	R^2 für T3
Gerste	0.1649	0.03148
Lupine	0.6187	0.3396

Das sinkende Bestimmtheitsmaß in der Lupine kann dadurch erklärt werden, dass die ermittelte Blattfläche stark von der Stellung der Blätter abhängt. Hängen die Blätter zu sehr herab, oder sind leicht verdreht kann die tatsächliche Fläche nicht erfasst werden. Diese Kriterien spielen beim Raps mit der planophilen Blattstellung keine so große Rolle und beeinträchtigen somit nicht das Ergebnis und erfordern für diese Kultur keine Anpassung der Methodik.

Literatur

Ge, B. S. (07 2016). Temporal dynamics of maize plant growth, water use, and leaf water content using automated high throughput RGB and hyperspectral. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.028>, USA.

Schindelin, J. A.-C. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. . Von <https://imagej.net/contribute/citing> abgerufen

Umweltstabilität des Vicin/Convicingehaltes in Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) unter dem Einfluss von Trockenstress und dem Befall mit *Bruchus rufimanus*

Balko, C.¹, Zaar, A.¹, Gutiérrez, N.² und Kölpin, F.³

¹Julius Kühn-Institut (JKI) / Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, Sanitz (D);

²IFAPA / Centro Alameda del Obispo, Cordoba (ESP)

³Universität für Bodenkultur Wien, Wien (AUT).

E-Mail: chritiane.balko@julius-kuehn.de

Einleitung

Leguminosenkörner enthalten verschiedene antinutritive Substanzen. In Ackerbohnen sind neben Tanninen insbesondere Vicin und Convicin (VC), die zur Gruppe der Glucoside gehören, enthalten. Vor allem in der Fütterung von Monogastriden wirken diese sich leistungsmindernd aus; sie werden bei einem höheren Ackerbohnenanteil in Rationen von Zuchtsauen als Ursache für negative Effekte, wie geringere Ferkelzahl pro Wurf, reduzierte Milchleistung, verminderte Gehalte an Immunglobulinen sowie für ein verändertes Fettsäuremuster in der Kolostralmilch beschrieben. Bei Hühnern wirkten sich VC negativ auf die Energieverfügbarkeit aus und das Eigewicht kann reduziert sein. Bei Menschen mit Glucose-6-phosphatdehydrogenase-Defizienz können VC eine hämolytische Anämie, bekannt als ‚Favismus‘, verursachen.

Der Gehalt an VC ist genotypisch fixiert. Darüber hinaus wird eine signifikante Umweltvariabilität über Jahre und oder Orte beschrieben. Zum Verhalten des VC Gehaltes unter Trockenstress gibt es noch keine spezifischen Untersuchungen. Auch bezüglich des VC Gehaltes in Ackerbohnsamen unter dem Befall mit Käfern der Gattung *Bruchidae* ist wenig bekannt.

Material und Methoden

Eigene Untersuchungen wurden am Erntegut eines Sortimentes bestehend aus 8 Ge-notypen mit unterschiedlichem Vicin/Convicingehalt aus den Trockenstressversuchen im Projekt EUCLEG durchgeführt. Die Genotypen wurden in 4 Wiederholungen im Freiland (Kontrolle) sowie in fahrbaren Rain out-Sheltern (Trockenstressvariante) angebaut. Die Applikation von Trockenstress erfolgte ab Blühbeginn durch Einstellen der Bewässerung und Überdachung der Shelterflächen bei Regen. Das geerntete Saatgut wurde für alle Wiederholungen und Varianten bezüglich des *Bruchus* Befalls sortiert und getrennt vermahlen. Die Bestimmung des VC Gehaltes erfolgte sowohl durch die photometrische Schnellmethode modifiziert nach Sixdernier et al. (1996) als auch mittels HPLC-DAD modifiziert nach Marquardt und Fröhlich (1981).

Ergebnisse und Diskussion

Die eigenen Untersuchungen zeigen, dass der VC Gehalt unter Trockenstress eher leicht sinkt (Abb.1). Das könnte im Zusammenhang mit Veränderungen im Tausendkorngewicht und damit im Verhältnis Schale/Sämling liegen, da deren Gehalte unterschiedlich sind.

Unter *Bruchus* Befall ist der VC Gehalt in den Samen jedoch um bis zu 100 % höher (Abb. 2) und auch Genotypen mit ursprünglich niedrigerem VC Gehalt können Gehalte von befallsfreien höher VC haltigen Sorten erreichen. Weiterhin zeigt sich bezüglich des VC Gehaltes eine signifikante Wechselwirkung Genotyp x *Bruchus*

Befall, d.h. die Höhe des VC Gehaltes im Vergleich zur Kontrolle ist genotypenspezifisch. Beide Effekte lassen sich sowohl mit der photometrischen Schnellmethode als auch per HPLC signifikant nachweisen (Pearsonscher Korrelationskoeffizient beider Methoden $r = 0,976$). Möglicherweise liegen hier modifizierende Gene vor, über die noch wenig bekannt ist. Der Zusammenhang zum *Bruchus* Befall im Feld ist noch nicht klar.

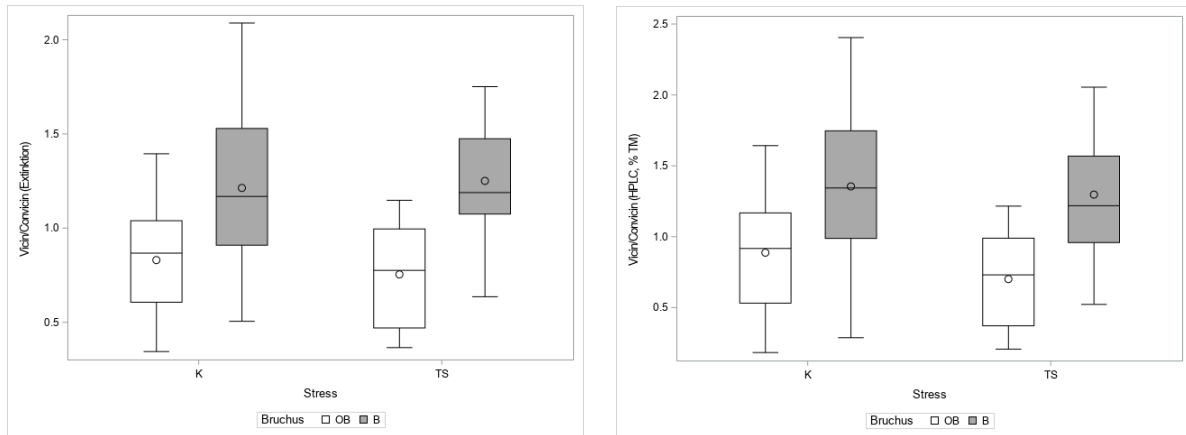


Abb. 1 Haupteffekte Trockenstress und *Bruchus* Befall auf den VC Gehalt; links photometrische Schnellmethode, rechts mittels HPLC (K Kontrolle TS Trockenstress OB/B ohne/mit Befall)

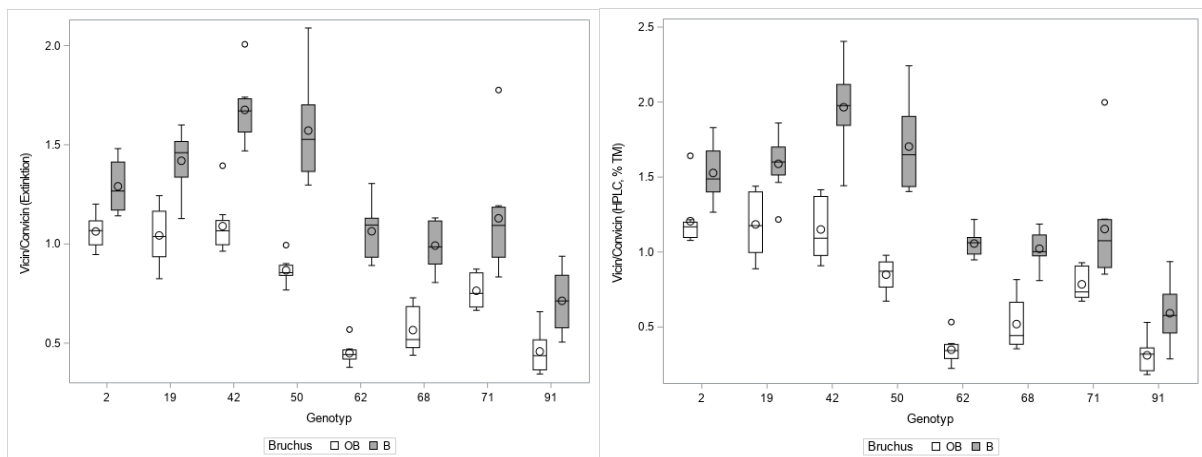


Abb. 2 Einfluss des *Bruchus* Befalls auf den VC Gehalt der 8 untersuchten Genotypen; links photometrische Schnellmethode, rechts mittels HPLC (K Kontrolle TS Trockenstress OB/B ohne/mit Befall)

Die Forschungsarbeiten wurden durch die Europäische Union im Rahmen von Horizon 2020, Projekt EUCLEG (GA 727312) gefördert. Unser besonderer Dank gilt Dr. Ana Maria Torres (IFAPA, Spanien) für die Bereitstellung des Ackerbohnen Sortimentes.

Literatur

Sixdernier, G.; Cassequelle, F.; Guillaumin, I.; Duc, G. (1996): Rapid spectrofotometric method for reduction of vicine and convicine in faba bean seed. FABIS Newsletter 38/39, 42-44

Marquardt, R.R., & Fröhlich, A.A. (1981). Rapid reversed-phase high-performance liquid chromatography method for the quantitation of vicine, convicine and related compounds. Journal of Chromatography. A, 208, 373–379

Einfluss verschiedener Nachernteverfahren auf wertgebende Inhaltsstoffe von Teehortensien (*Hydrangea macrophylla* subsp. *serrata*)

Marcel Dieter Moll¹, Liane Kahlert¹, Maria Blings², Esther-Corinna Schwarze², Silke Hillebrand², Jakob Ley², Thorsten Kraska^{1,3} und Ralf Pude¹

¹INRES – Nachwachsende Rohstoffe / Universität Bonn; ²Symrise AG, Holzminden; ³INRES – Gartenbauwissenschaften / Universität Bonn. E-Mail: m.moll@uni-bonn.de

Einleitung

Neben der Verwendung als Zierpflanze zeigen Hortensien (*Hydrangea macrophylla* L.) weitere interessante Nutzungsmöglichkeiten. Ausschließlich in einigen Genotypen des Serrata-Typs (Berghortensie) kommen große Mengen Dihydroisocumarine (DHCs) vor, von denen der bekannteste Vertreter das süß schmeckende Phyllo dulcin (PD) ist (Asahina & Asano, 1930). Daneben ist mengenmäßig das Hydrangenol (HG) interessant. DHCs wurden zudem als möglicherweise antiallergisch oder antimikrobiell wirksam beschrieben (Yoshikawa et al., 1996). Gezielte Nachernteverfahren fördern die enzymatische Freisetzung der Aglykone HG oder PD aus ihren Glykosiden und können so zur Ausbeutesteigerung und damit sensorischen Optimierung beitragen (Jung et al., 2016). In dieser Studie sollte untersucht werden, wie sich verschiedene Nachernteverfahren auf die HG- bzw. PD-Ausbeuten auswirken und ob Teehortensien-Genotypen unterschiedlich auf die Nachernteverfahren reagieren.

Material und Methoden

Die obersten, voll entwickelten Blattpaare dreier Teehortensien-Kultivare ('Amagi Amacha', 'Oamacha', 'Odoriko Amacha') wurden per Hand geerntet (Campus Klein-Altendorf, Rheinbach, September 2019) und durch Druckbelastung (Quetschen), Hinzufügen von Schnittwunden (Zerkleinern), Gefrieren bzw. Fermentieren (Vorwelken der Blätter bei 37 °C, anschließendes Aufrollen und Lagerung unter Luftausschluss bei hoher Luftfeuchte für 24 h bei Raumtemperatur) bearbeitet. Als Trocknungstemperaturen wurden 40 °C, 70 °C sowie 100 °C gewählt. Die HG- bzw. PD-Quantifizierung wurde mittels Waters Acquity UPLC[®] I-Class System durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Entgegen der Erkenntnisse von Jung et al. (2016) zeigen die vorliegenden Ergebnisse, dass die Desintegration des Pflanzengewebes durch mechanischen Stress nicht zwingend mit einem gesteigerten Inhaltsstoff-Gehalt einhergeht. Primär sind die Gehalte an DHCs Genotyp-abhängig. Die höchsten HG-Gehalte wurden in 'Odoriko Amacha' gemessen (Fermentiert, 70 °C: 2,7 %), die niedrigsten Werte in 'Amagi Amacha' (Kontrolle, 100 °C: 0,05 %). Bei PD verhält es sich entgegengesetzt und höchste Gehalte wurden in 'Amagi Amacha' gefunden, wohingegen 'Odoriko Amacha' geringe PD-Ausbeuten erzielte. (Abb. 1). Trocknungstemperaturen bis 70 °C erscheinen unproblematisch, bei 100 °C sinkt die PD-Extraktionsausbeute. Einflüsse der Trocknungstemperatur sind bei HG weniger ausgeprägt. Der Einfluss der Verfahren ist Kultivar-bedingt und temperaturabhängig. Phyllo dulcin-Gehalte wurden insbesondere durch Gefrieren und Fermentieren der Blätter gesteigert. Ungünstige Analyt-Konzentration bei hoher Trocknungstemperatur konnten dadurch

gemindert werden. Über alle Trocknungstemperaturen hinweg konnte die Fermentation in zwei der drei Kultivare die höchste Ausbeutensteigerung erzielen. Lediglich 'Oamacha' zeigte die höchsten Steigerungen der gemessenen Phyllodulcingehalte bei gefrorenem Blattmaterial. Daher erscheint ein gezieltes Management der Nachernteverfahren unabdingbar für die Optimierung des sensorischen Profils bei Teehortensien.

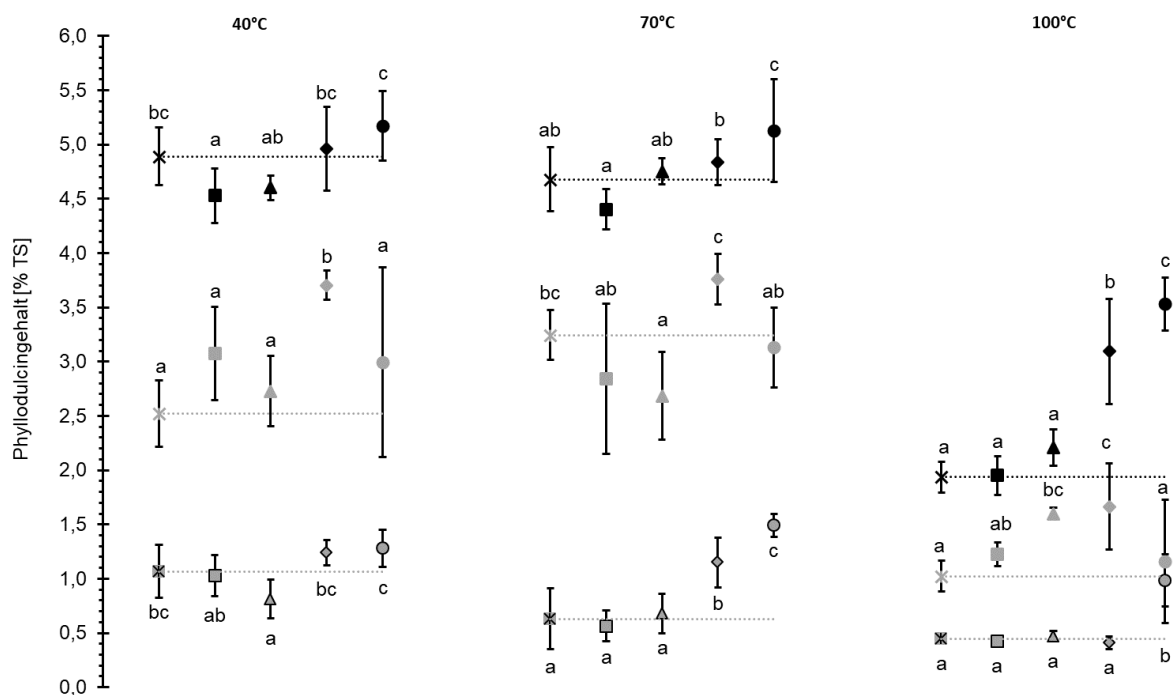


Abb. 1. Phyllodulcingehalt dreier Teehortensien-Kultivare (schwarz: 'Amagi Amacha'; grau: 'Oamacha'; grau, schwarz umrandet: 'Odoriko Amacha') in Abhängigkeit der Trocknungstemperatur und der Nacherntebehandlung (x: Kontrolle, □: Quetschen, Δ: Zerkleinern, ◇: Gefrieren, ○: Fermentieren). Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede innerhalb einer Variante, (ANOVA und Tuckey-HSD, $\alpha=0,05$, $n=10$).

Literatur

- Asahina, Y. & Asano, J. (1929): Über die Konstitution von Hydrangenol und Phyllodulcin. In: *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 62 (1), 171–177. DOI: 10.1002/cber.19290620124
- Jung, C.-H., Kim, Y., Kim, M.-S., Lee, S., Yoo, S.-H. (2016): The establishment of efficient bioconversion, extraction, and isolation processes for the production of phyllodulcin, a potential high intensity sweetener, from sweet hydrangea leaves (*Hydrangea macrophylla Thunbergii*). In: *Phytochemical Analysis: PCA* 27 (2), 140–147. DOI: 10.1002/pca.2609.
- Yoshikawa, M., Shimada, H., Yagi, N., Marakami, N., Shimoda, H., Yamahara, J., Matsuda, H. (1996): Development of bioactive functions in *Hydrangeae Dulcis* Folium. VI. Syntheses of Thunberginols A and F and Their 3'-Deoxy-Derivatives Using Regiospecific Lactonization of Stilbene Carboxylic Acid: Structures and Inhibitory Activity on Histamine Release of Hydramacrophyllols A and B. In: *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 44 (10), 1890-1898. DOI: 10.1248/cpb.44.1890

Alternative Parameter zur Bewertung der Backweizenqualität – Ergebnisse aus dem Projekt N-DECREASE –

Thomas Kämpfer, Doreen Gabriel, Gerhard Rühl und Jörg-Michael Greef

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig.
E-Mail: thomas.kaempfer@julius-kuehn.de

Einleitung

Die derzeitig teils überhöhten Anforderungen an den Rohproteingehalt (RP), welche oftmals mit einer in ihrer Höhe zu hinterfragenden und ökologisch problematischen N-Spätdüngung erzielt werden, können hohe N-Bilanzüberschüsse in der Backweizenerzeugung verursachen. Mit Inkrafttreten der Novellierung der Düngeverordnung 2020 wird die Spätdüngung zwar nicht mehr im bisherigen Ausmaß umsetzbar sein, jedoch wird durch das Festhalten am RP als Hauptbewertungskriterium im Handel der Einstieg von Sorten, die auch bei deutlich geringerem RP sehr gute Backqualität erzielen, in die landwirtschaftliche Praxis erschwert.

Im Rahmen des Projekts N-DECREASE² werden daher potenzielle Parameter zur Ergänzung des RP charakterisiert. In dem Vorhaben wird insbesondere untersucht, ob (1) die Verhältniszahl Feuchtklebergehalt im Mehl/Rohproteingehalt im Korn (FK/RP) ein umweltstabiles Merkmal darstellt, (2) die Glutenin-Makropolymere (GMP) die Volumenausbeute (VA) besser erklären als der RP-Gehalt und (3) der Aufmischwert durch die Dehnungseigenschaften und die Teigelastizität der einzelnen Mischungspartner beeinflusst wird.

Material und Methoden

Hierzu wurde ein dreijähriger Feldversuch in den Jahren 2017 bis 2019 an den Standorten Braunschweig (schluffiger Sand, Ø 8,8 °C/621 mm) und Bernburg (schluffiger Lehm, Ø 9,0 °C/490 mm) mit zwölf Winterweizensorten (jeweils 4 E-, A-, und B-Sorten) und zehn N-Düngungsstufen (KAS, 60 bis 315 kg N ha⁻¹ Jahr⁻¹, exkl. N_{min}) bei Vorfrucht Raps bzw. Hafer angelegt. Die Bestimmung der Qualitätsmerkmale erfolgte nach Standardmethoden (RP: ICC 167, FK: ICC 137/1, GMP: Linnemann (2010), VA: RMT-Backtest). Die Auswertung erfolgte mit der Software R (R Core Team, 2020).

Zur Bewertung der Umweltstabilität wurde der Einfluss der N-Versorgung auf die Parameter RP, FK und FK/RP in Abhängigkeit von Sorte, Standort und Jahr modelliert und die prozentuale Änderung bei einer gesteigerten N-Versorgung von 160 auf 280 kg N ha⁻¹ Jahr⁻¹ in verschiedenen Umwelten berechnet.

Der Zusammenhang zwischen VA und GMP vs. RP wurde mittels linearer Regression analysiert und anhand des Bestimmtheitsmaßes R² verglichen.

Zur Ermittlung des Aufmischwerts wurde eine Auswahl an Sortenkombinationen bestehend aus Mischungspartnern mit gleichen und unterschiedlichen Teigeigenschaften (Elastizität, Dehnbarkeit, Energie etc.) getroffen und im Verhältnis 50:50 sowie einzeln verbacken.

²Steigerung der Stickstoffdüngeneffizienz und Abbau der Stickstoffbilanzüberschüsse in der Backweizenerzeugung durch Nutzung neuer spezifischer Sorteneigenschaften

Ergebnisse und Diskussion

Feuchtkleber

Die Verhältniszahl FK/RP wies eine größere Umweltstabilität im Vergleich zu RP und FK auf und differenzierte in Abhängigkeit von der Sorte. Vor dem Hintergrund der für Verarbeitungsbetriebe teils großen Bedeutung des FK und der einfachen und wenig zeitintensiven Analytik (je nach ICC-Standard lediglich 10-15 min, ähnlicher Zeitaufwand wie für die Ermittlung des Sedimentationswerts), erscheint eine generelle Berücksichtigung des FK bzw. der Verhältniszahl FK/RP bei der Bewertung der Weizenqualität in der beschreibenden Sortenliste und der Erfassung sinnvoll.

Glutenin-Makropolymere

Die GMP erklären die VA bei Betrachtung aller Düngungsstufen weniger gut als der RP, wodurch die Erkenntnisse von Linnemann (2010) grundsätzlich nicht bestätigt werden konnten. Betrachtet man jedoch nur praxisübliche und höhere Düngungsstufen, erklären die GMP die VA besser als der RP. Auch wenn der GMP-Gehalt damit einen potenziellen Bewertungsparameter für die Backqualität darstellt, ist der zeitliche Aufwand der GMP-Analytik für eine schnelle Qualitätsbestimmung zu hoch.

Aufmischwert

Ein zufriedenstellendes Erklärungsmodell für den Aufmischwert basierend auf unterschiedlichen Dehnungseigenschaften oder Teigelastizitäten konnte nicht gefunden werden. Die Teigelastizität konnte durch differenzierte Sortenkombinationen nicht aufgewertet werden (Homogenisierung) und es wurden insgesamt selten Aufmischeffekte erzielt. Daher erscheint die Nutzbarkeit des Aufmischwerts in der Praxis fraglich, insbesondere aufgrund des schnellen Sortenwechsels und der Tatsache, dass bei der Backerzeugung eher große Partien mit einheitlicher Qualität als durch Mischung erhöhte VA gefragt sind.

