

**Mitteilungen der
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften
Band 23**

Stickstoff in Pflanze, Boden und Umwelt

Gemeinsame Tagung der
Deutschen Gesellschaft für Pflanzenernährung e. V. und der
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Beiträge in ausschließlicher, wissenschaftlicher Verantwortung der jeweiligen Autoren
--

Deutsche Gesellschaft für Pflanzenernährung e. V.

Präsident: Prof. Dr. K. H. Mühling
Geschäftsführer: Prof. Dr. K. Dittert

Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Präsident: Prof. Dr. O. Christen
Geschäftsführer: Prof. Dr. B. Märländer

Geschäftsstelle:
Institut für Zuckerrübenforschung
Holtenser Landstr. 77
37079 Göttingen
Tel.: +49 551 505 62-0, Fax: +49 551 505 62-99
E-Mail: maerlaender@ifz-goettingen.de

Gemeinsame Tagung
Deutsche Gesellschaft für Pflanzenernährung e. V.
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

sowie

54. Jahrestagung der GPW

27. bis 29. September 2011

Kiel

Stickstoff in Pflanze, Boden und Umwelt

Kurzfassungen der Vorträge und Poster

Herausgeber

B. Märländer, O. Christen, K. Dittert, K. H. Mühling,
S. v. Tiedemann und A. Düker
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Verlag Liddy Halm
Göttingen 2011

Wir danken für die finanzielle Unterstützung:

Gefördert durch:



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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: Verlag Liddy Halm, Backhausstr. 9b, 37081 Göttingen

Inhaltsverzeichnis

Plenarvorträge: Stickstoff in Pflanze, Boden und Umwelt

Schmidhalter U.: N-Düngung – Präzisionsdüngung und Gießkannenprinzip.....	1
Wahmhoff W.: Stickstoffdüngung aus Umweltsicht	7
Pawelzik E.: Beitrag der Stickstoffversorgung zur Produktqualität bei Getreide und Kartoffeln	13
Schnyder, H.: N-Haushalt in Kulturpflanzen*	
Kage H.: Interaktion von N- und Wassernutzungseffizienz.....	19
Horst, W.: Effizienz der N-Düngung*	
Cramer, F.: Stickstoff im Spannungsfeld der Rechtsetzung.....	283

Parallelsektion: N-Düngung & Effizienz

Gajić A., H.-J. Koch: Sind negative Effekte von HTC-Biokohle auf das Zuckerrübenwachstum durch eine verminderte Stickstoffverfügbarkeit bedingt? .	24
Jacobs A., H.-J. Koch: Vorfruchtwirkungen von Winterweizen, Körnermais, Körnererbse und Winterraps auf Zuckerrüben	26
Fuchs M., C. Schuster, T. Kreuter: Senkung von N-Verlusten und Erhöhung der Dünger-N-Effizienz durch Mineraldünger mit Nitrifikationsinhibitoren.....	27
Makary T., S. Hubert, R. Schulz, K. Hartung, M. Mokry, H.-P. Piepho, T. Müller, C. Pekrun: Ist eine Aufteilung der Stickstoffdüngung für hohe Erträge und Qualitäten bei Winterweizen notwendig? Exaktversuche in Südwest- deutschland	29
Weidemann C., K. H. Mühling: Wirkung N-haltiger Düngemittel auf Boden- und Rhizosphären-pH sowie auf die Mn-Gehalte von Boden und Winterweizen im Feldversuch.....	31
Heuwinkel H., J. Kreppold, U. Schmidhalter, T. Ebertseder: N-Umsatz im Boden nach Applikation verschiedener N-Dünger im Ökologischen Freiland- gemüseanbau.....	33