Literatur

ICC-Standard Nr. 137/1 (1994): Mechanical Determination of the Wet Gluten Content of Wheat Flour (Perten Glutomatic). Standard Methods of the International Association for Cereal Chemistry. Verlag Moritz Schäfer, Detmold.

ICC-Standard Nr. 167 (2000): Determination of crude protein in grain and grain products for food and feed by the Dumas Combustion Principle. Standard Methods of the International Association for Cereal Chemistry. Verlag Moritz Schäfer, Detmold.

Linnemann, L. (2010): Entwicklung einer prozessnahen Diagnostik der Mehlqualität und Teigbereitung zur optimierten Herstellung von Backwaren aus Öko-Weizensorten. Forschungsring für Biologisch-Dynamische Wirtschaftsweise e.V., Darmstadt.

Pelshenke, P.F., Schulz, A., Stephan, H. (2007): Rapid-Mix-Test (RMT) - Standard-Backversuch für Weizenmehle der Type 550. Merkblatt 62 der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (AGF), Detmold.

R Core Team (2020): A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien.

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 2818101715.

Beeinflussung des mukosalen Immunsystems beim Schwein durch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe des Oregano

Michael Stassen¹, Haiko Hendrik Hofmann¹, Ernst Tholen¹, Christiane Neuhoff² und Karl Schellander¹

¹Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, Endenicher Allee 15, 53115 Bonn;

²Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Deichmanns Aue 29, 53179 Bonn.

E-Mail: s7mistas@uni-bonn.de

Einleitung

In einer zukunftsorientierten Schweineproduktion muss die Tiergesundheit aufgrund ihrer Bedeutung für die Produktionsleistung und das Tierwohl einen zunehmenden Stellenwert einnehmen. Maßgeblich hierfür ist die Gesunderhaltung des Gastrointestinaltrakts. Phyto gene Substanzen, wie z. B. das aromatische Öl des Oregano können durch ihre antimikrobielle, antioxidative und antiinflammatorische Wirkungen das mukosale Immunsystem unterstützen (van der Aar et al., 2017). Solche Effekte werden durch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe des Oregano hervorgerufen (Wald, 2003). Ihre Zusammensetzung ist im hohen Maße von der betrachteten Oregano-Sorte, den Anbaubedingungen und weiteren Umweltfaktoren abhängig (Angioni et al., 2006).

Material und Methoden

In diesem Experiment wurden die Effekte von reinem Oreganoöl (*Origanum vulgare* spp. *hirtum* var. Vulkan) und zweier sekundärer Inhaltsstoffe (Carvacrol und β -Caryophyllen) auf die Genexpression intestinaler Epithelzellen (IPEC-1, DSMZ: ACC 705) *in-vitro* untersucht. Dafür wurden in einer 96-Well Platte, IPEC-1 Zellen (8000 Zellen/Well) kultiviert und bei 37 °C und 5% CO₂ inkubiert. Insgesamt wurden je zwei Platten einer Behandlung (Oreganoöl, Carvacrol, β -Caryophyllen) getestet. Als Wachstumsmedium (100 μ l/Well) wurden Dulbecco's Modified Eagle's Medium und Ham's F-12 im Verhältnis 1:1 vermischt und mit 10% Fetales Kälberserum und 0,2% Penicillin-Streptomycin ergänzt. Nach 24 Stunden Inkubationszeit wurde das Wachstumsmedium gewechselt. In das neue Wachstumsmedium (100 μ l/Well) für die angewachsenen Zellen kam zusätzlich die entsprechende Konzentration des Oreganoöls (100, 300, 500 μ M) bzw. des Carvacrols (100, 300, 500 μ M) oder des β -Caryophyllens (10, 30, 50 μ M). In den entsprechenden Kontrollen wurde der Anteil des Öls mit Phosphate Buffered Saline ersetzt. Oreganoöl und Carvacrol wurden jeweils mit Dimethylsulfoxid (DMSO) im Verhältnis 1:10 und β -Caryophyllen mit 100%igem Ethanol im Verhältnis 1:4 gelöst. Nach 48 Stunden wurde die Zellen-RNA mithilfe des NucleoSpin[®] RNA Plus KITs (Machery-Nagel, Düren, Deutschland) gepoolt aus je einer Spalte (Behandlungsgruppe) isoliert. Die Konzentration der isolierten Zellen-RNA wurde mit dem NanoDrop 8000 Sepktrophotometer (Thermo Fisher Scientific GmbH, Schwerte, Deutschland) ermittelt. Für die cDNA-Synthese wurde das First Strand cDNA Synthese Kit (Thermo Fisher Scientific GmbH, Schwerte, Deutschland) verwendet (je cDNA 70 ng Zellen-RNA). Die quantitative Real-Time PCR für *Interleukin 8* (*IL-8*), „*myeloid differentiation factor 2*“ (*MD-2*) und „*Zonula Occludens 1*“ (*ZO-1*), sowie den Housekeepern „*Hypoxanthin-Phosphoribosyl-Transferase 1*“ (*HPRT1*) und β -*Actin* erfolgte mit den entsprechenden Primer Paaren und dem SL-9912-CYBR-Green Mastermix (Steinbrenner Laborsysteme GmbH, Wiesenbach,

Deutschland) und 2 µl cDNA als Template. Die statistische Auswertung erfolgte auf Basis der Delta-Delta-Ct-Methode mittels eines generalisierten linearen Modells sowie einer ANOVA (Software R 4.0.2, Tukey post-hoc Test, $p < 0,05$).

Ergebnisse und Diskussion

Es konnte gezeigt werden, dass Oreganoöl die Expression von immunologisch bedeutenden Genen beeinflusst und die Wirkung in Abhängigkeit zur verwendeten Konzentration steht. So hemmte das Oreganoöl die Expression *IL-8* und *MD-2* ausschließlich bei der höchsten verwendeten Konzentration von 500 µM ($p < 0,001$). Bereits Wei et al. (2015) zeigten in ihrer Studie, dass Oreganoöl proinflammatorische Zytokine mit zunehmender Konzentration hemmen kann. Diese Studie ergänzt die Studie von Wei et al. (2015) um das Zytokine *IL-8* und unterstützt ebenfalls die Beobachtung von Han und Parker (2017), welche bei einer Konzentration von 241 µM Oreganoöl ebenfalls keine signifikante Hemmung von *IL-8* nachwies. *MD-2*, welches auch bekannt als „Lymphocyte antigen 96“ (*LY96*) ist, dient als Kofaktor für den proinflammatorischen *Toll-like Rezeptor 4 (TLR-4)*. Abreu et al. (2001) konnten in ihrer Studie beweisen, dass *MD-2* exprimiert werden muss, damit der *TLR-4* aktiviert werden kann. In dieser Studie konnte bei Carvacrol als Hauptinhaltsstoff von Oreganoöl (60-65%) die Hemmung von *IL-8* und *MD-2* lediglich als Trend eingestuft werden. Die größte hemmende Wirkung war bei einer Konzentration von 300 µM Carvacrol zu sehen. Einer Konzentration die simultan des Carvacrolanteils im verwendeten Oreganoöl (60%) ist. Die *in-vivo* Studie von Liu et al. (2019) gibt Grund zur Annahme, dass eine hemmende Wirkung von Carvacrol auf die *IL-8* und *MD-2* Expression erst dann signifikant ist, wenn die Epithelzellen künstlich gestresst werden. Außerdem werden in *in-vivo* Studien die Versuchstiere über längere Zeit mit den Ölen supplementiert als die in dieser Studie verwendeten 48 Stunden. Die Behandlung mit β -Caryophyllen zeigte alleine keine signifikanten Veränderungen der betrachteten Genexpressionen. Auch führte keine Behandlung zu einer Veränderung der *ZO-1* Expression. *ZO-1* ist eine Hauptkomponente der tight-junctions und somit Teil der epithelialen Barriere. Auch die *in-vivo* Studie von Zou et al. (2016) lässt vermuten, dass längere Supplementierung und gestresste Versuchstiere zu einer signifikanten Verbesserung der *ZO-1* Expression führen. Wir schließen daraus, dass Oreganoöl einen Effekt auf die Darmgesundheit vor allem bei längerer Applikation hat und erwarten synergistische Effekte zwischen den einzelnen Bestandteilen des Öls.

Literatur

- Abreu, M. T., Vora, P., Faure, E., Thomas, L. S., Arnold, E. T. & Arditi, M. (2001). Decreased expression of Toll-like receptor-4 and MD-2 correlates with intestinal epithelial cell protection against dysregulated proinflammatory gene expression in response to bacterial lipopolysaccharide. *The Journal of Immunology*, 167 (3), 1609–1616.
- Angioni, A., Barra, A., Coroneo, V., Dessi, S. & Cabras, P. (2006). Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* essential oils from stem/leaves and flowers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (12), 4364–4370.
- Han, X. & Parker, T. L. (2017). Anti-inflammatory, tissue remodeling, immunomodulatory, and anticancer activities of oregano (*Origanum vulgare*) essential oil in a human skin disease model. *Biochimie Open*, 4, 73–77.
- Liu, S. D., Song, M. H., Yun, W., Lee, J. H., Kim, H. B. & Cho, J. H. (2019). Effect of carvacrol essential oils on immune response and inflammation-related genes expression in broilers challenged by lipopolysaccharide. *Poultry science*, 98 (5), 2026–2033.
- van der Aar, P. J., Molist, F. & van der Klis, J. D. (2017). The central role of intestinal health on the effect of feed additives on feed intake in swine and poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 233, 64–75.
- Wald, C. (2003). Gewürze und Co-eine Übersicht. *Lohmann Information*, 3 (2003), 7–11.
- Wei, H., Chen, G., Wang, R.-J. & Peng, J. (2015). Oregano essential oil decreased susceptibility to oxidative stress-induced dysfunction of intestinal epithelial barrier in rats. *Journal of Functional Foods*, 18, 1191–1199.
- Zou, Y., Xiang, Q., Wang, J., Peng, J. & Wei, H. (2016). Oregano essential oil improves intestinal morphology and expression of tight junction proteins associated with modulation of selected intestinal bacteria and immune status in a pig model. *BioMed research international*, 2016.

Silomaisanbau und Unkrautregulierung - präventive, systemare Maßnahmen in der Fruchtfolge- und Anbaugestaltung (UNSIFRAN) – Ergebnisse des 1. Versuchsjahres

Fruzsina Schmidt¹, Sven-Iver Horn², Klaus Stribny², Florian Jobst³, Michael Mayr³, Herwart Böhm², Peer Urbatzka³, Rüdiger Graß¹ und Michael Wachendorf¹

¹FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel, Witzenhausen;

²Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst; ³Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.

E-Mail: fruzsina.schmidt@uni-kassel.de

Einleitung

Aufgrund einer geringen Konkurrenzkraft von Mais während der Jugendentwicklung und des Anbaus mit weiten Reihenabständen bis zu 75 cm ist die Unkrautregulierung (UR) im Maisanbau, besonders im ökologischen Anbau, eine große Herausforderung.

In einem präventiven Ansatz in der Fruchtfolge- und Anbaugestaltung soll der Aufwand für UR bei verbessertem Bodenschutz und stabilen Maiserträgen vermindert werden. Dazu erfolgt die systemare Untersuchung der Mais- und Unkrautentwicklung mit folgenden Varianten: a) Wintererbsen in Reinsaat oder im Gemenge mit Triticale bzw. Winterwicken in Reinsaat oder im Gemenge mit Roggen als Vorfrüchte bzw. Erstkulturen (EK) und anschließendem Maisanbau als Zweitkultur [1] mit b) reduzierter Bodenbearbeitung (RT) bzw. Direktsaat (NT) sowie c) mit üblichem (75 cm) und verringertem Reihenabstand (50 cm). Dabei werden in einem Verbundvorhaben an drei Standorten der beteiligten Einrichtungen in dreijährigen Feldversuchen unterschiedliche Behandlungsverfahren der EK untersucht:

a) Mechanische Zerstörung des Aufwuchses aller EK mit Messerwalze und anschließender Maisdirektsaat ohne weitere mechanische UR. b) Beerntung der Aufwüchse zur Blüte (ca. Ende Mai) der Gemengevarianten mit anschließender Maissaat (spät) in NT und RT mit UR sowie einer Düngung (ca. 80 kg N ha⁻¹ mit Gülle) im Mais. Zur Kontrolle erfolgte die Maisaussaat Anfang Mai (früh) nach Herbstfurche ohne EK mit 75 cm und 50 cm Reihenabstand, mechanischer UR und Düngung.

Material und Methoden

Die Varianten wurden in einem lateinischen Rechteck in 2019/20 an drei Standorten (Trenthorst, Schleswig-Holstein; Neu-Eichenberg, Hessen; Puch, Bayern) etabliert.

Die Untersuchungen schließen den Maisertrag sowie den Gesamtertrag (EK+Mais), den AUROC-Wert (Area Under the Regression Curve) des Unkrautdeckungsgrades mit zweiwöchentlichen Messintervallen bis einschließlich Reihenschluss ein.

Alle statistischen Auswertungen wurden mit dem Statistikprogramm R durchgeführt. Standortsspezifische Ertragsmodelle wurden mit (G)LM erzeugt und mit Kontrasten ausgewertet [2]. Die Korrelationen zwischen Erträgen und Deckungsgraden wurden visuell untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

2019/20 war besonders in der frühen Entwicklungs- und Wachstumsphase des Mais durch ausgeprägte Trockenheitsphasen gekennzeichnet. Trotz der unterschiedlichen

Mais- und Gesamterträge an den geprüften Standorten, wurden ein paar allgemeine Entwicklungen sichtbar:

a) Das Walzen und somit die Zerstörung der EK-Bestände mit Messerwalze war z.T. ungenügend – Wiederaustrieb v.a. von Wicke und Triticale, die somit eine Konkurrenz für den Mais darstellten. b) Nach EK-Ernte führte eine reduzierte Bodenbearbeitung zu höheren Maiserträgen als die Direktsaat. c) Keine einheitliche Auswirkung des reduzierten Reihenabstandes im Mais auf Maiserträge feststellbar. d) Die Jahres-Gesamterträge von EK und Mais lagen entweder im Bereich der Kontrollvarianten oder standortspezifisch auch darüber (Abb. 1). e) Negativer Trend zwischen Gesamtertrag und AUROC-Wert des Unkrauts bei einigen Faktoren (Reihenabstand, Erstkulturgruppe) an zwei Standorten (Neu-Eichenberg, Trenthorst), aber kein einheitliches Bild über alle Standorte.

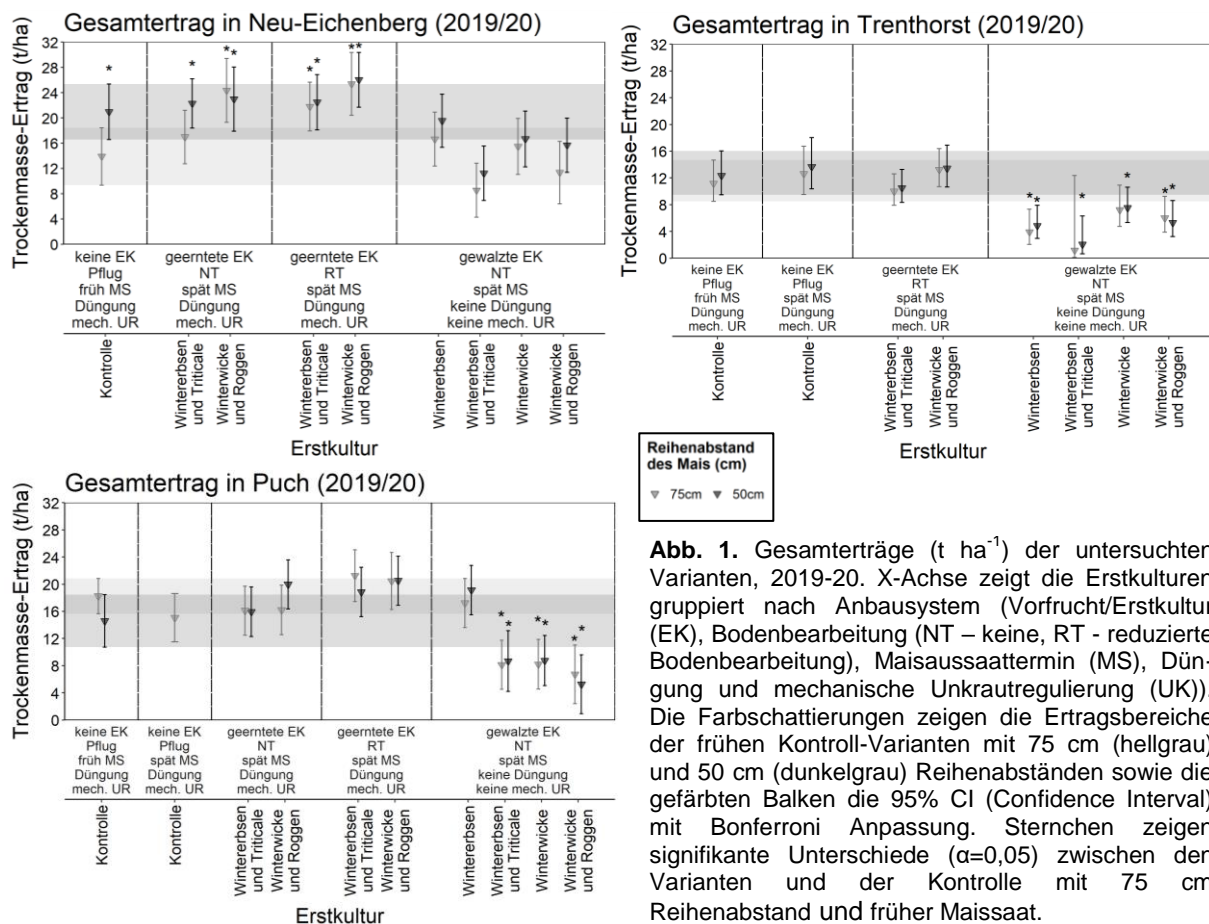


Abb. 1. Gesamterträge ($t\ ha^{-1}$) der untersuchten Varianten, 2019-20. X-Achse zeigt die Erstkulturen gruppiert nach Anbausystem (Vorfrucht/Erstkultur (EK), Bodenbearbeitung (NT – keine, RT - reduzierte Bodenbearbeitung), Maisaussaattermin (MS), Düngung und mechanische Unkrautregulierung (UK)). Die Farbschattierungen zeigen die Ertragsbereiche der frühen Kontroll-Varianten mit 75 cm (hellgrau) und 50 cm (dunkelgrau) Reihenabständen sowie die gefärbten Balken die 95% CI (Confidence Interval) mit Bonferroni Anpassung. Sternchen zeigen signifikante Unterschiede ($\alpha=0,05$) zwischen den Varianten und der Kontrolle mit 75 cm Reihenabstand und früher Maissaat.

Literatur

- [1] Graß, R., Heuser, F., Stülpnagel, R., Piepho, H.P. and Wachendorf, M. 2013. Energy crop production in double-cropping systems: Results from an experiment at seven sites. *Eur. J. Agron.*, 51: 120–129. Elsevier B.V.
- [2] Schaarschmidt, F., Vaas, L. 2009. Analysis of trials with complex treatment structure using multiple contrast tests. *HortScience*, 44: 188-195.

Auswirkungen alternativer Unkrautbekämpfungsmethoden auf epigäische Raubarthropoden und Schadinsekten in der Zuckerrübe

Jessica Weller und Jörn Lehmus

Julius-Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz im Ackerbau und Grünland, Abteilung Entomologie, Braunschweig. E-Mail: jessica.weller@julius-kuehn.de

Einleitung

In der konventionellen Landwirtschaft ist der Einsatz von Herbiziden zur Unkrautregulierung heute übliche Praxis. Aber der chemische Pflanzenschutz, und dabei auch die Herbizidanwendung wird derzeit in Hinblick auf den Insektenschwund kontrovers diskutiert und in eine mögliche Beziehung zu Insektenrückgangen in der Agrarlandschaft gestellt. Eine Alternative im Zuckerrübenanbau ist der Einsatz von Geräten und Verfahren zur mechanischen Unkrautkontrolle. Durch das mechanische Hacken wird die Bodenoberfläche verändert. Dies könnte eine Auswirkung auf bodenlebende Raubarthropoden sowie direkt oder indirekt auch auf die Schädlinge haben. Ziel dieser Untersuchung ist die Evaluation der chemischen und mechanischen Unkrautbekämpfungsmethoden in Hinblick auf die Insektenpopulation und Artenvielfalt. Bereits bekannt ist, dass Laufkäfer und Spinnen bei starker Bodenbearbeitung sowohl Abnahmen in der Diversität als auch der Abundanz zeigen können (Kromp, 1989; Cole et al., 2005; Prieto-Benitez & Mendez, 2011). Andere Studien deuteten darauf hin, dass die Abundanz und Diversität der Insekten eher von der Kulturart abhängig ist als von der Bodenbearbeitung oder das Abundanz bestimmter Arten wie *Pterostichus melanarius* durch Bodenbearbeitung begünstigt werden (Booji & Noorlander, 1992; Baguette & Hance, 1997).

Material und Methoden

In den drei Versuchsvarianten wurden die Unkräuter flächendeckend chemisch, mittels Hacke zwischen den Reihen und Bandspritzung in der Reihe, sowie rein mechanisch in und zwischen den Reihen kontrolliert. In dieser vollständig gehackten Variante wurde die Unkräuter in der Reihe mittels Handhacken entfernt. Im Lauf der Versuchssaison wurde vor dem Reihenschluss dreimal eine mechanische Unkrautbekämpfung mittels Scharhacke durchgeführt, die ersten beiden Male mit Trennscheiben. Die Erfassung der epigäischen Raubarthropoden und der Schadinsekten erfolgte über verschiedene Methoden. Hier werden die Ergebnisse der Photoektoren mit Kopfdose und integrierter Bodenfalle dargestellt. Wöchentlich wurden die Proben zur Saison entnommen und im Labor bestimmt. Die Photoektoren wurden genutzt, um den Schlupf von Insekten aus dem Boden und die Anzahl Arthropoden auf einer definierten Fläche zu erfassen. Die Kopfdose des Photoektors fängt die positiv phototaktischen (zum Licht wandernden) Arthropoden ab, während die Bodenfalle innerhalb des Photoektors die nicht phototaktischen und die negativ phototaktischen Arthropoden erfasst. Weitere eingesetzte Methoden waren die visuelle Bonitur und der Insektensauger (DVAC), sowie Raupenattrappen und Blattlauskarten zur Ermittlung der Prädationsleistung.

Ergebnisse und Diskussion

An einzelnen Terminen gab es in den in den Versuchsvarianten in den Jahren 2019 und 2020 signifikante Unterschiede in den Abundanzen der Raubarthropoden und der Schadinsekten hinsichtlich der verschiedenen Unkraut-Bekämpfungsmethoden. Die Unterschiede waren außerdem nicht immer gleichgerichtet. An den meisten Terminen traten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten auf. Die 3-malige Bodenbearbeitung in der Zuckerrübe scheint demnach einen untergeordneten Effekt auf die verschiedenen Insektengruppen zu haben wie auch schon von Booji & Noorlander, 1992 nachgewiesen wurde, ist die Abundanz und Diversität eher von der Kulturart als von der Bodenbearbeitung abhängig. Die Untersuchungen von Kromp, 1989 und Cole et al., 2005 konnten nicht bestätigt werden.

Literatur

- Baguette, M. & Hance, T. (1997): Carabid Beetles and Agricultural Practices: Influence of Soil Ploughing. *Biological Agriculture & Horticulture*, 15:1-4, 185-190.
- Cole, L.J., McCracken, D.I., Downie, I.S., Dennis, P., Forster, G.N., Waterhouse, T., Murphy, K.J., Griffin, A.L., Kennedy, M.P. (2005): Comparing the effects of farming practices on ground beetle (Coleoptera:Carabidae) and spider (Araneae) assemblages of Scottish farmland. *Biodiversity and Conservation*, 14, 441-460.
- Prieto-Benitez, S. & Mendez, M. (2011): Effects of land management on the abundance and richness of spiders (Araneae): A meta analysis. *Biological Conservation*, 144, 683-691.
- Kromp, B. (1989): Carabid Beetle Communities (Carabidae, Coleoptera) in Biologically and Conventionally Farmed Agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 27, 241-251.
- Booji, C.J.H & Noorlander J. (1992): Farming systems and insect predators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 40, 125-135.

Schädlingsmonitoring im Raps (*Brassica napus*) durch künstliche Intelligenz (KI) gestützte, digitale Gelbschalen

Alexander Max Rettig¹, Stefan Kühne² und Kathrin Grahmann³

¹Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE), FB2 Landschaftsnutzung und Naturschutz, Schicklerstraße 5, 16225 Eberswalde, E-Mail: Alexander.Rettig@hnee.de

²Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

³Leibniz-Zentrum für Agrarlandforschung (ZALF), AG Ressourceneffiziente Anbausysteme, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, E-Mail: Kathrin.Grahmann@zalf.de

Einleitung

Durch die Anwendungsbeschränkungen neonicotinoidbasierter Pflanzenschutzmittel (PSM) im Raps ist die Schädlingsregulierung von Rapserrfloh, Kohlflye, Stängelrüssler, Rapsglanzkäfer, Kohlschotenrüssler und Kohlschotenmücke zunehmend erschwert. Resistenzen der Schädlinge gegen zugelassene PSM und ein zunehmender Schädlingsdruck in Folge des Klimawandels, sind zusätzliche Herausforderungen für die Landwirte. Eine termingerechte Anwendung von PSM ist von großer Bedeutung für den Behandlungserfolg und kann durch ein Monitoring mit Gelbschalen als Frühwarnsystem erzielt werden. Das manuelle Auszählen der Schädlinge in den Gelbschalen ist für die Landwirte sehr zeitintensiv. Neue digitale Technologien bieten hier Alternativen, um die Schädlingsüberwachung zu vereinfachen. Es befinden sich zurzeit verschiedene digitale Überwachungssysteme wie die digitale Gelbschale (DGS) in der Entwicklung, um die relevanten Schädlinge und Nützlinge im Raps zu bestimmen und auszuzählen. Die in dieser Studie genutzten Prototypen der DGS sind mit einem Kameramodul versehen, welches in regelmäßigen Abständen Fotos der Gelbschaleninhalte erstellt und durch KI-gestützte Algorithmen auswertet. Diese Daten können in Zukunft dem Landwirt in Echtzeit zur Verfügung stehen und erübrigen die manuelle Auszählung auf dem Feld. In Zukunft wird es die Möglichkeit geben, die regionalen digitalen Auszählergebnisse verschiedener Betriebe in einer Anwendung zusammenzuführen und so einen Echtzeit-Radar für Schädlingswanderung im Raps zu nutzen um einen bevorstehenden Schädlingsbefall genau zu prognostizieren. In dem im März 2020 implementierten Landschaftslabores patchCROP des Leibniz Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) in Ostbrandenburg wurden vor und während der Rapsblüte im Anbaujahr 2021 fünf DGS hinsichtlich ihrer Funktionalität und Genauigkeit untersucht. Ziel war es, zum einen die Insektenfänge der DGS mit manuell ausgewerteten Gelbschalen zu vergleichen, um Unterschiede in der Fängigkeit festzustellen (Conrad et al., 2016). Darüber hinaus wurden die manuell ausgezählten und klassifizierten Insektenfänge aus der DGS mit den Ergebnissen der KI basierten Bildauswertung verglichen, um Rückschlüsse der artspezifischen Fehlergröße der Bilderkennung zu erhalten.

Material und Methoden

Das Projekt patchCROP ist ein Landschaftsexperiment, welches die biotischen und abiotischen Effekte durch neu angelegte, kleinstrukturierte Feldeinheiten und insbesondere auf die Flächenheterogenität abgestimmter Fruchtfolgen und Bewirtschaftung untersucht (Grahmann et al., 2021). Diese Effekte werden in patchCROP mithilfe innovativer, digitaler Technologien und Methoden zur Datenverarbeitung sowie im engen Verbund mit der landwirtschaftlichen Praxis

erforscht. Diversifizierte, standortangepasste fünfjährige Fruchtfolgen für Teilflächen mit niedrigem (Sonnenblume, Hafer, Mais, Lupine, Roggen) und hohem Ertragspotential (Raps, Gerste, Soja, Mais, Weizen) werden in unterschiedlichen Landnutzungsintensitäten bezüglich des Einsatzes von chemisch-synthetischen PSM auf 0.5 ha kleinen, bodenhomogenen Feldeinheiten gleichzeitig bewirtschaftet. Die Referenzflächen werden zum Vergleich des Effektes der Kleinteiligkeit und zur Hochskalierung in die Landschaft hinzugezogen und befinden sich auf Nachbarschlägen mit kommerzieller, betriebsüblicher Fruchtfolge. Die manuellen und digitalen Gelbschalen wurden jeweils in einem Abstand von 20 m in allen mit Raps bestellten Patches und zwei benachbarten Referenzflächen installiert. Die Fallen wurden jeweils dienstags und donnerstags zwischen dem 19.4.2021 und 3.6.2021 entleert und die Zielorganismen sowie Beifang im Labor bestimmt. Als Zielorganismen galten Rapsglanzkäfer, gefleckter Kohltriebrüssler und Kohlschotenrüssler. Beifang wurde nur auf Ordnungsniveau bestimmt. Der Bilderkennungsalgorithmus der DGS prüft die Schädlingszahlen von Rapserrdfloh, Rapsglanzkäfer, Rapsstängelrüssler und die Nützlingszahlen von Wild- und Honigbienen. Die Software zur Bildanalyse ist als Mustererkennung verschiedener Rapschädlinge als Teil des VirtualTrapMonitor von der Firma Bayer verfügbar. Zusätzlich wurde im gleichen Rhythmus auf den Flächen an jeweils 25 Pflanzen eine manuelle Bonitur der Rapsglanzkäfer durchgeführt sowie eine Messung des Wachstumsstadiums (BBCH) der Rapspflanzen vorgenommen.

Ergebnisse und Diskussion



Fig. 1: Digitale Gelbschalen im Raps (BBCH 50) **Fig. 2:** Bilderkennungsalgorithmus

Das enge Zeitfenster der Messungen und der Überwachung durch DGS erhöhen die Planbarkeit einer Pflanzenschutzmaßnahme. Der Nutzen der DGS beruht auf dem Vermeiden unnötiger Insektizidanwendungen, was zu ökonomisch fundierten Pflanzenschutzmaßnahmen, dem Schonen von Nützlingen und Umwelt allgemein und der Entschärfung des Resistenzproblems führt. Die Bilderkennungstechnologie könnte so weiterentwickelt werden, dass auch andere Insektenarten in anderen Kulturen überwacht und gezählt werden können.

Literatur

- Conrad, N., Brandes, M., Gabriel, D., Heimbach, U.: Einfluss des Gelbschalentyps auf die Fangzahlen von Rapserrdfloh (*Psylliodes chrysocephala* L.) in Winterraps (*Brassica napus* L.), *Journal für Kulturpflanzen*, 68 (8). S. 217–222, 2016,
- Grahmann, K., Reckling, M., Hernandez-Ochoa, I., Ewert, F.: An agricultural diversification trial by patchy field arrangements at the landscape level: The landscape living lab “patchCROP”. *Aspects of Applied Biology* 146, 2021

Zwischenfruchtanbau vor Zuckerrüben – eine Maßnahme im Wandel von Nematodenkontrolle zu Umweltschutz

Christel Roß und Nicol Stockfisch

IFZ – Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-Mail: ross@ifz-goettingen.de

Einleitung

Die Strategie zur zukünftigen Ausrichtung der Landwirtschaft nimmt zunehmend auch Klima- und Umweltschutzziele in den Blick (Ackerbaustrategie, Green Deal, GAP-Reform). Eine in diesem Zusammenhang genannte Maßnahme zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele im Ackerbau ist der Anbau von Zwischenfrüchten zum Erosionsschutz, um Stickstoffauswaschung über Winter zu verhindern, um Schadorganismen zu unterdrücken und so Pflanzenschutzmittel einzusparen, um die Artenvielfalt in der Agrarlandschaft zu erhöhen und um Humus zu akkumulieren (BMEL 2019, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen). Manche sehen die Förderung des Zwischenfruchtanbaus als ökologische Maßnahme kritisch, weil die ökologischen Vorteile nicht eindeutig belegt sind (Pe'ers et al. 2016). Im Zuckerrübenanbau ist der Anbau Nematoden-resistenter Zwischenfrüchte als Maßnahme gegen Rübenzystemnematoden (*Heterodera schachtii*) etabliert (Heinrichs, 2011). Seit 2016 ist der Anbau von Zwischenfruchtmischungen bedeutend angestiegen (IFZ 2020). In dieser Studie betrachten wir die Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus vor Zuckerrüben in der Praxis auf andere Anbaumaßnahmen. Wurden durch den Zwischenfruchtanbau die erhofften, damit einhergehenden Umweltziele unterstützt? Die Frage war, ob in Betrieben mit Zwischenfruchtanbau 1) weniger Herbizide eingesetzt wurden und 2) weniger Stickstoff gedüngt wurde.

Material und Methoden

Die Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau liefert seit 2010 Daten zur Produktionstechnik von jährlich über 300 Zuckerrüben anbauenden Betrieben in Deutschland (Stockfisch et al. 2013). Die Betriebe machen Angaben zu Maßnahmen des Zuckerrübenanbaus auf den größten Zuckerrübensschlag des Betriebs im Befragungsjahr. Am Institut für Zuckerrübenforschung wird die jährliche Befragung koordiniert, die Daten zusammengestellt und unter verschiedenen Aspekten ausgewertet. Für die vorliegende Untersuchung wurden Daten von 3610 Betrieben zwischen 2010 und 2019 in zwei Gruppen eingeteilt: a) Betriebe mit Zwischenfruchtanbau vor Zuckerrübe und b) Betriebe ohne Zwischenfruchtanbau vor Zuckerrübe. Die beiden Gruppen wurden mittels linearer Regression (Proc glm, SAS 9.4) für die Merkmale Herbizideinsatz und Stickstoffdüngung verglichen. Als Maß für die Intensität des Herbizideinsatzes wurde der Behandlungsindex (BI)-Herbizide herangezogen (Roßberg 2013; <https://papa.julius-kuehn.de/>)

Ergebnisse und Diskussion

Der mittlere BI Herbizide liegt bei 2,66. Auf Feldern mit Zwischenfruchtanbau war der Herbizideinsatz um 0,2 signifikant höher als auf Feldern ohne Zwischenfrucht (Abbildung 1). Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich bei der Stickstoffdüngung, die um 17 kg/ha höher ist auf Feldern mit Zwischenfruchtanbau. Da es sich um Befragungsdaten handelt und die Daten nicht aus Versuchen stammen, bleibt unklar, ob der Herbizideinsatz durch ein erhöhtes Unkrautvorkommen verursacht wird oder

ob vermehrt Glyphosat gegen nicht abgefrorene Zwischenfrüchte zum Einsatz kommt. Genauso ist nicht zu klären, ob die Erhöhung der N-Düngung zu N-Verlusten über Winter führt oder ob diese durch den Anbau der Zwischenfrüchte verhindert werden. Die Höhe der Düngung in Betrieben mit Zwischenfruchtanbau könnte in den kommenden Jahren sinken, da die Düngeverordnung in den Jahren seit Mitte 2017 die Düngung zu Zwischenfrüchten stark einschränkt (§ 6 Absatz 8 und 9 DüV). Fest steht aber, dass aus einer Steigerung des Zwischenfruchtanbaus nicht automatisch positive Effekte für Umwelt und Klima resultieren. Die Anbaugestaltung in der Praxis ist divers und sollte zielgerichtet weiter optimiert werden.

Literatur

BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2019) Ackerbaustrategie 2035

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2021) <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/naturschutz/biodiversitaet/zwischenfruchtanbau/index.htm>

Pe'er, G.; Zinngrebe, Y.; Hauck, J.; Schindler, S.; Dittrich, A.; Zingg, S.; Tschardtke, T.; Oppermann, R.; Sutcliffe, L.M.E.; Sirami, C.; et al. (2017) Adding Some Green to the Greening: Improving the EU's Ecological Focus Areas for Biodiversity and Farmers. *Conservation Letters*, 10, 517–530

Heinrichs, C. Biologische Bekämpfung des Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii* (2011) *Gesunde Pflanzen*, 2011, 101–106

IFZ – Institut für Zuckerrübenforschung (2020) Jahresbericht 2018/2019

Roßberg, D. (2013) Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis im Jahr 2011. 141-151 Seiten / *Journal für Kulturpflanzen*, Bd. 65 Nr. 4

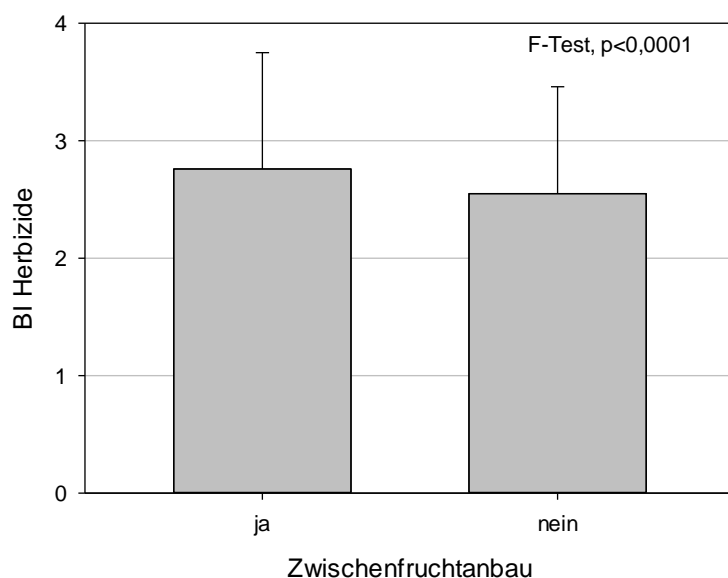


Abb. 1: BI-Herbizide in Betrieben mit Zwischenfruchtanbau und in Betrieben ohne Zwischenfruchtanbau. Der BI-Herbizide ist in Betrieben mit Zwischenfruchtanbau signifikant höher (2,76) als in Betrieben ohne Zwischenfruchtanbau (2,55) vor Zuckerrübe (F-Test; $p < 0,0001$).

RhizoWheat - Rhizosphere processes and yield decline in wheat crop rotations

Nora Honsdorf¹, Jessica Arnhold², Andrea Braun-Kiewnick³, Adriana Giongo³, Dennis Grunwald², Nikolaos Kaloterakis⁴, Katharina Pronkow¹, Mehdi Rashtbari⁵, Markus Schemmel⁵, Sibghat Ullah⁴, Zheng Zhou⁵, Nicolas Brüggemann⁴, Daguang Cai⁵, Heinz-Josef Koch², Andreas Pohlmeier⁴, Bahar S. Razavi⁵, Andrea Schnepf⁴, Kornelia Smalla³ und Henning Kage¹

¹Institute of Crop Science and Plant Breeding, Kiel University, Kiel; ²Institute of Sugar Beet Research, Göttingen, ³Institute for Epidemiology and Pathogen Diagnostics, Julius Kühn-Institut, Braunschweig; ⁴Institute of Bio- and Geosciences Agrosphere (IBG-3), Forschungszentrum Jülich, Jülich, ⁵Institute of Phytopathology, 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. 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. The yield decline of second wheat is often attributed to the detrimental effect of soil borne pathogens and in particular to effects of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (take all). This pathogen leads to senescence of the root system. This goes in line with the finding that the yield decline of second wheat is higher under drought stress conditions. Nitrogen use efficiency of second wheat is also remarkably lower than for first wheat. Whether this is an effect of increased root senescence or microbial N immobilization within or outside the rhizosphere remains yet unclear. Recent findings indicate that a broader shift of the rhizosphere microbiome occurs as a consequence of multiple cropped wheat and that this shift may be involved in the increased senescence of roots and the accompanied yield decline. This hypothesis is further supported by older observations that yield decline happens in some years without the typical visible symptoms of take all.

The objectives of this project are to (a) elucidate and quantify the key processes governing the yield decline of wheat as a second or third wheat in a crop rotation with the main emphasis on rhizosphere processes and (b) to establish a model framework enabling the prediction of yield decline as a function of initial soil inoculum and environmental factors.

Material and Methods

The project strives to reach its objectives using a combined approach of long-term field experiments and experiments in specially designed rhizoboxes. A complementary set of methods at different scales – from DNA/RNA profiling to remote sensing – is used to gain insights into the complex interactions of the biological, biogeochemical and physical rhizosphere processes involved in the yield decline syndrome. Simulation models on different scales will be used to combine experimental results in a quantitative way and to predict the effect yield decline of wheat in self rotation for different environmental conditions.

Three long term field experiments form part of the project. The experiments are located at Kiel University's experiment station 'Hohenschulen' in Achterwehr, Schleswig-Holstein and at the Institute of Sugar Beet Research in Harste, Lower

Saxony. All experiments comprise diverse crop rotations and different levels of nitrogen fertilization. Throughout the project a wide range of data are collected, including spectral image data, biomass samples and C/N concentrations, soil water content, yield and yield components. The minirhizotron technique is employed to observe root growth and senescence in field experiments using high resolution imaging. Additionally, destructive soil coring is used to sample roots.

Soil from both locations and with different pre-crops is used as substrate in rhizobox experiments. Their design allows observation and digital representation of the root system, small scale root, rhizosphere and soil solution sampling as well as stable isotope probing and the analysis of enzyme activity with zymography. In addition, wheat plants are grown in acrylic glass tubes and root development is monitored regularly using magnetic resonance imaging.

In order to elucidate the structural diversity of the wheat rhizosphere's microbiome and its relation to yield decline in multiple cropped wheat, composite rhizoplane, rhizosphere and soil samples from field and rhizobox experiments are analyzed by cultivation-dependent and independent methods. The composition and diversity of bacteria, fungi and oomycete is analyzed via sequencing of 16S rRNA gene, ITS and cox1 regions. Gene expression in root and leaf samples is tested with RNA-Seq and ChIP-Seq analyses. Isolates will be screened for the presence of genes potentially involved in plant-microbe interactions. Beneficial/detrimental effects of synthetic sets of microorganisms will be analyzed in rhizobox experiments.

Activity and kinetics of enzymes responsible for C and N cycling are analyzed as well as the effect of microbiome-induced senescence patterns on nutrient acquisition. Using ^{13}C pulse labeling, C is analyzed in various soil compartments including microbial biomass, dissolved organic C, rhizosphere and non-rhizosphere soil. Spatio-temporal patterns of root exudates and associated microbial activity will be investigated with imaging methods; ^{14}C imaging of root exudates and zymography for enzyme activity. The contribution of roots and microorganisms to the enzyme activities will be separated and thus the complementarity of plant and microbial nutrient mobilization in the rhizosphere illustrated. Root exudation will be monitored in the rhizoboxes.

Data from above described experimentation will be used to parameterize and evaluate simplified 1D and detailed 3D root growth models. An existing wheat crop growth model (Ratjen and Kage, 2015) will be coupled with the root growth models and data from ongoing field experiments will be used to evaluate model predictions. Scenario calculation will be performed for different soil and climatic conditions in order to quantify regional pre-crop effects.

Results and Discussion

The project is currently in the second year and results are still preliminary and not yet presented.

The goal of the project in a longer-term perspective is the development of management options that enable breeders or farmers to overcome pre-crop induced yield decline in wheat production at least partially. This may include the identification of tolerant wheat germplasm and the manipulation of the wheat rhizosphere microbiome.

Literatur

Ratjen, A.M., Kage, H., 2015. Forecasting yield via reference- and scenario calculations. *Comput. Electron. Agric.* 114, 212-220.

Einfluss des Kurzstrohgens *Ddw1* auf das Wurzelsystem von Winterroggen

Lorenz Kottmann¹, Til Feike², Joachim Fromme³, Veronika Kucherova⁴,
Doreen Gabriel¹ und Bernd Hackauf⁴

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: lorenz.kottmann@julius-kuehn.de

Einleitung

Winterroggen besitzt ein hoch entwickeltes Wurzelsystem, welches eine effiziente Aufnahme von Wasser und Nährstoffen ermöglicht (Starzycki 1976). Daher gilt Roggen als eine der trockenolerantesten Getreidearten (Schittenhelm et al. 2013) und wird insbesondere auf marginalen Standorten mit geringen Wasserhaltekapazitäten, die für den Anbau von Weizen nicht geeignet sind, kultiviert. Ein Nachteil aktueller Roggensorten ist die hohe Wuchshöhe mit einem ungünstigen Korn-Stroh-Verhältnis und einer hohen Lagerneigung.

Um die Standfestigkeit des Roggens zu erhöhen und sein Ertragspotential durch ein optimiertes Korn/Stroh-Verhältnis zu verbessern, wurden im Rahmen des EU-Projektes RYE-SUS³ auf Basis des Gibberellin-sensitiven Kurzstrohgens *Ddw1* (Braun et al. 2019) sogenannte Roggenhalbzwerge entwickelt.

Bei Weizen hat die Einführung von Gibberellin-sensitiven Kurzstrohgens zu einer geringeren Wurzellänge und -biomasse geführt (Subira et al. 2016). Es wird jedoch noch diskutiert, wie sich eine geringere Pflanzenhöhe generell auf das Wurzelsystem und die Wasseraufnahmefähigkeit auswirkt: Zhang et al. (2009) gehen davon aus, dass neuere Halbzwergearten noch wassernutzungseffizienter sind, da insbesondere die Wurzellänge im Oberboden abgenommen hat, während der Anteil von Wurzeln in tieferen Bodenschichten zugenommen hat. Waines und Ehdaie (2007) vermuten hingegen, dass die Wurzelsysteme moderner, kurzstrohiger Sorten unter optimalen Wachstumsbedingungen ausreichend sind; bei ungünstigen Wachstumsbedingungen – wie beispielsweise Trockenheit – jedoch nicht. Für Roggen liegen hierzu aktuell noch keine Informationen vor. Diese Wissenslücke soll im Projekt RYE-SUS geschlossen werden.