Parallelsektion: Umweltwirkungen

Techow A., R. Quakernack, A. Pacholski, H. Kage, F. Taube, A. Herrmann: Biogas-Expert: Kurzfristige N-Düngewirkung von Biogas-Gärresten verschie- dener Biogasproduktionssysteme auf einem Marschstandort	35
Schuster C., T. Kreuter, M. Fuchs: N-Verlustwege und N-Verlustpotentiale unterschiedlicher N-Düngerformen und Möglichkeiten der Beeinflussung	37
Hartmann T., R. Schulz, T. Müller, C. Xingping, Z. Fusuo: Alternative Stickstoff- Düngestrategien zu einer Weizen/Mais- Doppelfruchtfolge in der Nordchinesischen Tiefebene	39
Möller K., R. Schulz, T. Müller: Nährstoffinputs, -outputs und N-Verluste zentral betriebener NawaRo-Biogasanlagen im süddeutschen Raum	41
Senbayram M., J. R. Köster, K. H. Mühling, K. Dittert: Processes and drivers of N ₂ O emissions from soils after application of organic fertilizers such as biogas residues.....	43

Wagner B., B. Pfützner, H. Ihling, B. Klöcking, G. Knab, K. Kuhn, M. Steininger, D. Wenske: Konzept für die gekoppelte Stofftransportmodellierung im Sicker- und Grundwasser - ReArMo.....	45
--	----

Parallelsektion: Qualität

Athmann M., A. Cortinas Vicent, U. Köpke: Einfluss von Einstrahlungsintensität, Stickstoffangebot und Düngungsart auf Rohprotein, Reineiweiß, freie Aminosäuren und freies Asparagin in Sommerweizenkaryopsen.....	47
Starke P., C. Hoffmann: Ertrag und Qualität von Zucker- und Futterrüben	49
Krieger J., F. Ellmer, M. Baumecker, A. Musculus: Einfluss von Umwelt, Sorte und N-Düngung auf Ertrag und Qualität verschiedener Zuckerrübensorten auf sandigen Standorten	51
Bermejo G., F. G. Ellmer: Gärprodukte aus der Biogasproduktion als Düngestoffe im Pflanzenbau: Einfluss auf die äußere und innere Qualität von Winterweizen..	53
Yan F., S. Janke, M. Schwarz, S. Zeller, B. Honermeier: Phenolsäuregehalte und antioxidative Kapazität von <i>Origanum vulgare</i> L. – Analyse eines Genbank-sortimentes.....	55
Honermeier B., N. Engert, J. Gilli, K. Müller, F. Yan: Kornqualität und Phenolgehalte im Weizen (<i>Triticum aestivum</i> ssp. <i>aestivum</i> L.) unter dem Einfluss von N-Düngung und Sorte	57

Parallelsektion: Physiologie

Landgraf A., K. Schmidtke: Quantifizierung der N-Rhizodeposition im Gefäßversuch unter Freilandbedingungen	59
Kupisch M., M. Langensiepen, M. van Wijk, A. Stadler, F. Ewert: Comparative analysis of spatio-temporal patterns of carbon and water fluxes in production fields of winter wheat and sugar beet.....	61
Böttcher U., H. Kage: Analyse von Wachstum und N-Aufnahme vor Winter mit einem dynamischen Winterrapsmodell.....	63
Eichert T.: Aufnahme von Nährstoffen durch Blattoberflächen – von Mythen, Dogmen und Legenden.....	65
Yang H., J. v. d. Fecht-Bartenbach, U. Ludewig: Auxin-mediated ammonium toxicity in Arabidopsis roots.....	67
Bauer, B., v. Wirén, N.: Influence of nitrogen forms on tillering, cytokinin translocation and yield in cereal crop plants*	

Workshop: Ackerbau

Gäbert T., F. Ellmer, M. Baumecker: Beziehungen zwischen organischer Bodensubstanz und bodenphysikalischen Parametern auf einem leicht schluffigen Sandboden.....	69
Gronle A., H. Böhm: Vergleich von flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung beim Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer	71
Lux G., K. Schmidtke: Wirkungen mechanischer Bodenbelastung nach unterschiedlicher Intensität der Bodenbearbeitung auf Sprossertrag, N-Ertrag und symbiotische N ₂ -Fixierleistung von Körnererbsen.....	73
Scholl P., G. Bodner, W. Loiskandl, H.-P. Kaul: Einfluss von Zwischenfruchtwurzeln auf hydraulische Bodeneigenschaften	75