Material und Methoden

In der Saison 2020/2021 wurden Feldversuche für die Wurzelphänotypisierung mit drei Halbzwergearten, drei nahisogenen langstrohigen Genotypen sowie drei Vergleichssorten an den Standorten Braunschweig (Niedersachsen) und Groß Lüsewitz (Mecklenburg-Vorpommern) angelegt. Zum Zeitpunkt der Blüte werden Bohrkerne mittels Rammkernsondierung entnommen. Wurzelanzahl und Wurzeltiefe werden mithilfe der Bruchkernmethode (Smit et al. 2000) ermittelt. Durch eine detailliertere Analyse ausgewählter Bohrkerne mittels Wurzelwaschanlage und Wurzelscans werden die Ergebnisse der Bruchkernmethode für jeden Standort kalibriert. Darüber hinaus werden oberirdische Pflanzenparameter (Ertrag und Ertragskomponenten, Bonituren, Blattflächenindex) aufgenommen. Ergänzend werden Gewächshausversuche mit Rhizoboxen durchgeführt, um die

³Development of lodging-resistant and climate-smart rye – a contribution to a sustainable cereal production in marginal environments

Wurzelentwicklung von Halbzwerge, nahisogenen langstrohigen Genotypen sowie Vergleichssorten in einem frühen Stadium zu untersuchen.

Projektziele

Die Ergebnisse dieses Versuches werden erste Hinweise auf den Einfluss von *Ddw1* auf das Wurzelsystem von Roggenhalbzwerge unter Feldbedingungen – und ergänzend auch in einem frühen Stadium in Rhizoboxen - liefern. Durch die detaillierten Untersuchungen von Wurzeltiefe, Wurzellänge, Wurzellängendichte und Wurzelbiomasse in unterschiedlichen Tiefenschichten werden auch Aussagen über den möglichen Einfluss von *Ddw1* auf das Wasseraufnahmevermögen von Roggenhalbzwerge möglich.

Literatur

- Braun EM, Tsvetkova N, Rotter B, Siekmann D, Schwefel K, Krezdorn N, Plieske J, Winter P, Melz G, Voylokov AV, Hackauf B (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.). *Front Plant Sci.* 10:857.
- Schittenhelm S, Kraft M, Wittich KP (2013): Performance of winter cereals grown on field-stored soil moisture only. *Eur. J. Agron.* 52, 247-258.
- Smit AL, Bengough AG, Engels C, Noordwijk M van, Pellerin S, Geijn SC van de (2000): *Root Methods: A Handbook*. Springer, New York, NY.
- Starzycki S (1976): Diseases, pests and physiology of rye. In: W. Bushuk (ed.) *Rye: Production, Chemistry and Technology*, pp. 27-61. Am. Assoc. Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, USA.
- Subira J, Ammar K, Alvaro F, Garcia del Moral LF, Dreisigacker S, Royo C (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. *Plant Soil* 403, 291-304.
- Waines JG, Ehdaie B (2007): Domestication and Crop Physiology: Roots of Green-Revolution Wheat. *Ann Bot.* 100, 991-998
- Zhang X, Chen S, Sun H, Wang Y, Shao L (2009): Root size, distribution and soil water depletion as affected by cultivars and environmental factors. *Field Crop Res.* 114, 75-83.

Die Förderung des Vorhabens erfolgt 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).

Genotype and P-dependent variability of root system architecture in potato (*Solanum tuberosum* L.)

Julian Kirchgesser¹, Mareike Kavka¹, Mousumi Hazarika², Silvia Bachmann-Pfabe², Klaus J. Dehmer² und 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. E-Mail: julian.kirchgesser@uni-rostock.de

Introduction

Phosphorus (P) is a component of many important biomolecules and therefore an essential macronutrient required for plant metabolism and growth. It is taken up from the soil as inorganic phosphate as favored form. P itself is usually not available for plants directly, since it is immobilized rapidly and forms stable complexes with other elements (Lynch, 2007). Phosphorus acquisition depends on the availability of dissolved P in the rhizosphere and the characteristics of P uptake mechanisms such as root-system architecture and phosphatase activity (Richardson et al., 2009; Lynch, 2011).

Compared to other crops, potato (*Solanum tuberosum*) has a relatively poor P acquisition efficiency. This is mainly due to its shallow and sparsely branched root system, resulting in a rather limited soil volume exploited by the plant (Dechassa et al., 2003). New cultivars with improved P efficiency may contribute to save limited mineral P resources and to reduce eutrophication of surface water bodies. We hypothesise that in potato a considerable genetic variation exists in both root architecture and adaptation of the root system to P deficiency.

Material and Methods

To characterise the phenotypic variation of root-system size and architecture, 200 different, *in vitro* pre-grown potato accessions, comprising clones from the Gross Luesewitz Potato Collections (IPK-GLKS) and modern cultivars, were cultivated in sand-filled mini-rhizotrons under greenhouse conditions. A 0.5 mM P (high phosphorus, HP) and 0.1 mM P (low phosphorus, LP) Hoagland solution was applied as fertilizer. 10 days after planting, the accessions were harvested, roots scanned and root dry weight determined. Root scans were evaluated using the root analysis software GiA Roots (Galkovskyi et al., 2012). In total, 20 traits including weight, size, extent and distribution parameters, were analysed. The experiment was repeated once.

Results and Discussion

Differences among accessions were statistically significant for 19 traits, thus revealing a high variability in potato root-system architecture. Using a principal component analysis (PCA) and cluster analysis, we were able to classify accessions into three groups (small, medium, large), which corresponded to their root-system size (Fig. 1). The majority of the accessions had an equivalently classified root system in both P treatments. However, overall the root systems were smaller under LP. Some, especially small and medium ones, reacted to P shortage by de- or increasing their root-system size disproportionately.

From our results, we were able to demonstrate the diversity of root systems developed by distinct potato accessions and their varying reactions to P scarcity. Genome-wide association mapping will be conducted to identify marker-trait associations for traits related to root-system architecture.

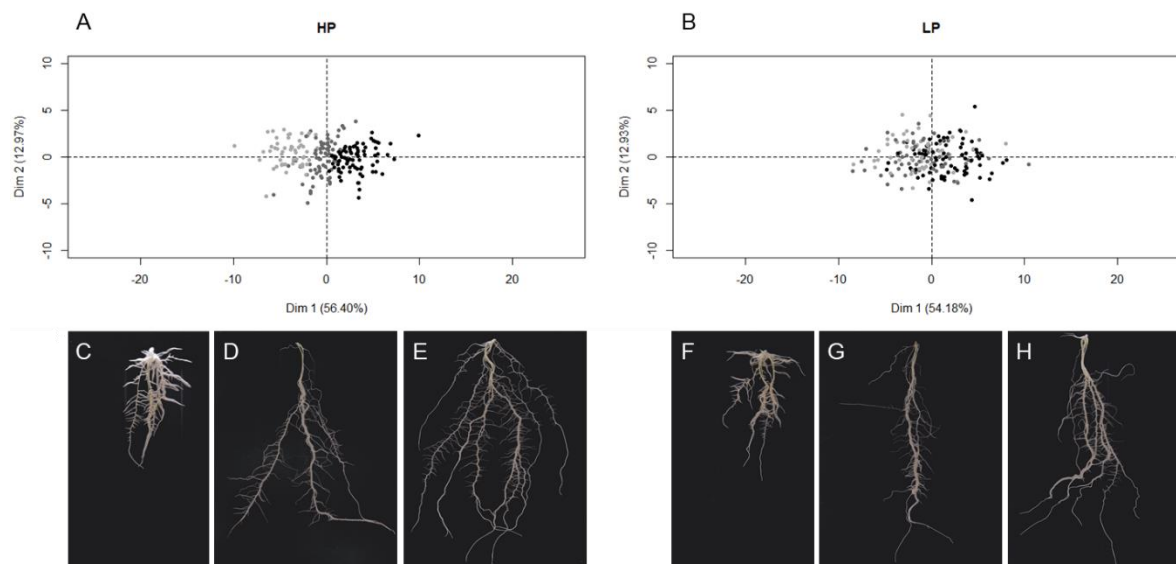


Fig. 1: Biplots generated from PCA with the percentage of variance in high P (HP) and in low P (LP). Colors of dots display the rooting types small (light grey), medium (dark grey) and large (black) as defined by cluster analysis at high P. Typical root systems in both HP and LP belonging to the clusters of small (accession “Kristall”; C, F), medium (accession “Caribe”; D, G) and large (accession “Brunella”, E,H) according to cluster analysis in high P conditions.

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.
- Lynch, J. (2007). Roots of the Second Green Revolution. *Australian Journal of Botany - AUST J BOT* 55.
- Lynch, J. P. (2011). Root Phenes 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.

Einfluss von Vorfrucht und N-Düngung auf das Wurzelwachstum von Winterweizen

Jessica Arnhold, Dennis Grunwald und Heinz-Josef Koch

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

Einleitung

Weizen ist eines der wichtigsten Grundnahrungsmittel weltweit und die Kulturart mit der größten Anbaufläche in Deutschland. Beim wiederholten Anbau von Weizen (Stoppelweizen, Daueranbau) kommt es häufig zu Ertragseinbußen und einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Trockenstress, einhergehend mit einem Befall des Pilzes *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (Ggt), dem Erreger der Schwarzbeinigkeit (Sieling *et al.*, 2005; 2007). Dieser unterbricht durch die Seneszenz der Pflanzenwurzeln unter anderem den Wasser- und Nährstofftransport der Wurzeln (Kirk & Deacon, 1986). Da Ertragseinbußen jedoch auch ohne eine Ggt-Infektion beobachtet werden, wird vermutet, dass u.a. bodenstrukturelle und mikrobielle Veränderungen in der Rhizosphäre für den Ertragsverlust mitverantwortlich sein könnten (Sieling *et al.*, 2007). Im vorgestellten Teilprojekt des Verbundprojektes *RhizoWheat* liegt der Fokus auf der räumlichen und zeitlichen Dynamik des Wurzelwachstums und der –seneszenz des Weizens nach verschiedenen Vorfrüchten.

Material und Methoden

Der Fruchtfolgeversuch wurde im Jahr 2006 auf einer Pseudogley-Parabraunerde bei Harste im Landkreis Göttingen etabliert. Untersucht wird Weizen der Sorte Nordkap im ersten (W1) und zweiten (W2) Anbaujahr nach Winterraps sowie in langjähriger Selbstfolge (WM), wobei W1 und W2 in einer sechsfeldrigen Fruchtfolge stehen: Winterraps – WW (Winterweizen, W1) – WW (W2) – Körnererbse – Zuckerrübe – WW. Alle Weizenparzellen wurden geteilt und die Stickstoffdüngung als zweiter Faktor variiert (N0 = ohne Stickstoffdüngung, Nopt = optimale Stickstoffdüngung, N-Sollwert: 265 kg N/ha). Wurzelproben wurden mittels destruktiver Schlauchkernmethode zum BBCH-Stadium 73 (23.06.2020) entnommen und in 4 Bodentiefen (15-30, 30-60, 60-90, 90-120 cm) unterteilt. Die Wurzeln wurden aus den Bohrkernen ausgewaschen, eingescannt und anschließend wurde die Wurzellängendichte (WLD) mit der Software WinRhizo (Regent Instruments, Kanada) errechnet. Ab Vegetationsbeginn erfolgte eine zweiwöchentliche Messung des gravimetrischen Bodenwassergehaltes mit FDR-Röhrensonden und der Sentek Diviner 2000-Sonde (Sentek Technologies, Australien) bis auf 1,5 m Bodentiefe. Der Kornertrag wurde in separaten Erntebereichen der Parzellen ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

In beiden N-Düngungsstufen war die Wurzellängendichte im Unterboden in W1 höher als in W2 und WM (Abb. 1). Dieser Unterschied war signifikant in 60-90 cm Bodentiefe. Damit einhergehend war auch zu diesem Zeitpunkt der Bodenwassergehalt in W1 in 30-90 cm Bodentiefe am geringsten (Nopt, Daten nicht gezeigt). In beiden Düngungsstufen war der Kornertrag in W2 und WM geringer als in W1 (Tab. 1). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die höhere Wurzellängendichte in W1 zu einer höheren Wasseraufnahme der Pflanzen und zu einem höheren Kornertrag führt. Des Weiteren war in 90-120 cm Bodentiefe die WLD

unter N0 im Vergleich zu Nopt signifikant erhöht. Auf Grund der N-Mangelsituation scheinen die Pflanzen mehr Wurzeln in tieferen Bodenschichten auszubilden.

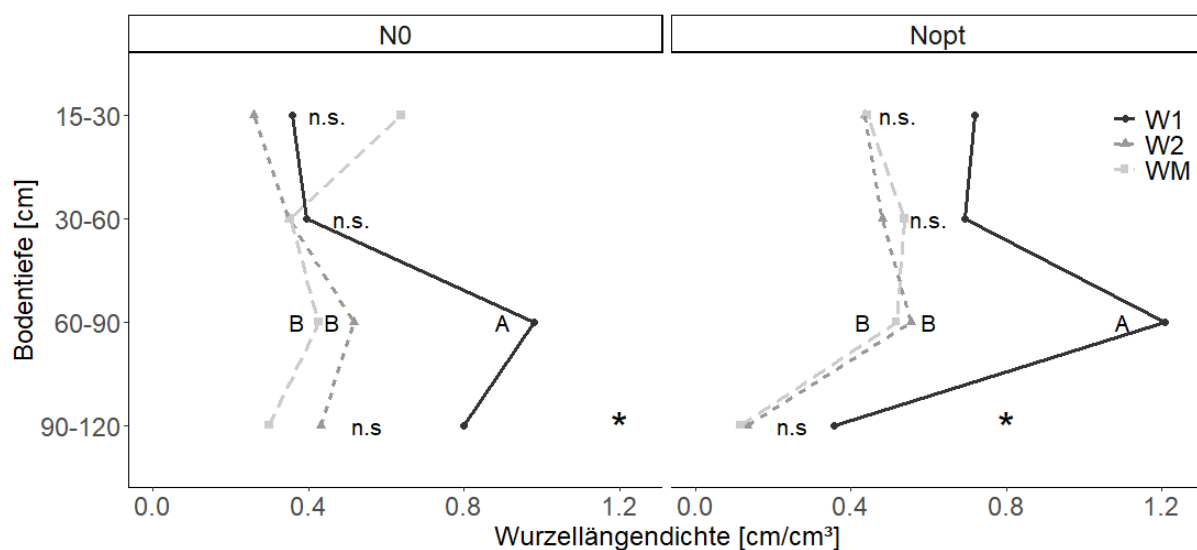


Abb. 1: Einfluss von Fruchtfolgestellung und Stickstoffdüngung von Winterweizen auf die Wurzellängendichte in drei Bodentiefen, Punkte = Mittelwert der drei Feldwiederholungen, W1 = 1. Weizen nach Winterrraps, W2 = 2. Weizen nach Winterrraps, WM = Weizenmonokultur, BBCH 73, 23.06.2020, Harste. Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Fruchtfolgepositionen und der Stern zwischen den Düngestufen innerhalb einer Tiefe.

Tab.1: Einfluss von Fruchtfolgestellung und Stickstoffdüngung auf den Kornertrag von Winterweizen. Mittelwert mit Standardabweichung in Klammern. W1 = 1. Weizen nach Winterrraps, W2 = 2. Weizen nach Winterrraps, WM = Weizenmonokultur, 05.08.2020, Harste, n = 3.

	N0			Nopt		
	W1	W2	WM	W1	W2	WM
Kornertrag	5,24	4,19	4,77	9,78	8,55	8,21
[t/ha]	(0,44)	(0,66)	(1,41)	(0,13)	(0,54)	(0,27)

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.

Bedeutung der Wurzellänge im Unterboden für den Sprossertrag von Futterpflanzen auf einem Sandstandort

Roman Kemper¹, Meike Oltmanns², Christopher Brock², Eusun Han³, Thomas F. Döring¹ und Miriam Athmann⁴

¹Fachgebiet Agrarökologie and Organischer Landbau, Universität Bonn;

²Forschungsring e.V., Darmstadt;

³Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen;

⁴Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Universität Kassel, Witzenhausen.

E-Mail: rkemper@uni-bonn.de

Einleitung

Futterpflanzen sind in ökologischen Fruchtfolgen von zentraler Bedeutung. Durch die längere Standzeit im Vergleich zu annuellen Kulturpflanzen können Futterpflanzen den Boden intensiv durchwurzeln. Wurzeln von Futterpflanzen sind entscheidend für Bodenstrukturverbesserungen, Kohlenstoffspeicherung, sowie die Ertragsbildung durch Wasser- und Nährstoffaufnahme. Mit zunehmender Frühjahrs- und Sommer-trockenheit wird die Sicherstellung der Futtererzeugung in ausreichender Menge und Qualität schwieriger. Je nach Standort ist die Nutzung tiefwurzelter Futterpflanzen als Alternative zum klassischen Kleegras eine mögliche Anpassungsstrategie. Im Zentrum der Untersuchungen stand die Frage, wie sich verschiedene Futterpflanzenarten im Wurzelwachstum unterscheiden.

Material und Methoden

In einem Feldversuch auf einem von Trockenheit geprägten Sandstandort auf dem Hofgut Oberfeld bei Darmstadt (Ansaat Frühjahr 2019) wurde das Spross- und Wurzelwachstum von sechs unterschiedlichen Futterpflanzen bzw. Futterpflanzenmischungen untersucht: Luzerne (Lu) (25 kg/ha), Wegwarte (Ww) (8 kg/ha), Rohrschwengel (Rs) (30 kg/ha), 12,5 kg/ha Lu + 15 kg/ha Rs, 4 kg/ha Ww + 15 kg/ha Rs, 35 kg/ha Rotklee (30% Deutsches Weidelgras, 30% Rotklee, 20% Welsches Weidelgras, 20% Bastard-Weidelgras). Spross-Trockenmasseerträge wurden im Ansaatjahr 2019 und im Hauptnutzungsjahr 2020 erhoben. Im September 2020 wurde das Wurzelwachstum mit der Profilwandmethode (Böhm 1979) bis in 150 cm Bodentiefe untersucht. Dazu wurde von einer geglätteten Profilwand 0,5 cm des Bodens vorsichtig mit einer Gabel abgekratzt und mit einer Rückenspritze abgespült. Die freigelegten Wurzeln wurden digital fotografiert (Bildgröße 50 x 50 cm, Kamera: Nikon 7100D, Objektiv: Nikon AF-Nikkor, Brennweite: 18 mm, Blende: 13, Abstand Objektiv-Profilwand: 80 cm). Die Wurzellänge wurde mit der Software RootPainter ermittelt (Smith et al. 2020; Han et al. 2021).

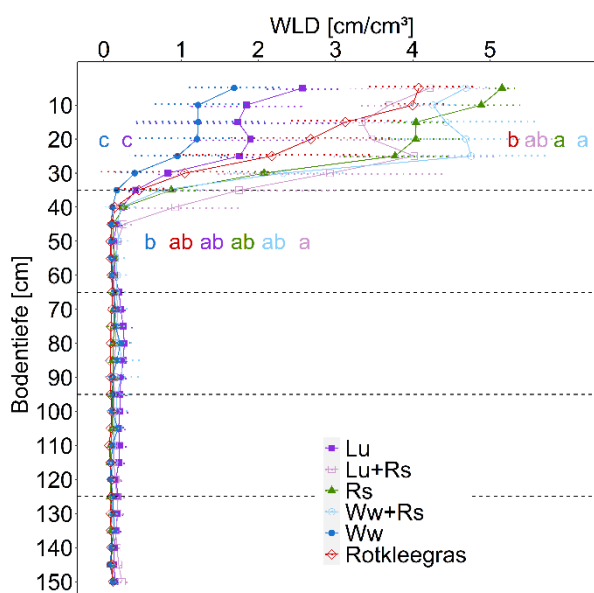


Abb. 1: Wurzellängendichte unterschiedlicher Futterpflanzen bzw. -mischungen

Ergebnisse und Diskussion

Auf dem Sandstandort zeigten sich signifikante Unterschiede in den Sprosserträgen (Abb. 2B) sowie in den Wurzellängendichten im Oberboden (Abb. 1). Der Boden unterhalb der Krume war generell wenig durchwurzelt, es zeigten sich aber im Tiefenprofil konsistente Unterschiede zwischen den Varianten, und die Wurzellänge im Unterboden korrelierte positiv mit den Sprosserträgen ($p=0,024$; $R^2=0,28$). Somit lässt sich die Variabilität der Sprosserträge zu 28 % durch die Wurzellänge im Unterboden erklären. Zusammenhänge mit der Aufnahme von Wasser aus dem Unterboden sind an diesem Standort naheliegend. Die Wasseraufnahme aus dem Unterboden durch tiefwurzelnde Kulturpflanzen wird diskutiert (Thorup-Kristensen et al. 2020), Studien dazu sind aber rar. Wir konnten zeigen, dass Futterpflanzen mit kräftiger Pfahlwurzel wie Luzerne oder Wegwarte flacher wurzelnden Arten im Ertrag überlegen sind und eine in die Tiefe verschobene kumulative Wurzellängenverteilung zeigen.

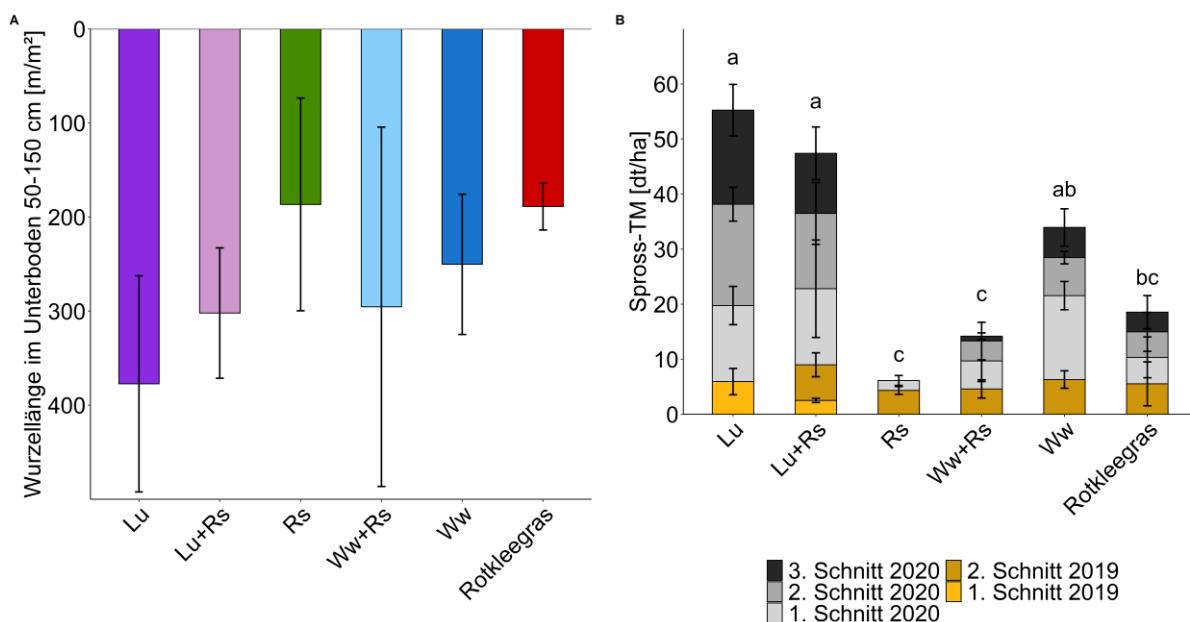


Abb. 2: Wurzellänge im Unterboden (50-150 cm Tiefe) (A) und Sprosserträge (B) unterschiedlicher Futterpflanzen bzw. -mischungen.

Literatur

Böhm W (1979) *Methods of Studying Root Systems*, Vol 33. Springer, Berlin, Heidelberg.

Han E, Smith AG, Kemper R, White R, Kirkegaard JA, Thorup-Kristensen K, Athmann M (2021) Digging roots is easier with AI. *Journal of Experimental Botany* 72:4680–4690. doi:10.1093/jxb/erab174.

Smith AG, Han E, Petersen J, Faircloth Olsen NA, Giese C, Athmann M, Dresbøll DB, Thorup-Kristensen K (2020) RootPainter: Deep Learning Segmentation of Biological Images with Corrective Annotation. bioRxiv. doi:10.1101/2020.04.16.044461.

Thorup-Kristensen K, Halberg N, Nicolaisen M, Olesen JE, Crews TE, Hinsinger P, Kirkegaard J, Pierret A, Dresbøll DB (2020) Digging Deeper for Agricultural Resources, the Value of Deep Rooting. *Trends in Plant Science* 25:406–417. doi:10.1016/j.tplants.2019.12.007

Effekte von tiefwurzelnden Zwischenfruchtmischungen auf das Wurzelwachstum von Mais

Katja Holzhauser und Henning Kage

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

Einleitung

Die effiziente Wasseraufnahme von Kulturpflanzen wird unter den Auswirkungen des Klimawandels und damit einhergehendem Trockenstress immer wichtiger. Neben den Eigenschaften der Kulturpflanze und deren Wurzelsystem selbst, können auch Vorfruchteffekte gezielt für die Durchwurzelung genutzt werden.

Wurzelparameter wie Wurzellängendichte, -verteilung und -tiefe sind meist beeinflusst von physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften. Gleichzeitig sind es auch maßgebliche Faktoren für die Betrachtung der Wasseraufnahme von Kulturpflanzen.

Um Dynamiken zwischen Wurzelarchitektur und Wasseraufnahme zu verstehen, ist die Modellierung von Wurzelsystemen eine geeignete Methode. Das eindimensionale Wurzelmodell nach Gardner (1960) nimmt an, dass die Wassertransport zu einer einzelnen Wurzel über ein zylinderförmiges Einzugsgebiet um jene Wurzel erfolgt. Dieser Ansatz wurde von Kohl et al. (2007) auf die Nährstoffaufnahme von Gerste erweitert und bildet die Basis dieser Studie.

Das vom BMBF geförderte Projekt RootWayS untersucht tiefwurzelnde Zwischenfruchtmischungen und deren Auswirkungen auf Trockenheitsresistenz, Wachstum und Ertrag der Folgefrucht Mais. Der Fokus liegt auf dem Wurzelwachstum von Mais, welches durch die vorangestellten Zwischenfruchtmischungen beeinflusst wird. Es wird angenommen, dass die Durchwurzelungsintensität und -tiefe der Folgefrucht Mais durch den Einsatz der Zwischenfrüchte verbessert wird und so Unterbodenressourcen (Wasser, Nährstoffe) genutzt werden können.

Material und Methoden

Das erste Versuchsjahr begann im August 2020 und endet mit der Maisernte im Spätsommer 2021. In einem randomisierten Blockdesign wurden drei funktionale Gruppen von Zwischenfrüchten – Brassicaceae (*Brassica napus*, *Raphanus sativus* cv. *oleiformis*), Gräser (*Lolium perenne*, *Festuca arundinaceae*) und Klee (*Trifolium pratense*, *Trifolium repens*) – ausgewählt, um unterschiedliche Wurzelsysteme und Nährstoffanforderungen anzusprechen. Die Zwischenfruchtmischungen enthalten gemäß dem Prinzip der Nischenkomplementarität je zwei tiefwurzelnde und fachwurzelnde Arten. Der Versuchsidee folgend, wird eine Wiederbewurzelung der Bioporen durch die Maiswurzeln angestrebt, die zuvor von den Zwischenfruchtwurzeln geformt wurden. In den folgenden Versuchsjahren, soll zusätzlich mittels Rain-out-Shelter Trockenstress simuliert werden.

Wurzelparameter werden mithilfe der Profilwand-Methode nach Böhm (1979) gesammelt. Hierfür werden in den Maisparzellen Profilgruben (1.20 m x 1.60 m) ausgehoben, die während der Vegetationsperiode sukzessive zurückgesetzt werden, um das Wurzelwachstum über die Zeit zu dokumentieren. Mittels Folie und Stift werden Wurzelaustritte an der Profilwand auf einer Fläche von 0.75 m² markiert.

Diese Wurzelzeichnungen werden eingescannt und im Anschluss in QGIS und R ausgewertet. Die Punktmuster der Wurzelverteilungen werden durch eine Voronoi-Polygonanalyse im Hinblick auf die Verteilung der Einzugsbereiche einzelner Wurzeln und deren Entfernung zueinander untersucht. Parallel zur Arbeit an den Profilwänden, werden Bohrkern entnommen, um die Wurzellänge zu ermitteln und somit den Parameter der Wurzellängendichte zu berechnen. Die Bodenfeuchte wird wöchentlich mit einem Sentek Diviner System gemessen, das in jeder Parzelle installiert ist. Das Messprinzip basiert auf der Frequency-Domain-Reflectance (FDR)-Technik.

Ein einfaches Matrix-Flux basiertes Einzelwurzelmodell der Wasseraufnahme durch die Wurzeln soll anschließend genutzt werden, um Effekte auf das Wasseraneignungsvermögen zu quantifizieren (Metselaar et al. 2007).

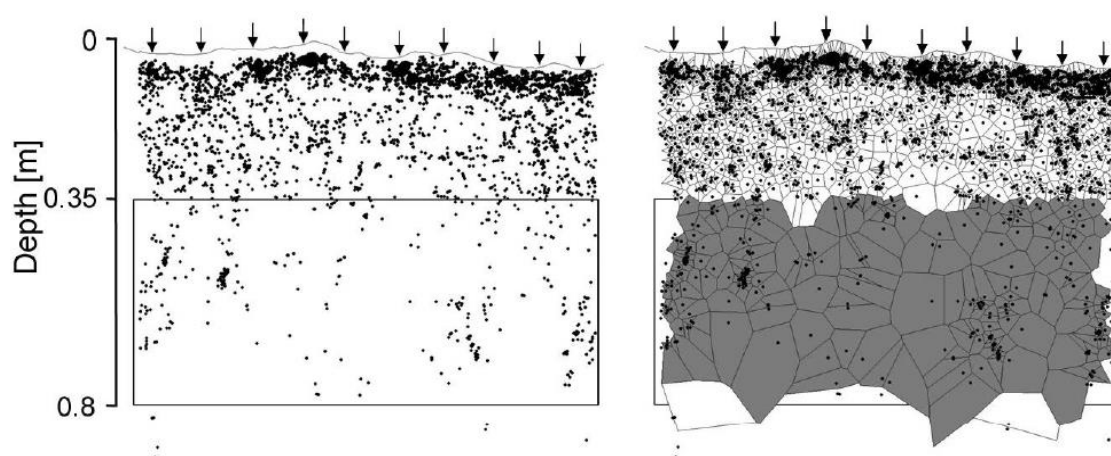


Abb.1: Profilwand-Methode am Beispiel Gerste (links). Berechnete Voronoi-Polygone (rechts) (Kohl et al. 2007)

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse könnten mögliche Effekte der Zwischenfruchtmischungen auf die Durchwurzelungsintensität und -tiefe des Maises aufdecken und so zu einer nachhaltigen Strategieentwicklung gegen den Trockenstress im Maisanbau beitragen.

Literatur

- Gardner, W.R. (1960) Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil sci* 89:63 – 73
- Böhm, W. (1979) *Methods of studying root systems*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 188
- Kohl, M., Böttcher, U., Kage, H. (2007) Comparing different approaches to calculate the effects of heterogeneous root distribution on nutrient uptake: a case study on subsoil nitrate uptake by a barley root system. *Plant Soil* 298: 145 – 159
- Metselaar, K., de Jong van Lier, Quirijn, 2007. The Shape of the Transpiration Reduction Function under Plant Water Stress. *Vadose Zone J* 6, 124–139. 10.2136/vzj2006.0086.

Root Distribution of Cabbage Under Subsurface Drip Fertigation

Martin Mungai Mburu, Caspar-Friedrich Weßler, 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 in the required rates needed by the plant. Under SDF, roots are exposed to spatially and temporally variable water and nutrient profiles, which affect their uptake dynamics and growth. Little is known about the dynamic behaviour of root systems in response to heterogenous supply of nutrients and water. Thus, there is a necessity to evaluate the dynamics of root growth of red cabbage under the SDF system (Hodge, 2006).

Materials and Methods

The experimental site was located within the Herrenhausen experimental field of the Leibniz University Hannover (LUH), Institute of Horticultural Production Systems, Systems Vegetable Modelling Section, Germany. The experiment consisted of 2 treatments with 3 replications (plots) which were 14 m long and two 2.5 m wide. The subsurface drip laterals are installed and buried at a depth of 0.40 m. Red cabbage (*Brassica oleracea* L.) cv. Travero F1 (Bejo Samen GmbH) seeds were sown in peat pots. After the fourth leaf had emerged, the seedlings were transplanted into the field. The soil at the site is a weakly loamy sand. Two levels of fertilizer (240 kg N and 120 kg N per ha) were applied. Weekly applications were distributed according to Feller et al. (2011).

Roots were harvested destructively using the soil core technique for measurement of root parameters at the end of the experiment in October, 2020. Soil cores were taken with a special root auger of 8.4 cm diameter (Eijkelkamp Agriresearch Equipment, Giesbeek, NL, See figure 1 (a) (Kage et al., 2000). Roots were analyzed for length, volume, surface area and average diameter. Three (3) plants were sampled per plot. Fifteen (15) root samples were taken per plant from the surface up to 60 cm depth in 3 columns around the individual plants and 5 depths (see figure 1 (b)). Soil samples from the cores were placed in plastic bags and stored at -40°C. Roots were washed carefully by hand and then filtered through two sieves ranging from 2.0 to 0.25 mm and organic debris removed according to the procedure by Newman (1966).

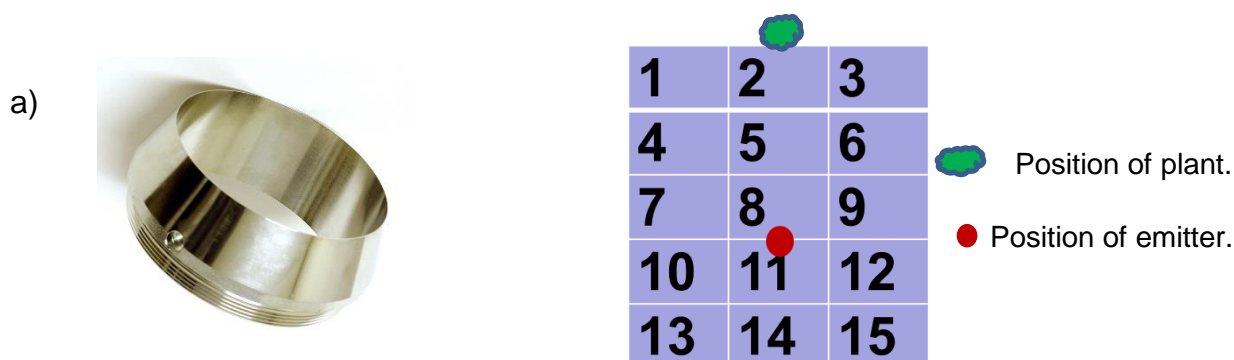


Figure 1: Schematic representation of a) the soil core used for root sampling and b) soil core samples taken per plant

Results and Discussion

Root distribution showed relatively higher percentages of roots in the uppermost soil layers and areas next to the dripper in all treatments. This can be attributed to these layers having more water (nutrient) resources as compared the rest of the profile. Root Length Density (RLD) is the most extensive variable for quantifying the response of plant roots to the environment and is expected to be higher where the water source is located, near the drippers than farther away from them (laterally and vertically) but both plants have similar root weight. According to Price & Hendrick (1998), roots with adequate nutrient supplies may also have more root hairs than nutrient-deficient roots.

References

- Anderson, J. (2003). The environmental benefits of water recycling and reuse. In *Water Science and Technology: Water Supply* (Vol. 3, pp. 1–10). <https://doi.org/10.2166/ws.2003.0041>
- Feller, C., Fink, M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P., Scharpf, H. C., Ziegler, J. (2011). Düngung im Freilandgemüsebau. *Schriftenreihe Des Leibniz-Instituts Für Gemüse- Und Zierpflanzenbau (IGZ)*, 3(4), 1–265.
- 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>
- Newman, E. I. (1966). A Method of estimating the total length of root in a sample. *The Journal of Applied Ecology*, 3(1), 139. <https://doi.org/10.2307/2401670>
- Price, J. S., & Hendrick, R. L. (1998). Fine root length production, mortality and standing root crop dynamics in an intensively managed sweetgum (*Liquidambar styraciflua* L.) coppice. *Plant and Soil*, 205(2), 193–201. <https://doi.org/10.1023/A:1004324714371>

Predictive precision irrigation-based control of maize leaf growth under laboratory conditions

Lina Owino und Dirk Söffker

Universität Duisburg-Essen, Duisburg. E-Mail: lina.owino@uni-due.de

Introduction

Plant growth depends on a variety of factors related to environmental conditions, management practices such as irrigation, fertilization, weed control, etc, and genotypic factors. Previous research on the control of plant growth has explored influencing shoot-root partitioning by application of targeted stresses, including water stress [Hunt and Nicholls, 1986, Pace et al., 1999, Sanchez-Blanco et al. 2019], control of shoot length by variation of supplied illumination [Downs et al., 1957], and control of shoot motion [Wahby et al., 2016].

Water stress-based control approaches are particularly attractive because of the relative ease of variation of water supply to the growing plant, wide variety of precision irrigation approaches, and the additional benefit of allowing optimization of irrigation water use, which is of interest due to increasing pressure on global freshwater resources.

Materials and Methods

Experimental data for training and validation of the models were obtained from an indoor greenhouse situated in the Chair of Dynamics and Control at the University of Duisburg-Essen. The greenhouse is located in a climate-controlled room with temperature maintained between 21° C and 26° C. Artificial lighting was supplied by a set of eight 75W 9500K fluorescent grow lights at each of four tables set up, with the illuminated area under each lighting set covering approximately 0.5 m by 0.5 m.

The maize seed used in the experiment was KWS Ronaldinio variant. The seed was sowed in 500 ml PET tumblers each containing 175 g of Seramis clay granulate. Seramis Vitalnahrung liquid fertilizer for green plants was mixed into the irrigation water for fertigation. The plants received 14 hours of illumination daily. Daily minimum and maximum temperature and relative humidity were recorded using a digital temperature and humidity sensor. Leaf length measurements were done manually using a meter rule.

The growth experiment was started 8 days after planting, when all the maize plants were at growth stage V1. For the growth experiment, a control group of 20 fully irrigated plants distributed equally among the four tables in the greenhouse was maintained at the experimentally predetermined full holding capacity of the substrate. The test group consisted of 20 plants, each with a corresponding irrigation schedule based on the initial length and the final targeted length. Two final growth targets for a six-day period were set due to a large range in initial total leaf lengths- for 10 plants whose initial measurements were lower than 35 cm, a targeted final total length of 95 cm was set. The remaining 10 plants in the test group had a targeted final total length of 105 cm. An irrigation interval of 24 hours was set for watering the plants, with daily measurement of leaf length. The irrigation sequence was recalculated after five days

due to the progression of the plants to the vegetative stage V2, and the results presented in this work represent the five days of targeted irrigation during stage V1.

To generate the required irrigation levels, a brute force algorithm was developed, with all possible irrigation sequence combinations generated, and resultant growth over the targeted period predicted using a regression model trained using previous growth data. The resultant outputs were evaluated, with the sequence corresponding to the output value closest to the target selected for the plant.

Irrigation levels for fully irrigated and stressed plants were based on previous experience [Owino & Söffker, 2019], as well as estimated evapotranspiration levels determined from ambient conditions and total leaf length. Plants in the control group were maintained at a gravimetric water content of 0.83 g/g throughout the experiment. Irrigation levels for the test group were set at 0.68 g/g for no stress, to allow transition to mild stress within 24 hours when required, and 0.43 g/g for mild stress.

Results and Discussion

The final total leaf lengths obtained from the test group were found to vary from the interpolated 5th day growth targets by a range of 0.73% to 13.33%. Exclusion of two outliers resulted in an overall deviation from the targeted value of less than 10% for the entire test group. Intermediate growth targets over the 5-day period also exhibited deviation below 10% for the entire test group.

The preliminary results indicate a strong possibility to employ irrigation sequencing in control of maize leaf growth, with specified final total leaf lengths, or by extension, leaf area and biomass, as the final target. An evaluation of the performance of targeted growth control in further vegetative stages is currently in progress, with further work intended to incorporate optimization of water consumption as an additional control goal.

Literature

- Downs, R. J., S. Bo Hendricks, and H. A. Borthwick. "Photoreversible control of elongation of pinto beans and other plants under normal conditions of growth." *Botanical Gazette* 118, no. 4 (1957): 199-208.
- Hunt, Roderick, and A. O. Nicholls. "Stress and the Coarse Control of Growth and Root-Shoot Partitioning in Herbaceous Plants." *Oikos* 47, no. 2 (1986): 149-58. doi:10.2307/3566039.
- Owino, L. and Söffker, D. "Deficit irrigation-based control of leaf appearance in early vegetative stages of maize growth". Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V, Berlin, 62. Jahrestagung, 2019, pp. 63-64
- Pace, P. F., Cralle, H. T., El-Halawany, S. H., Cothren, J. T., & Senseman, S. A. (1999). Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. *J. Cotton Sci*, 3(4), 183-187.
- Sánchez-Blanco, M. J., M. F. Ortuño, S. Bañon, and S. Álvarez. "Deficit irrigation as a strategy to control growth in ornamental plants and enhance their ability to adapt to drought conditions." *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 94, no. 2 (2019): 137-150.
- Wahby, M., Hofstadler, D. N., Heinrich, M. K., Zahadat P., and Hamann, H., "An Evolutionary Robotics Approach to the Control of Plant Growth and Motion: Modeling Plants and Crossing the Reality Gap," 2016 IEEE 10th International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO), 2016, pp. 21-30, doi: 10.1109/SASO.2016.8.

Vergleich von Bewässerungsmodellen im Körnermais

Butz A.¹, Schraml M.² und Möller K.²

¹Referat Ökologischer Landbau, LTZ Augustenberg, Emmendingen-Hochburg; ²Referat Pflanzenbau, LTZ Augustenberg, Forchheim. E-Mail: martine.schraml@ltz.bwl.de

Einleitung

Mit dem fortschreitenden Klimawandel steigt die Bewässerungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturen an. Gleichzeitig wächst auch der gesamtgesellschaftliche Wasseranspruch. Die Nutzung von Beregnungssteuerungsmodellen kann - nach einmaliger Bestimmung der Ausgangsfeuchte zu Vegetationsbeginn - eine Entscheidungshilfe für eine ressourceneffiziente Beregnung darstellen, die mit einem vergleichbar geringen Aufwand verfolgt werden kann. In Feldversuchen wurden gängige ackerbauliche Beregnungsmodelle hinsichtlich ihrer Wirkung auf Ertragsparameter sowie auf den ressourceneffizienten Einsatz von Wasser hin bewertet.

Material und Methoden

Die Versuche wurden in den Jahren 2017 bis 2020 auf dem sandigen Trockenstandort der Versuchsstation Forchheim (IS, AZ 30, nFK von 12,4 Vol-% in den oberen 80 cm, langjährige Jahresmittel: 10,1°C Temperatur, 724 mm Niederschlag) unter einer Linearberegnungsanlage durchgeführt. In Tabelle 1 sind die in einer 2-faktoriellen Spaltenanlage für zwei Körnermaissorten (Futurixx; P9903) in 4-facher Wiederholung verglichenen Beregnungsmodelle aufgeführt.

Tab. 1: In den Feldversuchen eingesetzte Varianten der Beregnungsentscheidungs-Modelle.

Variante	Annahmen
Kontrolle	keine Beregnung
Geisenheimer	Beregnung nach Geisenheimer Steuerung ab nFK > 40
Geisenheimer reduziert	Beregnung nach Geisenheimer Steuerung ab BBCH 39 und nFK > 40
Agrowetter	Beregnung nach Agrowetter (DWD)
Agrowetter reduziert	Beregnung nach Agrowetter (DWD) ab BBCH 39 und nFK > 30
Bewässerungs-App	Beregnung nach Bewässerungs-App (ALB)

Berechnet wurde immer auf höchstens 80% der nFK bei einer maximalen Beregnungsmenge von 30 mm. Es wurde keine Notbewässerung durchgeführt.

Neben Ertrag und Bewässerungsmengen wurden u.a. Nmin-Gehalte im Boden sowie Protein- und Mykotoxingehalte im Korn erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit ANOVA und Tukey-Mittelwertvergleich in R.

Ergebnisse und Diskussion

Nach einem regenreicheren Jahr 2017, bei dem in der unberegneten Variante 91 dt/ha (Futurixx) bzw. 84 dt/ha (P9903) Ertrag erzielt wurden, waren die Jahre 2018 bis 2020 von langen Phasen der Trockenheit gekennzeichnet, was sich in deutlich niedrigeren Erträgen äußerte (Tabelle 2).

Eine Beregnung führte immer zu einem signifikanten Mehrertrag, je mehr Wasser dem Körnermais zur Verfügung stand, desto höher waren die Erträge ($r_{\text{Spearman}} = 0,71$).

Tab. 2: Niederschlagssumme während der Vegetation, Berechnungsmengen sowie erzielte Erträge (Mittelwert und Standardfehler) der unterschiedlichen Bewässerungsentscheidungs-Modelle für die zwei Körnermaissorten. Buchstaben kennzeichnen statistische Unterschiede nach Tukey-Mittelwertsvergleich innerhalb eines Jahres.

	Niederschlag in der Vegetation [mm]	Berechnungs- menge [mm]	Ertrag [dt/ha]		
			Futurixx	P9903	
2017	305	Kontrolle	0	91 ± 2,7 a	84 ± 2,6 a
		Geisenheimer	120	126 ± 5,9 cd	141 ± 3,0 d
		Geisenheimer reduziert	53	110 ± 0,8 bc	116 ± 3,4 bc
		agrowetter	80	116 ± 5,1 b	123 ± 2,8 bcd
		agrowetter reduziert	55	101 ± 2,0 ab	110 ± 5,7 bc
2018	189	Kontrolle	0	22 ± 8,1 a	23 ± 10,5 a
		Geisenheimer	260	136 ± 4,8 d	140 ± 6,0 d
		Geisenheimer reduziert	166	101 ± 10,3 bc	108 ± 12,9 bc
		agrowetter	188	111 ± 7,2 c	108 ± 12,2 c
		agrowetter reduziert	92	84 ± 5,0 b	78 ± 2,6 b
		Bewässerungs-App	105	78 ± 5,6 b	78 ± 7,5 b
2019	270	Kontrolle	0	17 ± 4,4 a	6 ± 3,4 a
		Geisenheimer	254	108 ± 5,7 de	116 ± 2,3 de
		Geisenheimer reduziert	134	116 ± 4,1 e	127 ± 4,7 e
		agrowetter	180	98 ± 7,2 d	103 ± 6,5 d
		agrowetter reduziert	65	38 ± 7,2 b	38 ± 9,6 b
		Bewässerungs-App	120	75 ± 3,3 c	60 ± 7,3 c
2020	158	Kontrolle	0	35 ± 11,8 a	23 ± 8,2 a
		Geisenheimer	327	131 ± 5,4 d	143 ± 7,2 d
		Geisenheimer reduziert	230	123 ± 11,5 cd	130 ± 8,0 cd
		agrowetter	195	95 ± 9,2 bc	96 ± 8,7 bc
		agrowetter reduziert	130	83 ± 9,7 b	75 ± 15,5 b
		Bewässerungs-App	180	105 ± 10,2 bcd	110 ± 13,7 bcd

Am effizientesten hinsichtlich des Wassereinsatzes war die Nutzung des reduzierten Geisenheimer-Modells mit dem Bewässerungsstart ab BBCH 39. Die Mehrerträge bei beiden Sorten wurden im Durchschnitt der Jahre mit 1,4 mm/dt (P9903) bzw. 1,9 mm/dt (Futurixx) erzielt. Auf einem ähnlichen Niveau bewegte sich der Einsatz der Bewässerungs-App (ø 2,0 mm/dt P9903; ø 2,5 mm/dt Futurixx).