III

Stieber J., K. Schmidtke: Einfluss einer differenzierten Grundbodenbearbeitung auf die Ertragsbildung im Fruchtfolgeglied Erbse - Winterweizen	77
Kielhorn A., H. von Dressler, S. Hinck, P. Kues, K. Mueller, V. Stillger, D. Trautz: Teilflächenspezifische Abschätzung des potentiellen Stickstoffaustrags aus landwirtschaftlichen Nutzflächen	79

Workshop: Grünland & Bioenergie I

Harndorf J., T. Fricke, W. W. Weisser, A. Weigel, M. Wachendorf: Verbrennung von Biomasse extensiven Grünlands: Korrosions- und Emissionsrisiken in Abhängigkeit der Diversität und der funktionellen Gruppen	81
Hensgen F., L. Bühle, I. Donnison, K. Heinsoo, M. Wachendorf: Verbesserung der Brennstoffeigenschaften von Grünlandbrennstoffen durch Maischung und mechanische Entwässerung.....	83
Bühle L., A. Urban, F. Hensgen, I. Donnison, K. Heinsoo, M. Wachendorf: Technische und ökologische Aspekte der Produktion und Verwertung von Festbrennstoff aus Biomasse von Extensivgrünland.....	85
Schellberg J., J. Isselstein: Führen funktionale Merkmale zu einem besseren Verständnis der Pflanze-Umwelt-Beziehungen?	87
Reddersen B., T. Fricke, M. Wachendorf: Einfluss des NIRS-Verfahrens auf die Kalibrationsgüte von Stickstoff-, NDF- und Aschegehalten in Heu.....	89

Workshop: Bioenergie II

Seidel A., A. Pacholski, K. Sieling, H. Kage: Ertragsbildung und N-Bedarf von GPS-Getreide an einem Lehmstandort Schleswig-Holsteins	91
Gaudchau M., B. Honermeier: Biomasseerträge und Biogasausbeute von Sorghum (<i>Sorghum</i> sp.) - Ergebnisse aus Sortenversuchen	93
Winterhalter L., B. Mistele, S. Jampatong, U. Schmidhalter: Hochdurchsatz-erfassung agronomisch wichtiger Parameter von Maissorten im vegetativen Stadium.....	95
Reinsdorf E., H.-J. Koch: Einfluss der Einzelpflanzengröße auf die Winterhärte von Winterrüben (<i>Beta vulgaris</i>).....	97
Leschhorn B., B. Honermeier: Trockenmasseerträge und Biogasausbeute von Sommerzwischenfrüchten der <i>Brassicaceae</i>	99

Workshop: Modellierung

Kahlen K., D. Wiechers, H. Stützel: Anpassung der Pflanzenmorphologie in Beständen	101
Krüger J., U. Franko, U. Werban, M. Pohle, J. Fank, E. Stetzel: Modellierung von Pflanzendynamik mit dem Pflanzenmodul PLUS im Modell CANDY.....	103
Wiechers W., K. Kahlen, H. Stützel: Evaluierung der Lichtverteilung in räumlich heterogenen Beständen	106
Langensiepen M., M. Kupisch, A. Stadler, M. van Wijk, F. Ewert: Application of closed-chamber measurements for screening canopy gas-exchange.....	108
Neukam D., U. Böttcher, H. Kage: Modellierung der Bestandestemperaturen von Winterweizen.....	110

IV

Sommer H., G. Leithold: Vergleich unterschiedlicher Stickstoff-Bilanzierungsmethoden im Rahmen einer 14-jährigen Fallstudie zur Entwicklung der Stickstoffsalden auf dem Ackerland	112
--	-----

Workshop: Produktionssysteme

Steinmann H.-H.: Fruchtfolgen, Anbaumuster und Fruchtartenkombinationen in Norddeutschland – dargestellt anhand flächenscharfer Nutzungsdaten	114
Sommer H., G. Leithold: Die Stickstoffbilanz auf der Nicht-Leguminosenfläche – ein geeignetes Instrument zur Beurteilung der N-Effizienz eines Betriebsystems?	116
Sayer J., G. Barthelmes, F. Ellmer: Ökostabilität von Winterweizen unter Standortbedingungen Brandenburgs	118
Ijaz M., B. Honermeier: Effect of triazoles and strobilurins on seed yield and grain quality of winter rapeseed under two levels of sulphur fertilization	120
Zerche S., D. Lohr, E. Meinken, U. Drüge: Präzisierte N-Düngung bei globalisierter Jungpflanzenproduktion von Zierpflanzen.....	122
Sung Y.-H., B. Honermeier: Wurzelerträge und Wirkstoffgehalte von Chinesischem Salbei (<i>Salvia miltiorrhiza</i> Bunge)	124