Mit über 3 mm Wasser pro dt Mehrertrag war die Nutzung des Geisenheimer-Modells - insbesondere für die Berechnung einer trockentoleranteren Körnermaissorte wie z. B. Futurixx nicht sehr wassereffizient. Als in gegensätzlicher Richtung eher ineffizient zu bezeichnen war auch die reduzierte Agrowetter-Bewässerungsstrategie. Die Empfehlung einer Berechnung ab BBCH 39 wie bei der Geisenheimer Steuerung aber zusätzlich erst ab Unterschreitung der nFK von 30% war zu restriktiv gesetzt.

Subsurface drip fertigation control tool (SDF-Tool)

Ana Callau-Beyer, Martin Mburu, Caspar-Friedrich Weßler and Hartmut Stützel

Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover, Hannover;
E-Mail: callau@gem.uni-hannover.de

Introduction

Intensive agriculture has transformed plant production in many regions to a great extent due to increased use of fertilizer to supply nutrients which are essential to the growth of plants. Nitrate pollution of groundwater from agriculture is an issue of major concern in many regions. The main reason for the high loss of nitrogen is the asynchrony between nutrient availability and crop demand, i.e. fertilizers are applied during the time when there is still no plant uptake, but sufficient rain to cause leaching. Moreover, water and nutrient limitations will be more frequent in the coming decades due to climate change along with regulations aiming at protecting water resources. These issues lead to the need of innovations in agricultural production to improve water and nutrient use efficiencies.

Subsurface drip fertigation (SDF) is the fertigation, i.e. irrigation combined with application of dissolved fertilizer, of crops through buried driplines which include built-in emitters to drip water nutrient solution to the surrounding soil (Lamm, 2014). This allows placing the water and fertilizers directly into a small soil volume in the rooting zone at just the rates needed by the plants by continuous sensor-controlled application. The SDF system has a great potential to minimize the movement of water and nutrients below the root zone when effectively managed. Through the combined application of nutrients and water, drought and nutrient stresses can be diminished and yield potentials optimized. SDF systems can therefore make cropping systems not only more environmentally friendly and sustainable, but also more resilient to climatic fluctuations.

The aim of our research is to contribute to the understanding of crop growth under SDF. The work presented here consists of a tool (SDF-Tool) available for farmers who want to integrate this fertigation system in their production. The tool delivers information about water and fertilizer amounts to be applied to the crops allowing farmers to manage the fertigation of the crops under SDF in an efficient way.

Materials and Methods

The estimation of irrigation demand by the crops requires a daily water balance computation for the crop field. The computation is performed on a single plant basis in two-dimensions, i.e. horizontal (x) and vertical (z) axes. The x -axis is delimited by the maximum width a single plant can occupy on the field, which depends on row width. The z -axis goes from the soil surface up to the maximum depth of root growth. On the x -axis the computation is performed in two differentiated regions called bare soil and plant region with horizontal extensions which dynamically change as the plant grows. Furthermore, on the z -axis each of these regions is divided into two differentiated compartments in which the water content may fluctuate: top and bottom layers. Within the plant region the top layer involves the top soil down to the depth in which there is no influence from the sub-drip irrigation, the rest is considered as bottom layer. For the bare soil region, the top layer involves the depth that is subject to drying by way of evaporation which according to Allen *et al.* (1998) is between 10 and 15 cm. The computation of the water balance requires the initial condition of soil

moisture which can range from dry to field capacity. The following assumptions have been made: no canopy interception and no surface/subsurface runoff. A boundary condition of no flow between bare soil and plant region is considered. The only possible flow between these two regions is by root uptake. Here it is to be noted that the lateral root extent may go beyond the lateral plant extent, therefore roots can take up water from the bare soil area. Besides the vertical and lateral extension of roots, root uptake involves the computation of potential values which depend on the moisture conditions of the soil along with the root length density in the different compartments. This way, the SDF-Tool assumes that roots will potentially take up more water from the compartments in which the soil has higher water contents and higher root length density. Fertilizer rate is calculated based on growth stage of the crop and values of demand suggested by Feller *et al.* (2011).

The data required by the SDF-Tool include the following:

- Soil data: Field capacity and permanent wilting point, vertical extension of water bulb around dripper;
- Plant data: Distance between plants, development of height, width and growth stage;
- Root data: Vertical and lateral growth;
- Climate data: Daily sum of precipitation and global radiation, maximum and minimum temperature and relative humidity and mean wind speed;
- Irrigation system data: depth of emitter, death volume of the system, irrigation criterion;

The SDF-Tool provides information of how much water and fertilizer and when to apply them to the crop. Additionally, the tool delivers daily time series of variables like: soil moisture, root uptake, deep percolation from different compartments, total met transpiration, etc.

Results and Discussion

The SDF-tool has been evaluated with existing data of red cabbage growing under subsurface drip fertigation at an experimental field located in the Herrenhausen Research Station of the Institute of Horticultural Production Systems during the years 2019 and 2020. The tool was used to compare different scenarios of fertigation strategies. Furthermore, the tool has been applied to make decisions about how much and when to fertigate in the same experimental field during 2021.

References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. United Nations FAO, Irrigation and Drainage, N.Y., Paper No. 56.
- 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.
- Lamm, F. R. (2014). Irrigation and Nitrogen Management for Subsurface Drip Irrigated Corn –25 years of K-State’s Efforts. ASABE Paper No. 141914980. St. Joseph, Mich.: ASABE.

Einfluss unterschiedlicher Nitratgehalte in der Unterflurtropffertigation auf das Wachstum von Rotkohl (*Brassica oleracea*)

Caspar-Friedrich Weßler, Martin Mungai Mburu, Ana Callau-Beyer
und Hartmut Stützel

Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover, Hannover;
E-Mail: wessler@gem.uni-hannover.de

Einleitung

Die Applikationsform von Wasser- und Nährstoffen für landwirtschaftliche und gemüsebauliche Freilandkulturen hat sich in Deutschland seit Jahrhunderten kaum verändert. Mit stetig steigenden Stickstoffgaben wird der Ertrag gesteigert. Niedrige Stickstoffeffizienzen sind die Folge (Sutton et al., 2011). Darüber hinaus tragen Stickstoffverluste in Form des Treibhausgases N_2O , zur globalen Erwärmung bei (Sylvester-Bradley et al., 2014). Aus diesen Gründen wird nach einer Alternative für die Stickstoff- und Wasserversorgung in der Pflanzenproduktion gesucht.

Die Unterflurtropffertigation bietet hier einen Lösungsansatz. Mit Hilfe dieser Technik kann nach Pflanzenbedarf zeitgenau direkt in die Rhizosphäre gedüngt und bewässert werden. Wie bereits unter anderem Rubiz et al. (1989), Camp et al. (1993), Geisenhoff et al. (2015) und De Oliveira et al. (2016) zeigten, kann mit Unterflurbewässerung im Vergleich zu Tropf- oder Überkopfbewässerung ein erhöhter Ertrag bei Broccoli und Kohl erzielt werden. Camp (1998) stellt in seinem Review ebenfalls fest, dass mit der Unterflurtropfbewässerung abhängig zu der Kultur ein gleicher oder sogar höherer Ertrag im Vergleich zu Tropf- oder Überkopfbewässerung erzielt werden kann. Anhand der ermittelten Daten aus einem Feldversuch wird der Einfluss der Unterflurtropffertigation mit verschiedenen Stickstoffkonzentrationen im Bewässerungswasser auf das Wachstum von Rotkohl präsentiert, um die Basis für eine kritische Auseinandersetzung mit den herkömmlichen Bewässerungs- und Düngungsmethoden zu bieten.

Material und Methoden

Der Feldversuch fand 2020 auf dem Versuchsgelände in Hannover-Herrenhausen der Abteilung Systemmodellierung Gemüsebau des Instituts für Gartenbauliche Produktionssysteme der Leibniz Universität Hannover statt. An diesem Standort war der Boden ein schwach lehmiger Sand. Die Versuchspflanze war Rotkohl (Travero F1 von Bejo Samen GmbH) und wurde in Torfsubstrat angezogen. Die Jungpflanzen wurden mit dem dritten bis vierten echten Laubblatt in das Versuchsfeld gepflanzt. Der Versuch wurde in einem randomisierten Blockdesign mit zwei Behandlungsstufen angelegt. Jeder Block bestand aus zwei Parzellen, die jeweils eine breite von 2,5 m und eine Länge von 14 m hatten. Die Unterflurtropffertigation wurde in einer Tiefe von 0,40 m verlegt. Bei den Behandlungsstufen handelt es sich um eine hohe (240 kg N ha^{-1}) und eine niedrige (120 kg N ha^{-1} 2020) Stickstoffgabe. Die Versuchskulturen waren in eine stickstoffzehrende Fruchtfolge integriert, um einen Stickstoffeffekt durch im Boden befindlichen Stickstoff zu vermeiden.

Die Stickstoffgabe erfolgte wöchentlich über die Unterflurbewässerung und orientierte sich an den Empfehlungen von Feller et al. (2011) für mittelschnell wachsenden Rotkohl mit einem Stickstoffbedarf von 230 kg N ha^{-1} .

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Analyse der Gesamtstickstoffgehalte der Trockenmasse der Versuchspflanzen ließ sich bei der niedrigen Behandlung ein Wert von knapp 200 kg N ha⁻¹ feststellen. Demnach wurden nicht nur der ausgebrachte Stickstoff von 120 kg N ha⁻¹ akkumuliert, sondern zusätzlich 80 kg N ha⁻¹ des nachgelieferten Stickstoffs durch die Pflanzen aufgenommen. Die hohe Behandlung lag mit einem Gesamtstickstoffgehalt der Trockenmasse von knapp 340 kg N ha⁻¹ bei einer zusätzlichen Stickstoffakkumulation von bis zu 100 kg N ha⁻¹. Zudem ist zu erwähnen, dass der Stickstoffgehalt von 0-60 cm vor Versuchsbeginn bei knapp 23 kg N ha⁻¹ lag, sowie nach Versuchsende bei der niedrigen Behandlung bis zu 21 kg N ha⁻¹ und bei der hohen Behandlung 25 kg N ha⁻¹ betrug. Somit ist festzustellen, dass auch mit einer Stickstoffgabe von 240 kg N ha⁻¹ eine nahezu gleichwertige, wenn nicht sogar tendenziell bessere Stickstoffeffizienz erreicht werden konnte.

Literatur

- Camp, C.R. (1998). Subsurface drip irrigation: A Review. *American Society of Agricultural Engineers* 41(5): 1353-1367
- 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., Lavanholi, R. 2016. Economic feasibility of irrigation systems in broccoli crop. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering* 36(3): 460-468
- 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., Schwerz, F. 2015. Yield of single-head broccoli under different irrigation systems. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering* 35(5): 863-874
- 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
- Sutton, M. A., Oenema, O., Erisman, J. W., Leip, A., van Grivenstein, H., Winiwarter, W. (2011). Too much of a good thing. *Nature* 472 159–61 (2011). DOI: <https://doi.org/10.1038/472159a>
- Sylvester-Bradley, R., Kindred, D. R., Wynn, S. C., Thorman, R. E., Smith, K. E. (2014). Efficiencies of nitrogen fertilizers for winter cereal production, with implications for greenhouse gas intensities of grain. *J. Agric. Sci.* 152 3–22 (2014). DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859612000810>

Grünland mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen von Gräsern und Leguminosen bei Trockenheit: Ertrag und Grasshopper Ertrags-Messungen

Wegglér K. und Weber J.

Landwirtschaftliches Zentrum Baden Württemberg (LAZBW), Aulendorf
E-Mail: karin.wegglér@lazbw.bwl.de

Einleitung

Grünland wird in Zukunft verstärkt Trockenperioden ausgesetzt sein. Eine angepasste Artenmischung mit trockenheitstoleranten Gräsern und Leguminosen könnte möglicherweise Ertragseinbußen in diesen Perioden abmildern. Deutsches Weidelgras liefert bei guten Bedingungen hohe Erträge gilt aber als wenig trockenheitstolerant. Allerdings wurde gezeigt, dass Weidelgras sehr resilient gegenüber Trockenheit reagieren und durch überproportionales Wachstum nach Trockenphasen Ausfälle kompensieren kann (Hofer *et al.* 2016). Bisher unbekannt war, ob Weidelgras auch gegenüber trockenheitstoleranten Gräsern in diesen Situationen ein überlegenes Wachstum zeigt. Ziel der Untersuchung war es, den Ertrag von unterschiedlichen Mischungen von a) trockenheitstoleranten Gräsern (GSWT) b) Weidelgras c) Rotklee und d) Weißklee bei moderater Trockenheit zu untersuchen, die im Frühjahr 2021 bei kühlen Temperaturen auftrat.

Die Erträge wurden zusätzlich mittels eines rising plate meter, dem Grasshopper, erfasst, welcher diese non-destruktiv und schnell messen kann. Allerdings ist nicht bekannt, ob der Ertrag von leguminosenreichen oder grasartenreichen Beständen genauso zuverlässig gemessen wird, wie von weidelgrasreichen Kurzrasenweiden.

Material und Methoden

Der Versuch wurde im April 2020 in Aulendorf auf einem sandigen Lehm (pH 5,4) neu angesät. Unterschiedliche Mischungsverhältnisse von a) *L. perenne* (Lol) b) *Festuca pratensis* 30%, *Phleum pratense* 30%, *Poa pratensis* 21%, *Festuca rubra* 9,5%, *Dactylis glomerata* 9,5% (GSWT) c) *T. pratense* (RK) und d) *T. repens* (WK) wurden nach einem Versuchsdesign nach Kirwan *et al.* (2007) ausgesät. Das Simplex design in Kürze: Mischungsverhältnisse von (100:0:0:0), (70:10:10:10) (25:25:25:25) (40:40:10:10) wurden für jede der unterschiedlichen Kombinationen von Pflanzen in a) b) c) und d) mit jeweils 3 Wiederholungen ausgesät. Dieses Design wurde einmal mit 170 kg N/ha Düngung auf allen Parzellen und einmal mit reduzierter N-Düngung bei einer Leguminosenansaat von $\geq 40\%$ angelegt. Die Bonitur der Arten/Gräsergruppe erfolgte im März 2021. Die Ertragserfassung des 1. Schnittes mittels Vollernter und die Grasshopper-Messung erfolgten am 26.5.2021. Zwischen dem 21.3.2021 und dem 30.4.2021 gab es abgesehen von 13 mm am 12.4.2021 keine Niederschläge. Nach dem 30.4.2021 bis zur Ernte folgten 58 mm.

Ergebnisse und Diskussion

Die Reinsaat mit Gräsern, Weidelgras und GSWT zeigten nach dieser kühlen Trockenphase einen deutlich geringeren Ertrag als Rot- oder Weißkleebestände (Abb. 1). Weidelgras dominierte Mischungen (70% Weidelgras, 40% Weidelgras + 40% GSWT) zeigten ebenfalls einen signifikant reduzierten Ertrag. Dagegen erreichten Rot- oder Weißkleemischungen mit Weidelgras deutlich höhere Erträge. Eine GSWT-dominierte Mischung (70:10:10:10) erreichte deutlich höhere Erträge als die vergleichbare Weidelgras-dominierte Mischung, vermutlich weil diese Gräser eine

verstärkte Etablierung der Leguminosen erlaubten. Nicht der Anteil trockenheitstoleranter Gräser per se sondern der Anteil an Leguminosen scheint den Ertragsvorteil nach dieser Frühjahrstrockenheit zu sichern.

Der Grasshopper erfasste die Erträge von Mischbeständen hinreichend gut, obwohl eine konstante Überschätzung der Erträge vorlag. Die Ertragsabschätzungen des Grasshoppers waren am besten in Weidelgras und Rotklee dominierten Beständen während Weißklee dominierte Bestände tendenziell unterschätzt und die GSWT dominierten Bestände eher überschätzt wurden. Erträge über 50 dt/ha konnte der Grasshopper nicht verlässlich abschätzen da die maximale Messhöhe bauartbedingt erreicht war. Mischbestände mit Erträgen unter dieser Marke zeigten allerdings eine gute Korrelation von $R=0,87$ zwischen gemessenen und erfassten Werten (Abb. 2).

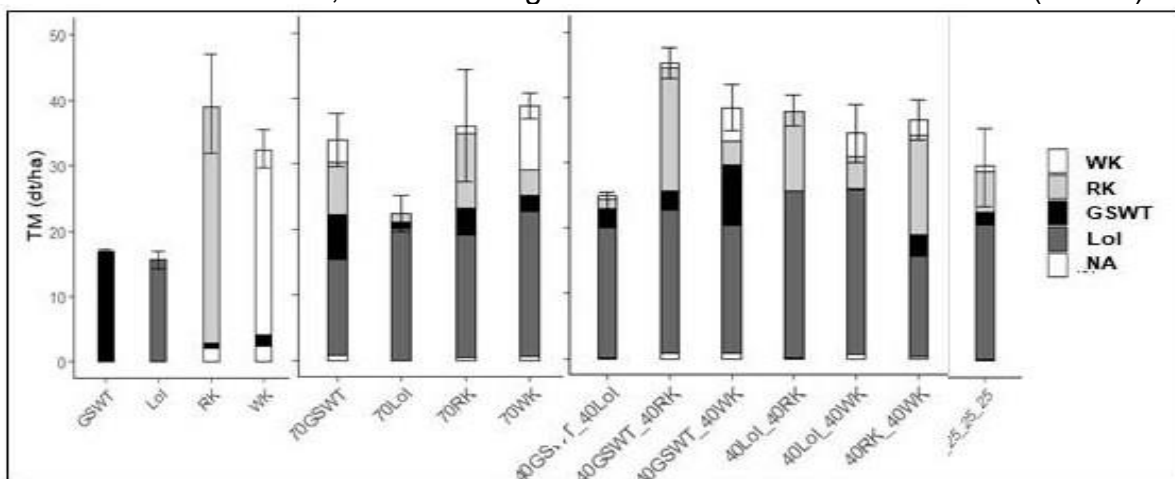


Abb. 1 Trockenmasse Erträge (dt/ha) des 1. Schnittes von Rein- und Mischbeständen von deutschem Weidelgras, trockenheits-toleranten Gräsern, Rot- und Weißklee nach einer Trockenphase und bei identischer N-Düngung.

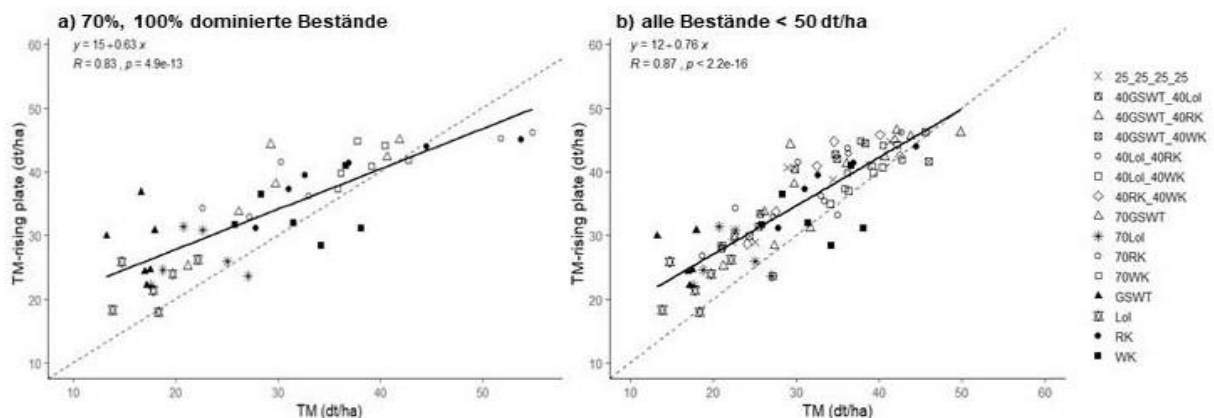


Abb. 2: Korrelation der Ertragserfassung mittels Vollernter und dem rising plate meter a) Mischungen mit 70-100% einer Pflanzengruppe b) alle Mischungen (<50 dt/ha).

Literatur

Hofer, D., Suter, M., Haugjey, E., Finn, J. A., Hoekstra, N. J., Buchmann, N., & Lüscher, A. (2016). Yield of temperate forage grassland species is either largely resistant or resilient to experimental summer drought. *Journal of Applied Ecology*, 53, 1023–1034.

Kirwan, L., Connolly, J., Sebastia, M.T. et al. (2007). Evenness drives consistent diversity effects in intensive grassland system across 28 European sites. *Journal of Ecology*, 95, 530–539.

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, Quedlinburg;

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 Weizenzüchtungsprogramme integriert worden (Crespo-Herrera et al. 2017).

Im Verbundvorhaben TERTIUS⁴ 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 werden am Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius Kühn-Instituts vier Genotypen-bulks einer Kreuzungspopulation der Sorten 'Asory' (1RS-Translokation, hoher Ertrag) und 'Kamerad' (1RS-Translokation, geringerer Ertrag) mit definierter Konstitution an 1RS, die elterlichen Genotypen 'Asory' und 'Kamerad' sowie sechs Verrechnungssorten ohne Translokation (Tab. 1) hinsichtlich ihrer Wurzelentwicklung und weiterer phänologischer, physiologischer und agronomischer Eigenschaften charakterisiert.

Die hierfür angelegten, zweijährigen Feld- und Gefäßversuche finden durch Nutzung von mobilen Rain-out Shelters bzw. Gewächshausanlagen unter kontrollierten Bedingungen (Trockenstress + Kontrolle) am Standort Braunschweig statt.

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 bzw. Genotypen-Gruppen. Es werden zwei Bewässerungsregime praktiziert: Trockenstress (nFK = ~30-50 %) in den Rain-out Shelters und eine bewässerte Kontrolle (nFK = ~70 %) im Feld neben den Rain-out Shelters. Trockenstress wird durch Aktivierung der Rain-out Shelter ab Vegetationsbeginn erreicht. Ab diesem Zeitpunkt fahren die Rain-out Shelter bei Niederschlag automatisch über die Versuchspartellen und halten diesen vollständig ab. Um jedoch keinen zu starken Trockenstress zu produzieren, können auch die

⁴Genom-basierte Strategien zur Nutzung des tertiären Genpools für die Züchtung klimaangepassten Weizens

Trockenstressparzellen bei Bedarf durch Überkopfbewässerung mittels Gießbalken in den Rain-out Shelters bewässert werden. In der Kontrolle wird zusätzlich zum natürlichen Niederschlag mittels Tropfschläuchen bewässert.