Vorträge im Wettbewerb der GPW: Ernst-Klapp-Zukunftspreis

Knörzer H.: Koexistenz auf dem Feld: Evaluierung, Modellierung und Bewertung von Intercropping Systemen in China – ein Beitrag zur Theoriebildung und Datensimulation.....	126
Wünsch K.: Erstellung und Optimierung von Anbaukonzepten für die Biogasproduktion in Baden-Württemberg.....	130
Feike T.: Grasping the complexity of intercropping – Developing and testing an integrated decision support system for vegetable production in the North China Plain	134
Wienforth B.: Modellgestützte Analyse von Pflanzenanbausystemen für die Biogasproduktion.....	138

Poster Gruppe 1: Physiologie

Ulas A., T. Behrens, F. Wiesler, W. J. Horst, G. Schulte auf m Erley: Influence of N fertilization and genotype on N retranslocation during reproductive growth in oilseed rape.....	142
Daum D., S. Dinklage, C. Landvogt: Nitratgehalt in Zucchini Früchten in Abhängigkeit vom N-Angebot im Boden und der Fruchtgröße zum Erntezeitpunkt.....	144
Gäbert T., S. Engelhardt, F. Ellmer, M. Baumecker: Einfluss des Bodenwassergehaltes auf Wachstum und Entwicklung von Mais (<i>Zea mays</i> L.) auf einem leicht schluffigen Sandboden.....	145
Ebrahimi E., R. Neugschwandtner, H.-P. Kaul: Effects of straw water extracts on germination of oil seed rape and wheat.....	146
Fiedler K., A. Zacharias, H. Stützel, R. Uptmoor: Evaluierung der Kühletoleranz bei Sorghum während der Jugendentwicklung.....	148
Paeßens B., W. Henle, H. Schneider, W. Claupein: Das Auflauf- und Trockenstressverhalten von Rasen unter Anwendung eines Superabsorbers.....	149

Meier B., X. Chen, A. Gwinner, T. Peiter-Volk, E. Peiter: Three Novel Transporters: guiding Manganese to the destined place	150
Duschyk M., H. Führs, W. J. Horst: Manganese leaf tissue tolerance and sensitivity in rice (<i>Oryza sativa</i> L.).....	151
Wening A., D. Steffens, S. Schubert: Saure Phosphataseaktivität von Raps- (<i>Brassica napus</i> L.) und Kartoffelwurzel (<i>Solanum tuberosum</i> L.) als Maß für die Nutzungseffizienz von organisch gebundenem Phosphat	152
Rissel D., K. Thor, E. Peiter: Exploring the role of poly(ADP-ribose)polymerases in plants	153
Köslin-Findeklee F., S. Parra-Londono, G. Schulte auf'm Erley, T. Roitsch, W. J. Horst: The role of phytohormons in the onset and development of leaf senescence under nitrogen starvation in winter oilseed rape (<i>Brassica napus</i> L.) genotypes differing in nitrogen efficiency	154
Koltermann D., G. Rühl, J.-M. Greef: Anwendung isolierter Gibberelline im Energiepflanzenanbau	155