Beide Varianten wurden in vierfacher Wiederholung angelegt (48 Parzellen je Variante). Die Rain-out Shelter und die Kontrollfläche werden dabei als zwei verschiedene Umwelten angesehen.

Gefäßversuch

Zur Untersuchung des Effekts der Roggentranslokationen auf die Wurzelarchitektur und Wurzelbiomasse wurde mit den zwölf Genotypen aus Tab. 1 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 (nFK = ~ 40 %) und eine optimal versorgte Kontrollvariante (nFK = ~ 80 %) 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 Wurzelreinigung.

Tab.1: Spektrum der im Feld- und Gefäßversuch angelegten Genotypen, deren Herkunft und Konstitution an 1RS.

Nummer	Name	Züchter	Translokation
1	Asory (A)	Secobra	T1AL.1RS
2	Kamerad (K)	Secobra	T1BL.1RS
3	1RS.1AL/1RS.1BL	LfL	AxK-Ramsch Doppeltranslokation
4	1RS.1AL/1BS.1BL	LfL	AxK-Ramsch T1AL.1RS
5	1AS.1AL/1RS.1BL	LfL	AxK-Ramsch T1BL.1RS
6	1AS.1AL/1BS.1BL	LfL	AxK-Ramsch ohne Translokation
7	JB Asano	Breun	VRS
8	RGT Reform	RAGT	VRS
9	Julius	KWS Lochow	VRS
10	Nordkap	Nordsaat	VRS
11	Jubilo	Strube	VRS
12	Campesino	Secobra	VRS, T1RS.1AL

Ausblick

Die ersten Ergebnisse des Teilprojekts werden im Herbst 2021 vorliegen. Anhand dieser sind Aussagen zum Einfluss der 1RS-Translokationen auf die Wurzelentwicklung und Trockenstresstoleranz von Winterweizen möglich; zudem kann bewertet werden, in welchem Umfang die Linkage Drag-Effekte des Wurzelsystems moderner Eliteweizen durch Translokationssegmente aus Roggen kompensiert werden können.

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.

Rhizosphere traits enhancing agronomic resilience of winter wheat to drought stress in a controlled environment

Shu-Yin Tung^{1,2}, Wouter Vahl³, Klaus Fleißner³ and Sebastian Wolfrum¹

¹Institute for Organic Farming, Soil and Resource Management/Bavarian State Research Center for Agriculture, Freising; ²Chair of Soil Science/Technical University of Munich, Freising; ³Institute for Crop Science and Plant Breeding/Bavarian State Research Center for Agriculture, Freising.
E-Mail: shu-yin.tung@fl.bayern.de

Introduction

Heat and extreme precipitation events are expected to intensify and occur more frequently due to climate change (IPCC, 2014). Such changes of climatic events pose a great threat to agricultural practices and hence food security. Crop growth under drought stress is therefore an important topic in agriculture.

The rhizosphere plays a key role in drought coping strategies of plants. However, the belowground area still awaits further exploration. This study aims to bridge the gap by looking into the rhizosphere traits that affect plant performance.

Many traits have been lost in the modern cultivars due to the selection of high yielding varieties in optimal environments. On the contrary, landraces preserve higher genetic and phenetic diversities, leading to a higher tolerance of stress (Sandhu et al., 2016; Schneider and Lynch, 2020). The project RhizoTraits (www.bonares.de/rhizotraits) compares modern varieties with landraces to examine the differences in agronomic resilience and the link to rhizosphere traits when exposed to drought stress.

Material and Methods

A total of 32 winter wheat varieties (*T. aestivum* L.), including old landraces and modern varieties, were screened in a greenhouse using the LfL “Moving Fields” high-throughput phenotyping facility (Figure 1). Wheat plants were grown in mesocosms filled with loamy soil. Two water treatments, well-watered (WW) and drought-stressed (DS), were imposed on the plants during stem extension stage.



Figure 1. Wheat plants grown in mesocosms in the LfL “Moving Fields” facility.

Images of both the above- and belowground parts of plants were taken regularly throughout the entire experiment enabling the continuous analysis of plant development. Visual images are being analyzed to approximate shoot and root biomass and to determine plant height, leaf area index, root length, root depth, root angle, and number of roots. In the meanwhile, fluorescence images taken of the above-ground part show the vigor of shoot. In addition to imaging, wheat plants were sampled in the end of the experiment, where shoot and root biomass were determined.

Results and Discussion

Shoot biomass was taken as the indicator of agronomic performance, as yield was not available due to the early harvest in the greenhouse. The 32 varieties from Table 1 showed considerable variability in performance and reaction to drought stress. A first reliable analysis of the data is in progress. Plant biomass and morphology time series will be obtained from the ongoing image analysis. With the temporal data, a further investigation into the drought responsive behaviors of wheat plants can be made.

Variety	
modern	old
Apostel	Allgäuer Land
Asory	Alpiner begrannter Land
Bussard	Barbinger Weiss
Campesino	Berchtesgadener Vogel
Akteur	Chiemgauer Winterweizen
Axioma	Erbachshofer Braun
Format	Keltischer Glattweizen
Jubilar	Laufener Land
Julius	Lechfelder
Kamerad	Niederbayerischer Land
Kanzler	Nördlinger Roter
RGT Reform	Obermenzing
Event	Unterfränkischer Land
Potenzial	Wahrberger Ruf
KWS Emerick	Wolfratshausener Land
Spontan	Zapfs Oberfränkischer Land

Table 1. Modern varieties and old landraces grown in the LfL “Moving Fields” facility.

Literature

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. IPCC, Geneva, Switzerland.

Sandhu, N., Raman, K. A., Torres, R. O., Audebert, A., Dardou, A., Kumar, A., & Henry, A. (2016). Rice Root Architectural Plasticity Traits and Genetic Regions for Adaptability to Variable Cultivation and Stress Conditions. *Plant Physiology*, 171(4), 2562-2576. doi:10.1104/pp.16.00705

Schneider, H. M., & Lynch, J. P. (2020). Should Root Plasticity Be a Crop Breeding Target?. *Frontiers in plant science*, 11, 546. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00546>

Rhizosphere traits enhancing agronomic resilience of maize to drought stress in a controlled environment

Shu-Yin Tung^{1,2}, Wouter Vahl³, Barbara Eder³ and Sebastian Wolfrum¹

¹Institute for Organic Farming, Soil and Resource Management/Bavarian State Research Center for Agriculture, Freising; ²Chair of Soil Science/Technical University of Munich, Freising; ³Institute for Crop Science and Plant Breeding/Bavarian State Research Center for Agriculture, Freising.
E-Mail: shu-yin.tung@fl.bayern.de

Introduction

Heat and extreme precipitation events are expected to intensify and occur more frequently due to climate change (IPCC, 2014). Such changes of climatic events pose a great threat to agricultural practices and hence food security. Crop growth under drought stress is therefore an important topic in agriculture.

The rhizosphere plays a key role in drought coping strategies of plants. However, the belowground area still awaits further exploration. This study aims to bridge the gap by looking into the rhizosphere traits that affect plant performance.

Many traits have been lost in the modern cultivars due to the selection of high yielding varieties in optimal environments. On the contrary, landraces preserve higher genetic and phenetic diversities, leading to a higher tolerance of stress (Sandhu et al., 2016; Schneider and Lynch, 2020). The project RhizoTraits (www.bonares.de/rhizotraits) compares modern varieties with landraces to examine the differences in agronomic resilience and the link to rhizosphere traits when exposed to drought stress.

Material and Methods

A total of 38 maize varieties (*Zea mays* L.), including landraces, hybrids, and populations, were screened in a greenhouse using the LfL “Moving Fields” high-throughput phenotyping facility (Figure 1). Maize plants were grown in mesocosms filled with loamy soil. Two water treatments, well-watered (WW) and drought-stressed (DS), were imposed on the plants during vegetative stem extension stage.

Images of both the above- and belowground parts of plants were taken regularly throughout the entire experiment enabling the continuous analysis of plant development. Visual images are being analyzed to approximate shoot and root biomass and to determine plant height, leaf area index, root length, root depth, root angle, and number of roots. In the meanwhile, fluorescence images taken of the above-ground part show the vigor of shoot. In addition to imaging, maize plants were sampled in the end of the experiment, where shoot and root biomass were determined by weight.



Figure 1. Maize plants grown in mesocosms in the LfL “Moving Fields” facility.

Results and Discussion

Shoot biomass was taken as the indicator of agronomic performance, as yield was not available due to the early harvest in the greenhouse. For a first analysis, a one-way ANOVA was conducted to compare the effect of drought stress on plant dry weight among maize landraces, hybrids, and populations. A significant difference was found in root dry weight ($F = 5,266$; degree of freedom = 2; $p = 0,0062$). The Tukey's HSD post-hoc test showed that on average, landraces had higher root dry biomass than both hybrids and populations (Figure 2). The results imply that landraces have different strategies in root development to cope with drought stress.

Plant biomass and morphology time series will be obtained from the ongoing image analysis. With the temporal data, a further investigation into the drought responsive behaviors of plants can be made.

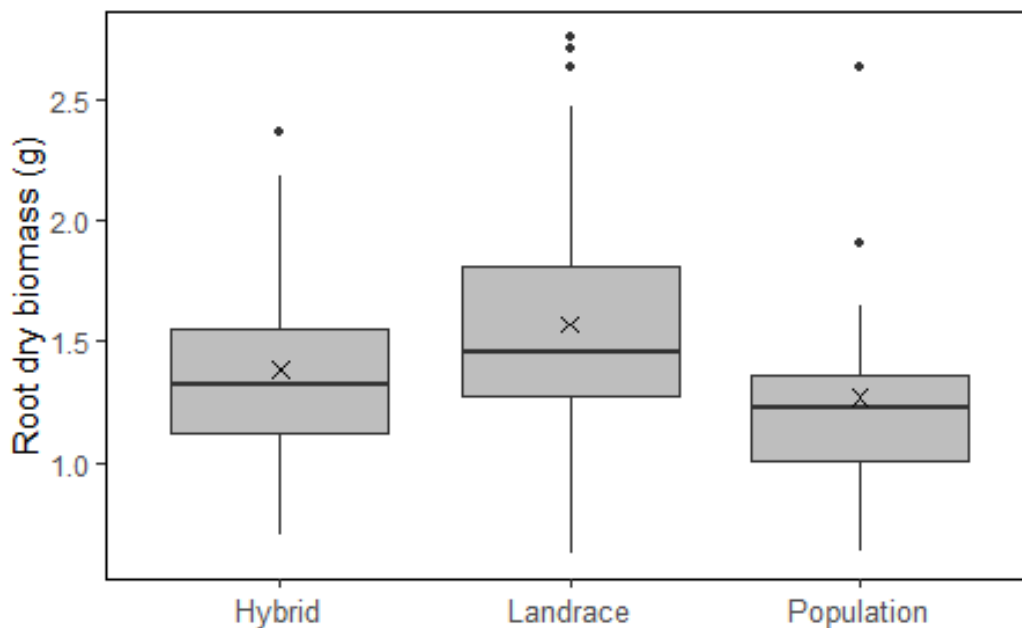


Figure 2. Root dry biomass (g) of maize landraces, hybrids, and populations under drought stress.

Literature

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. IPCC, Geneva, Switzerland.

Sandhu, N., Raman, K. A., Torres, R. O., Audebert, A., Dardou, A., Kumar, A., & Henry, A. (2016). Rice Root Architectural Plasticity Traits and Genetic Regions for Adaptability to Variable Cultivation and Stress Conditions. *Plant Physiology*, 171(4), 2562-2576. doi:10.1104/pp.16.00705

Schneider, H. M., & Lynch, J. P. (2020). Should Root Plasticity Be a Crop Breeding Target?. *Frontiers in plant science*, 11, 546. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00546>

Analyzing rhizosphere traits enhancing agronomic resilience of maize to drought stress in a field experiment using rainout shelters

Shu-Yin Tung^{1,2}, Barbara Eder³, Lukas Wachter¹, Michael Großhauser³
and Sebastian Wolfrum¹

¹Institute for Organic Farming, Soil and Resource Management/Bavarian State Research Center for Agriculture, Freising; ²Chair of Soil Science/Technical University of Munich, Freising; ³Institute for Crop Science and Plant Breeding/Bavarian State Research Center for Agriculture, Freising.
E-Mail: shu-yin.tung@flf.bayern.de

Introduction

Heat and extreme precipitation events are expected to intensify and occur more frequently due to climate change (IPCC, 2014). Such changes of climatic events pose a great threat to agricultural practices and hence food security. Crop growth under drought stress is therefore an important topic in agriculture.

The rhizosphere plays a key role in drought coping strategies of plants. However, the belowground area still awaits further exploration. This study aims to bridge the gap by looking into the rhizosphere traits that affect plant performance.

Many traits have been lost in the modern cultivars due to the selection of high yielding varieties in optimal environments. On the contrary, landraces preserve higher genetic and phenetic diversities, leading to a higher tolerance of stress (Sandhu et al., 2016; Schneider and Lynch, 2020). The project RhizoTraits (www.bonares.de/rhizotraits) compares modern varieties with landraces to examine the differences in agronomic resilience and the link to rhizosphere traits when exposed to drought stress.

Material and Methods

A total of 12 maize varieties (*Zea mays* L.), including old landraces, modern hybrids as well as populations, are grown in a field experiment near Passau (South Bavaria). The experiment was established in spring 2021 as a randomized complete block design with three replicates containing 72 3 m by 4 m plots with 4 maize rows in total.



Figure 1. Rainout shelter at the field site.

The maize plots are managed according to local conventional standards comprising organic and mineral fertilization as well as herbicide treatment. Two water treatments, well-watered (WW) and drought-stressed (DS), are imposed on the plants during the vegetative growth stage. The water stress is induced by 36 rainout shelters (4 m x 4 m) that can reduce the amount of precipitation reaching the plants. The rainout shelters are equipped with 18 UV permeable, V-shaped acrylic glass gutters, filtering about 40% of the precipitation but allowing light to reach the plants and air to circulate freely (Figure 1).

The development of above- and below-ground parts of the maize plants will be assessed during 2021 using standard and digital techniques. In autumn, agronomic performance will be evaluated.

Results and Discussion

Due to the weather conditions in 2021, the 12 varieties shown in Table 1 were sown in the end of May and the rainout shelters were put in place in the beginning of July after the last management operation (herbicide treatment) had been done. Measurements of soil moisture, root development and plant performance are in progress and will be finished after harvest in autumn.

Variety	Group	Type
Benedictio KWS	modern	hybrid
Liberator	modern	hybrid
Luigi CS	modern	hybrid
PM Serveza	modern	hybrid
Almito	modern	population
Weihenstephaner 2	modern	population
Alpenfex	old	landrace
Brauner Schindelmeiser	old	landrace
Gelber Badischer Landmais	old	landrace
Pautzfelder	old	landrace
Pfarrkirchner	old	landrace
Rheintaler Ribel	old	landrace

Table 1. Varieties grown in the experiment and their characteristics.

Literature

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. IPCC, Geneva, Switzerland.

Sandhu, N., Raman, K. A., Torres, R. O., Audebert, A., Dardou, A., Kumar, A., & Henry, A. (2016). Rice Root Architectural Plasticity Traits and Genetic Regions for Adaptability to Variable Cultivation and Stress Conditions. *Plant Physiology*, 171(4), 2562-2576. doi:10.1104/pp.16.00705

Schneider, H. M., & Lynch, J. P. (2020). Should Root Plasticity Be a Crop Breeding Target?. *Frontiers in plant science*, 11, 546. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00546>

Evaluation of morphological and physiological changes involved in tiller recovery capacity from drought stress during tillering in ten barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes

Fiorella Garcia-Jimenez¹, Hartmut Stützel² and Dany Moualeu-Ngangue³

^{1,2,3} Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme Abteilung Systemmodellierung Gemüsebau, Leibniz Universität, Hannover. E-Mail: fiorella.garcia10@gmail.com

Introduction

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is one of the top four cereals in the world, after wheat, maize, and rice (FAO, 2019) and it is a good model plant due to the wide genetic variation and adaptability it has (Sreenivasulu et al., 2010). Plants undergoing water deficit stress will respond accordingly to the intensity and duration of the drought stress period. The responses will vary between a long, and short-term stress and the responses could be avoidance, tolerance, or escapement (Blum, 2005). The capacity of the plants to keep with the physiological functions at a low plant water status will determine how they recover from drought stress and how quickly to ensure crop production (Abid et al., 2018). Tillering has an important role for the plant such as determining the architecture of the plant and the number of flowers and seeds (Yan et al., 2020). There is little information about tiller recovery after severe and moderate drought stress among different genotypes and how different genotypes respond to these levels of water deficit stress in terms of morphological and physiological processes that will define the recovery of the tillers. The aim of this project is to identify the effect of physiological and morphological changes when tillers undergo drought stress at early and late tillering, on the tiller recovery capacity in ten barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the greenhouse at the Institute of Horticultural Production Systems, Leibniz Universität Hannover (52.392835 N, 9.703799 E). Ten plant barley genotypes were used. Three treatments were established, a well-watered, moderate water deficit stress (30 % of water holding capacity) and a severe stress (15 % water holding capacity). The experiment was set in a split plot design with 120 pots for the early tillering measurements and 120 pots for late tillering evaluations. Three plants were sown per pot. The drought was induced at S21 (appearance of first tiller) for early tillering and S31 (when stem elongation started) for late tillering, according to the BBCH scale. The pots were weighted two to three times per week to determine the amount of water lost and to irrigate the well-watered plants. Gas exchange measurements, fluorescence, SPAD, and tiller number was evaluated when the plants were undergoing drought stress and after the rewatering in early tillering. Seven and twenty-two days after rewatering, the harvests were done for the early tillering pots. During the first harvest leaf area, tiller number, and dry weight was measured. For the second harvest same measurements were taken, and additionally samples for osmotic potential and relative water content were included for the early tillering pots. For late tillering, the harvests were done while plants were undergoing drought stress, seven days, and twenty-two days after the rewatering event. For these three harvests tiller number and dry weight was determined. Measurements of plant height took place twenty-two days after rewatering in plants

of early and late tillering. The data of this project has been recently obtained, and for this reason it has not been analyzed yet.

Results and discussion

The data obtained in this project is not complete and has not been analyzed, for this reason this section of results will be based on the main observations done while executing this project. Inducing water stress during early tillering and late tillering caused a delay in the normal phenological development of these plants compared to the well-watered plants, that reached senescence accordingly to what was described in the BBCH phenological scale. One of the first effects caused by drought stress is the reduction of cell elongation and expansion, leading to a vegetative biomass reduction and stopping the growth of the plants as well delaying the phenology of the plants that undergo drought stress (Dhanagond et al., 2019). Plants undergoing water deficit stress had a shorter main shoot when compared to well-watered plants. Accordingly, to Dhanagond et al., (2019) drought stress has negative effects on leaf elongation and expansion reduces the leaf area and affects the tillering formation and number, that was the result observed in this project. Damages in leaves and spikes in the severe water stress treatment induced in late tillering were more pronounced and particularly in genotypes characterized by having wider leaves. Genotypes with narrower leaves had more tillers. This same tendency was observed in both early and late tillering. The genotypes that had more tillers were the ones looking in better recovery conditions, but for supporting this conclusion the data obtained must be analyzed.

Literature

- Abid, M., Ali, S., Qi, L. K., Zahoor, R., Tian, Z., Jiang, D., Snider, J. L., & Dai, T. (2018). Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, 8(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21441-7>
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential - Are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1159–1168. <https://doi.org/10.1071/AR05069>
- Dhanagond, S., Liu, G., Zhao, Y., Chen, D., Grieco, M., Reif, J., Kilian, B., Graner, A., & Neumann, K. (2019). Non-Invasive Phenotyping Reveals Genomic Regions Involved in Pre-Anthesis Drought Tolerance and Recovery in Spring Barley. *Frontiers in Plant Science*, 10(October), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01307>
- Food and Agriculture Organization Corporate. (2019). Statistical online database; accessed 2020 28 Dec. <http://faostat.fao.org/>.
- Sreenivasulu, N., Röder, M.S., & Wobus, U. (2010). Trockenstress – eine Suche nach den Ursachen und nach neuen Wegen zur Züchtung trockenoleranter Getreide. *GenomXPress* 4(2010),4-6.
- Yan, Y., Zhao, N., Tang, H., Gong, B., & Shi, Q. (2020). Shoot branching regulation and signaling. *Plant Growth Regulation*, 92(2), 131–140. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00640-1>

Effect of timing and duration of combined heat and drought stress on oilseed rape (*Brassica napus* L.)

Dima Sabboura¹, El Sayed El Habbasha², Doreen Gabriel³, Timo Kautz⁴
and Til Feike¹

¹Julius Kühn Institute (JKI) – Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Strategies and Technology Assessment, Kleinmachnow

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

³Julius Kühn Institute (JKI) – Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Crop and Soil Science, Braunschweig

⁴Humboldt-Universität zu Berlin, Division of Crop Science, Berlin

E-Mail: Dima.Sabboura@julius-kuehn.de

Introduction

In the course of the ongoing climate change and respective global warming the frequency and intensity of extreme weather events like heat and drought are increasing (Lüttger & Feike, 2018). Oilseed rape (OSR; *Brassica napus* L.) as an important temperate climate oil crop is more and more struggling with adverse weather events and abiotic stress induced yield losses. Previous studies identified negative effects of heat stress (e.g., Koscielny et al., 2018; Wu & Ma, 2018) and drought stress (e.g., Hess et al., 2015; Saja-Garbarz et al., 2021) on yield formation and related physiological processes. As co-occurrence of heat and drought is common in many global agricultural production regions (Hao et al., 2018), it is important to investigate their compound effect on OSR. Therefore this study aims at investigating the single and combined effects of heat and drought stress on crop morphology, physiology, and yield formation under consideration of timing and intensity of stress.

Material and Methods

A pot experiment was conducted in the experimental facilities at Julius Kühn Institute in Kleinmachnow. The common German spring OSR cultivar Ability was planted in 2L pots filled with local topsoil. Four experiment factors were tested in combination. First, heat stress was applied at five levels, i.e., outside, 24°C / 16°C, 30°C / 16°C, 34°C / 16°C and 38°C / 16°C. Heat stress treatments were conducted in four controllable greenhouse-chambers, with daytime temperatures applied for 14 hours with four hours adjustment period. Second, drought stress was applied at two levels, i.e., without drought stress, where plant available water (PAW) was maintained above 60% plant available water capacity (PAWC) and with drought stress where PAW was maintained below 20% PAWC. Third, we investigated the effect of treatment timing at flowering stage (BBCH 61) vs. seed filling stage (BBCH 75), and fourth, we tested the effect of treatment duration at two levels of 6 days vs. 12 days. We conducted separate assessment for the main branch, as well as the first and second side branch and the rest of the branches. Among others, we assessed seed yield, number of siliques, seeds per silique and thousand kernel mass. We further assessed oil and protein content as well as fatty acid composition using near infrared spectroscopy (Hom et al., 2007). For statistical analysis we used mixed linear models in R.

Results and Discussion

We found that all experiment factors exerted significant effects on different yield related traits. Stress duration was generally of minor importance; only yield reduction through drought stress at flowering stage was significantly stronger after 12 days compared to 6 days at all branches. Heat stress effects can be recognized starting from 30°C and intensifying at 34°C and 38°C. Drought stress acted generally stronger during flowering stage compared to seed filling stage.

Especially striking was the effect of timing of stress. Heat stress during flowering caused flower abortion on the main stem leading to significantly lower number of siliques, number of seeds and seed yield on the main stem. However, those plants overcompensated for the early stress by developing additional siliques, with more (though smaller) seeds and respectively more seed yield on the lower side branches. We can see that OSR has specific potential to compensate for extreme stress during flowering stage. Analysis of seed size distribution and fatty acid composition provide deeper insights into the effects and mechanisms of combined heat and drought stress.

Acknowledgement

This research was funded by the German Egyptian Research Fund (GERF), co-financed by Egyptian Ministry of Higher Education and Scientific Research (MoHESR) and the German Ministry of Education and Research (BMBF; FKZ 01DH18024).

References:

- Hao, Z., Hao, F., Singh, V.P., Zhang, X. (2018) Changes in the severity of compound drought and hot extremes over global land areas. *Environmental Research Letters* 13(12),124022.
- Hess, L., Meir, P., Bingham, I.J. (2015) Comparative assessment of the sensitivity of oilseed rape and wheat to limited water supply. *Annals of Applied Biology* 167(1), pp. 102-115.
- Hom, N.H., Becker, H.C., Möllers, C. (2007) Non-destructive analysis of rapeseed quality by NIRS of small seed samples and single seeds. *Euphytica* 153(1-2), pp. 27-34.
- Koscielny, C.B., Hazebroek, J., Duncan, R.W. (2018) Phenotypic and metabolic variation among spring *Brassica napus* genotypes during heat stress. *Crop and Pasture Science* 69(3), pp. 284-295.
- Lüttger, A.B., Feike, T. (2018) Development of heat and drought related extreme weather events and their effect on winter wheat yields in Germany. *Theoretical and Applied Climatology* 132(1-2), pp. 15-29.
- Saja-Garbarz, D., Ostrowska, A., Kaczanowska, K., Janowiak, F. (2021) Accumulation of silicon and changes in water balance under drought stress in *brassica napus* var. *napus* L. *Plants* 10(2), 280, pp. 1-14.
- Wu, W., Ma, B.-L. (2018) Assessment of canola crop lodging under elevated temperatures for adaptation to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 248, pp. 329-338.

A review on model-based development of drought-tolerant cereal ideotypes

Asmae Meziane¹, Veronic Grätz², Andrea Matros², Gwendolin Wehner², Susanne Bleser³, 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, Quedlinburg; E-Mail: asmae.meziane@julius-kuehn.de

Introduction

Climate models are predicting a spiraling trend in global mean temperatures and altered precipitation patterns. Global agricultural total factor productivity has reduced by 21% since 1862, based on estimations by Ortiz-Bobea et al. (2021). Moreover, Armada Brás et al. (2021) estimate an increase in a cereal production loss of 3% per year due to increasing drought stress. While the continuous elevation of atmospheric CO₂ excerpts positive effects on global cereal production, increasing yield losses due to heat and drought stress, including negative effects on grain quality (reduced protein and mineral content) are to be expected (Ben Mariem et al., 2021).

To increase climate resilience of cereal production, it is crucial to understand the most affected processes in crop production and develop respective adaptation strategies. Crop modeling is a tool that allows investigating the genotype * environment * management interactions by simulating the plant-soil-atmosphere system. Crop models can simulate crop growth under future climatic conditions by performing *in silico* experiments. Climate change adaptation options can be investigated, including the design of novel genotypes better adapted to future climate, i.e., crop ideotypes. In the present study, we highlight and discuss the basic operations required for designing and developing drought-tolerant cereals: phenotyping, genotyping, and ideotyping for drought tolerance. We review recent scientific advancements and related challenges. We further explore the required linkages between these three operations and how they can be utilized to shape the crops of the future.

Phenotyping, genotyping, and ideotyping

An ideotype is a model plant defined on a set of crop and cultivar-specific parameters that control crop development and growth in different environments (Rötter et al., 2015). These parameters describe morphological, physiological, and phenological traits; for an ideotype, they are combined to optimize crop performance in a particular biophysical environment and crop management situation for a specific end-use (Martre et al., 2015). Phenotyping and genotyping results constitute the base providing guidance to identify and optimize parameters of desirable ideotypes.

Phenotypic data is a result of screenings for physiological, morphological, and phenological traits contributing to drought tolerance and recovery. These results are used as an input to design a model build ideotype. Phenotyping captures the timelines of ongoing variations that a species, a population, or an individual undergo during its development under certain environmental conditions. Phenotypic experiments provide a base to define growth and yield parameters of ideotypes and plausible/optimal range of values.

Genotyping, on the other hand, can provide crop modelers input that is more detailed. Breeders use genomics to define the genetic composition, point out

meaningful mutations, describe their functions in the expression of qualitative and quantitative traits, and clarify the links and interactions between target genotypes (G*G) and interactions between genotypes * environment. Genotyping creates a roadmap for future phenotyping and ideotyping.

To create genotypes adapted to future climates, we need to place emphasis on the variations caused by the interactions between genotypes and environments. The accurate representation of the target environments is crucial to have reliable results. That is reached by collaborations of breeders, agricultural engineers, and crop modelers, combining phenotyping, genotyping, and crop modeling tools.

Conclusion

Crop models aid ideotyping, as they allow to simulate crops in a multitude of environments and build ideotypes that could be used as a base for breeders to develop genotypes adapted for future climates. Nevertheless, it is challenging to transfer the knowledge created by crop modelers to geneticists. In addition to empirical data, the crop model should consider the variations among genotypes and the impact of the interactions of genetic traits and the environment on the physiological processes, especially necessary when plant breeding is used to face climate change.

References

- Armada Brás, T., Seixas, J., Carvalhais, N., & Jägermeyr, J. (2021). Severity of drought and heatwave crop losses tripled over the last five decades in Europe. *Environmental Research Letters*, 16, 65012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf004>
- Ben Mariem, S., 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*, 10(6), 1052. <https://doi.org/10.3390/plants10061052>
- Martre, P., Quilot-Turion, B., Luquet, D., Memmah, M. M. O. S., Chenu, K., & Debaeke, P. (2015). Model-assisted phenotyping and ideotype design. *Crop Physiology – Applications for Genetic Improvement and Agronomy*, Second Edition, 349–373. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417104-6.00014-5>
- 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*, 11(4), 306–312. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>
- Rötter, R. P., Tao, F., Höhn, J. G., & Palosuo, T. (2015). Use of crop simulation modelling to aid ideotype design of future cereal cultivars. In *Journal of Experimental Botany*, 66(12), 3463–3476. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv098>

Evaluation of growth and yield performance of medium duration pigeonpea (*Cajanus cajan*) under drought stress

Samuel Murachia Kamau, Dany Moualeu-Ngangué and Hartmut Stützel

Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover, Herrenhuser Strasse 2, Hannover; E-Mail: kamau@gem.uni-hannover.de

Introduction

A genotypic variation in pigeonpea response to drought stress is extensively shown by literature. This response is related to the fraction of transpirable soil water (FTSW). FTSW is a good estimate of plant water stress status as it combines the reduction of soil water due to root uptake and transpiration flux (Rallo et al., 2018). In African nightshade species, plants showed a decline in stem elongation rate, leaf expansion and stomatal conductance upon attainment of a certain threshold of FTSW (Masinde et al., 2006). These processes are necessary for yield formation. In pigeonpea the potential transpiration was maintained until the fraction of transpirable soil water declined to 30% (Sinclair & Ludlow, 1986). Retention of leaf water content in pigeonpea above a critical value was attributed to osmotic adjustment and a reduction in node growth observed in pigeonpea due to drought stress partly attributed to a high dehydration tolerance and osmotic adjustment (Kimani et al., 1994; Likoswe & Lawn, 2008). Osmotic adjustment is beneficial for sustenance of important metabolic processes and therefore contributing to grain yield at certain stages of growth (Subbarao et al., 2000). Understanding drought threshold levels at which different mechanisms in pigeonpea respond to drought stress can be used to simulate various drought scenarios and to predict the corresponding yield. This can be used to improve the crop management strategy in order to obtain optimal yield. The objectives of this study were therefore to, (i) determine the soil water threshold in pigeonpea for optimal yield, (ii) determine the minimum soil water threshold level that morphological and physiological traits respond to declining soil moisture level and (iii) evaluate the response of different genotypes in traits associated with water use under water stress (stomatal conductance and osmotic adjustment).

Method

A greenhouse pot experiment was conducted at Leibniz University Hannover in the Institute of Horticultural Production Systems at Herrenhausen (52.20N, 54masl). Three medium duration pigeonpea genotypes (ICEAP 00554, ICEAP 00850 and ICEAP 00911) bred and improved by the International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) were grown in 20cm diameter by 1.2-meter-high PVC tubes under water-deficit (WD) and well-watered (WW) treatments in a split plot design with three replications. From sowing to fifth leaf stage, the tubes were maintained at 70% soil water holding capacity. At the fifth leaf stage, irrigation was raised to water holding capacity for both treatments. Irrigation was withheld for WD treatment until the daily evapotranspiration of WD declined from 1.0 to below 0.1 WW, while that of WW was maintained close to field capacity for the duration of the experiment. Soil moisture level was determined by taking the weight of the tubes thrice a week. An additional tube was maintained with no plant to determine water loss due to evaporation. Daily evapotranspiration rate was monitored by weighing the tubes thrice a week. Morphological response was monitored by counting leaf numbers and measuring stem length weekly and relating the change to accumulated

thermal units during the period. Physiological responses were monitored by measuring stomatal conductance and relating it to transpirable soil water in WD treatment. Upon decline of relative evapotranspiration to 0.1 of WW, leaf core samples were collected from the youngest fully expanded leaf for determination of relative water content and osmotic adjustment.

Results and discussion

Stomatal conductance declined when FTSW threshold levels of between 0.8 to 0.49 were reached. Stem elongation rate declined when a FTSW declined to 0.86 to 0.55. Leaf appearance rate declined when a FTSW threshold of 0.67 to 0.45 was reached. Genotype ICEAP 00850, which responded to decline in soil moisture at higher FTSW threshold level showed a more gradual decline in relative performance with respect to stomatal conductance. It is possible that genotypes that show early response to decline in stomatal conductance are adaptive to drought conditions through drought avoidance. There was a 40-51% decline in shoot biomass due to drought stress, a much higher decline than reported in literature. Osmotic adjustment of 0.27 to 0.74 MPa was observed. This is slightly higher than that reported in literature of 0.1 to 0.5 MPa (Subbarao, et al., 2000). Root morphology observation revealed deeper root branching from 50cm depth and below in WD compared to under water watered condition in the three genotypes. Further evaluation of root biomass will perhaps reveal if a higher biomass partitioning to roots is a strategy adopted by pigeonpea in maximizing water exploitation from lower soil depth under drought stress.

Literature

- Kimani, P. M., Benzioni, A., & Ventura, M. (1994). Genetic variation in pigeon pea (*Cajanus cajan* (L .) Mill sp .) in response to successive cycles of water stress. *Plant and Soil*, 158(2), 193–201.
- Masinde, P. W., Stützel, H., Agong, S. G., & Fricke, A. (2006). Plant growth, water relations and transpiration of two species of African nightshade (*Solanum villosum* Mill. ssp. *miniatum* (Bernh. ex Willd.) Edmonds and *S. sarrachoides* Sendtn.) under water-limited conditions. *Scientia Horticulturae*, 110(1), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.06.003>
- Rallo, G., Provenzano, G., Castellini, M., & Sirera, À. P. (2018). Application of EMI and FDR sensors to assess the fraction of transpirable soil water over an olive grove. *Water (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/w10020168>
- Sinclair, T. R., & Ludlow, M. M. (1986). Influence of Soil Water Supply on the Plant Water Balance of Four Tropical Grain Legumes. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13(3), 329–341.
- Subbarao, G. V., Nam, N. H., Chauhan, Y. S., & Johansen, C. (2000). Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeonpea under water deficits. *Journal of Plant Physiology*, 157(6), 651–659. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80008-5)
- Subbarao, G. V., Chauhan, Y. S., & Johansen, C. (2000). Patterns of osmotic adjustment in pigeonpea - Its importance as a mechanism of drought resistance. *European Journal of Agronomy*, 12(3–4), 239–249. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00050-2)

Autorenverzeichnis

Ahrends H.....	68	Callau-Beyer A.....	259, 265, 267
Amelung W.....	217	Castell A.....	116
Andermann L.....	144	Chen T.-W.	42, 68, 191
Andert S.....	36	Chmelíková L.....	126, 128
Appel T.....	142	Cordes I.....	74
Arnhold J.....	247, 253	Cornelsen H.....	197
Assmann D.....	154	de Kock A.....	189
Athmann M.....	82, 255	Dechow R.....	88, 167
Bachmann-Pfabe S.....	80, 159, 251	Dehmer K.J.....	80, 159, 251
Backes M.....	150	Dittmann L.....	161
Balko C.....	231	Dobers E.S.	46, 219, 229
Ballvora A.....	191	Dobos G.....	195
Bauerle A.....	175	Dominic A.R.....	189
Baum C.....	9	Donauer J.....	144
Beck M.....	177	Dönmez C.....	130
Beiküfner M.....	112, 148, 155	Döring T.F.....	68, 97, 217, 255
Bellingrath-Kimura S.D.	50, 97	Ebertseder T.....	28
Bergjord Olsen A.K.....	185	Eckl T.....	116
Berg-Mohnicke M.....	54	Eder B.....	275, 277
Bergmüller K.....	60	Eichler-Löbermann B.....	159
Bevivino A.....	122	Eißner F.....	154
Bischoff J.....	82	Eitzinger J.....	58
Bleser S.....	283	El Habbasha E.S.	60, 281
Blings M.....	233	Elfers J.....	203
Blossei J.....	132	Elsalahy H.H.....	97
Blum H.....	70	Essich L.....	90
Böhm H.....	20, 72, 74, 239	Eugster W.....	68
Bönecke E.....	183	Ewert F.....	217
Boote K.J.....	60	Feike T.	40, 48, 60, 185, 189, 205, 249, 281, 283
Borm C.....	173	Finckh M.R.....	76, 124, 193
Böttcher F.....	154	Fishkis O.....	44
Braun-Kiewnick A.....	247	Fleißner K.....	273
Brock C.....	255	Frank M.....	78
Brokötter J.....	157	Frei M.....	181, 211
Broll G.....	148	Fricke A.....	227
Brüggemann N.....	247	Friedel J.K.....	110
Bühlmeyer J.....	112	Friedt W.....	191
Bukowiecki J.....	38	Fromme J.....	249
Bulll.....	146	Gabriel D.....	235, 249, 281
Bülow L.....	271	Gaiser T.....	217
Bund A.....	271	Garcia-Jimenez F.....	279
Burgel L.....	92	Gerighausen H.....	221
Burgstaler J.....	177	Gerten D.....	10
Burmeister J.....	213	Giongo A.....	247
Busch S.....	140	Golla B.....	189
Butz A.....	263	Gollner G.....	110
Cai D.....	247		

Görres C.-M.....	142	Junge S.M.....	76, 124
Götze P.....	34	Kage H.....	30, 32, 38, 56, 88, 90, 157, 167, 191, 247, 257
Grafe M.....	9	Kahlert L.....	233
Grahmann K.....	217, 243	Kaloterakis N.....	247
Graß R.....	239	Kamau S.M.....	285
Grätz V.....	283	Kämpfer T.....	235, 271
Greef J.-M.....	235	Kaspar M.....	28
Greve M.....	203	Kaul H.-P.....	187, 195
Gronauer A.....	187	Kautz T.....	60, 97, 171, 173, 281
Grosse M.....	130	Kavka M.....	80, 251
Großhauser M.....	277	Kayser M.....	136, 150
Gruber H.....	165	Kellermann A.....	28
Grunert M.....	154	Kemper R.....	255
Grunwald D.....	34, 247, 253	Khalil H.E.....	215
Gurgel A.....	140, 201	Kheir A.....	60
Gutiérrez N.....	231	Kilian L.....	193
Haak A.....	193	Kirchgesser J.....	80, 251
Hackauf B.....	40, 185, 249, 271	Klingbeil L.....	217
Hadasch S.....	40, 68	Klocke B.....	205
Hagemann D.....	112	Kluß C.....	16, 18
Hagn L.....	225	Knapp S.....	68, 100
Halwani M.....	50	Knoop S.-K.....	64
Hamann T.....	132	Koch H.-J.....	34, 44, 247, 253
Hampf A.C.....	54	Kölpin F.....	231
Han E.....	255	Komainda M.....	108
Hartl L.....	271	Kopenhagen T.....	78
Hazarika M.....	80, 251	Koppensteiner L.J.....	187
Heiles E.....	116, 120	Korn K.....	80
Henzel D.....	76, 124	Korte C.....	203
Hermann D.....	48	Koslowski J.....	171
Hernández-Ochoa I.M.....	217	Kottmann L.....	48, 185, 249, 271
Hett J.....	122	Kraska T.....	233
Hierold W.....	62, 130	Kreuter T.....	154
Hillebrand S.....	233	Krieger J.....	221
Hofmann H.H.....	237	Kucherova V.....	249
Holzgreve H.....	20, 74	Kühling I.....	32, 112, 148, 155
Holzhauser K.....	90, 257	Kühne S.....	243
Honermeier B.....	62, 64, 134, 211	Kukowski S.....	157
Honsdorf N.....	247	Kurz S.....	152
Höppner F.....	20, 179	Laidig F.....	40, 68
Horn S.-I.....	239	Lehmhus J.....	241
Hu Y.....	159	Leinweber P.....	9
Hülsbergen K.-J.....	22, 24, 66, 84, 126, 128, 138, 144, 225	Léon J.....	191
Isselstein J.....	108, 136, 150	Leseberg C.....	183
Jabs K.....	148	Leßke F.....	138
Jarmer T.....	114	Lewandowski I.....	175
Jobst F.....	239	Ley A.....	124
Jorzig C.....	189	Ley J.....	233
Jung R.....	52	Lieb R.....	48, 205
Jungbluth J.....	52	Liermann R.....	161

Limpächer S.K.	229	Pahlmann I.	30, 32, 90
Linkies A.	283	Palka M.	58
Linstädter A.	68	Pätzold S.	217
Loges R.	18	Peters J.	86, 169
Loza C.	18	Pfarr D.	217
Ludwig J.	128	Pfeffer H.	54
Luhmer K.	70	Piepho H.-P.	40, 68
Macholdt J.	62, 68	Plass M.	76
Mahnke B.	161	Pohlmeier A.	247
Maidl F.-X.	22, 28, 225	Polkowski C.	52
Malisch C.	18	Posch S.	48
Manschadi A.M.	58	Poyda A.	16
Matros A.	283	Pronkow K.	247
Matzdorf B.	54	Puckhaber J.	88
Mayr M.	239	Pude R.	70, 203, 233
Mburu M.M.	259, 265, 267	Pundt H.	154
Memic E.	60, 185, 189	Qaim M.	1
Merl S.	90	Räbiger T.	90
Mešinović E.	171	Radtke O.	82
Meziane A.	283	Rascher U.	217
Mittermayer M.	22, 24	Rashtbari M.	247
Mohler V.	271	Raubitzek S.	187
Moll M.D.	233	Razavi B.S.	247
Möller D.	193	Reckling M.	50, 68, 207
Möller K.	14, 26, 209, 263	Reinsch T.	16, 18
Mösl T.	66	Rentel D.	40
Moualeu-Ngangue D.	223, 279, 285	Rethmeyer H.	150
Müller B.	175	Rettig A.M.	243
Müller J.	161	Reuter T.	114
Müller T.	175	Reutter M.	54
Müller-Lindenlauf M.	14, 152	Riebe K.	140
Muskolus A.	171	Riedesel L.	40
Nahrstedt K.	114	Rinke N.	72
Nasser R.R.	88, 167	Roscher R.	217
Nasser V.	90	Rose M.	30
Nätscher L.	22	Rose T.	38, 103, 191
Nawar A.I.	215	Roß C.	245
Nehl M.	134	Roß C.-L.	173
Nendel C.	54	Rothardt S.	56
Neubauer T.	58, 187	Rouhiainen J.	88, 167
Neugschwandtner R.W.	187, 195	Roux S.	20, 74, 177, 179
Neuhoff C.	237	Rücknagel J.	199
Neuhoff D.	52, 122	Rühl G.	235
Neukam D.	88, 167	Rusch C.	82
Niggli U.	5	Sabboura D.	60, 281
Notz I.	207	Sabir K.	191
Oltmanns M.	255	Salama H.S.A.	215
Omari R.A.	50	Salzeder G.	116
Ordon F.	191	Schaper I.	90
Owino L.	261	Schellander K.	237
Paap V.	80	Schemmel M.	247

Schiffers K.....	68	Tung S.-Y.....	273, 275, 277
Schlathölter M.....	90	Uhlig K.....	199
Schloter M.....	9	Ullah S.....	247
Schmid H.....	66, 84, 144	Uptmoor R.....	80, 132, 251
Schmid J.....	70	Urbatzka P.....	116, 118, 120, 239
Schmidt F.....	239	Vahl W.....	273, 275
Schmitt A.....	283	Vaziritabar Y.....	211
Schmitz C.....	122	Vergara M.....	148, 155
Schmitz S.....	227	Villwock D.....	152
Schneider J.....	201	Vitow N.....	9
Schneider R.....	120	Vogel H.....	173
Schneider S.....	58	Völkering G.....	203
Schnepf A.....	247	von Kameke A.....	108
Schram M.....	263	Waalén W.....	185
Schulz S.....	9	Wachendorf M.....	239
Schulz V.S.....	14, 209	Wachter L.....	277
Schumann C.....	14	Wagentristl H.....	187, 195
Schuster J.....	22, 24	Walter R.....	213
Schwarz J.....	205	Wang T.-C.....	42
Schwarze E.-C.....	233	Weber J.....	269
Shaalán A.M.....	163	Weber R.....	78
Shawon A.R.....	60, 185, 189	Weckesser F.....	138
Siebert S.....	52	Weedon O.....	193
Siegmeier T.....	193	Weggler K.....	269
Sieling K.....	30, 32	Wehner G.....	283
Sieve F.....	136	Weier B.K.....	219
Skinner R.H.....	16	Weihs P.....	187
Smalla K.....	247	Weiler C.....	76
Snowdon R.J.....	191	Weisenburger S.....	14, 26, 209
Söffker D.....	261	Weller J.....	241
Spott O.....	154	Weßler C.-F.....	259, 265, 267
Stahl A.....	191	Wever C.....	203
Stassen M.....	237	Wiedow D.....	20, 177
Stockfisch N.....	245	Wilken F.....	136
Stolzenburg K.....	14, 26, 209	Willner E.....	159
Stracke A.....	90	Winkhart F.....	84
Strassemeyer J.....	189	Wittkop B.....	191
Strenner M.....	126, 128	Wittstruck L.....	114
Stribny K.....	239	Wolfrum S.....	213, 273, 275, 277
Struck I.J.....	16	Wrage-Mönnig N.....	197
Stumpf B.....	62, 64, 134	Yan F.....	64, 134, 211
Stützel H.....	42, 183, 191, 223, 227, 259, 265, 267, 279, 285	Zaar A.....	231
Surböck A.....	110	Zacher A.....	9
Taube F.....	16, 18	Zeibig F.....	181
Thiel E.....	154	Zetsche H.....	191
Tholen E.....	237	Zhou Z.....	247
Titze A.....	165	Ziesemer A.....	36
Trautz D.....	112, 114, 148, 155	Zott S.....	118