Poster Gruppe 2: Anbauverfahren

Sieling K., H. Kage: Ertragsentwicklung von Wintergerste bei variiertem N-Düngung.....	156
Pekrun C., S. Hubert, G. Stemann, B. C. Schäfer: Einfluss von Saattermin und Saatstärke auf die Ertragsbildung von vier Wintergerstensorten.....	157
Schäfer B. C., J. Petersen, T. Puhl, H.-W. Olf, G. Stemann, O. Wellie-Stephan, C. Pekrun: Einfluss von Saattermin, Sorte und Insektizidbehandlung auf den Ertrag von Wintergerste	158
Pekrun C., A. Weimer, S. Schierstein, S. Hubert: Einfluss des Saattermins auf die Ertragsbildung von Linien-, Hybrid- und Zwerghybridsorten bei Raps.....	159
Pflaum S., D. Jantschik, C. Pekrun: Bedeutung der Stoppelbearbeitung für die Ertragsbildung von Getreide.....	160
Link-Dolezal J., M. Neubauer, M. Pflugfelder, W. Hermann, W. Claupein: Bewertung von Pflugsaat-, Mulchsaat- und StripTill-Anbauverfahren für Zuckerrüben	161
Zimmermann C., R. Schiefer, C. Gall, K. Köller, S. Gruber, W. Claupein, K. Weiß, C. Pekrun: Mähdruschsaat – eine Möglichkeit zur frühzeitigen Etablierung einer Zwischenfrucht ohne zusätzliche Arbeitsgänge.....	162
Meiners I., B. Honermeier: Wirkung von ACCase- und ALS-Inhibitoren zur Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz in Abhängigkeit vom Termin der Herbizidapplikation und vom Aussattermin des Weizens	163

Poster Gruppe 3: Klimawandel & Grünland

Schäfer B. C., J. Braun, J. Brunotte, J. M. Greef, F.-F. Gröblichhoff, M. Heckmann, H. Laser, N. Lütke Entrup, V. Richter, P. Schattschneider, T. Weyer, S. Lütke Börding: Klimaoptimierte Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft (optimierter Klimabetrieb)	165
Sayer J., G. Barthelmes, F. Ellmer: Ökostabilität von Winterroggen unter Standortbedingungen Brandenburgs.....	166

VI

Manderscheid, R., M. Erbs, H.-J. Weigel: Vergleichende Untersuchung zur Wirkung erhöhter atmosphärischer CO ₂ -Konzentrationen auf die Stomata-dichte bei Mais und Sorghum-Hirse	167
Manderscheid, R., M. Erbs, H.-J. Weigel: Untersuchung zur Wechselwirkung unterschiedlicher CO ₂ -Konzentrationen und Wasserversorgung auf das Wachstum von Mais und Sorghum-Hirse	168
Bräsemann I., M. Grabe, K.-P.Götz, H. Herzog: Wassernutzung und Ertrag von mediterranen und mitteleuropäischen Weizensorten unter dem Einfluss von Wassermangel nach der Blüte	170
Sommer, H., G. Leithold: Nährstoffeffizienz in der ökologischen Milchproduktion - Ergebnisse einer 14-jährigen Fallstudie	172
Tobi D., A. Herrmann, M. Gierus, F. Taube: Ertrag und Futterqualität von Wiesenlieschgras (<i>Phleum pratense</i> L.) und Wiesenschweidel (<i>Festulolium</i>) im Vergleich zu Deutschem Weidelgras (<i>Lolium perenne</i> L.) im 1. Aufwuchs	173
Benzenberg M., C. Wachendorf, T. Fricke, M. Wachendorf: Effekte der Applikation von Gärresten auf die N-Aufnahme und die N-Nutzungseffizienz von <i>Lolium perenne</i> L.....	174
Greune, B., J. Jasper, M. Kayser, J. Isselstein: Einfluss von Artenzusammensetzung und Düngung auf spektrale Eigenschaften von Dauergrünland ermittelt mit dem Yara-N-Sensor	175
From T., N. Wrage, J. Isselstein: The relationship between biodiversity and productivity of temperate semi-natural grasslands - The effect of scale of sampling.....	176
Salvaro de Souza, M. A., F. Richter, R. Graß, M. Wachendorf: Energiegewinnung aus extensivem Grünland im Überschwemmungsgebiet eines Fließgewässers	177

Poster Gruppe 4: Modellierung

Thies B., K.-C. Kersebaum, R. Graß, M. Wachendorf: Modellierung der Ertragsbildung unterschiedlicher Anbausysteme für Energiepflanzen mit dem Simulationsmodell HERMES.....	178
Heckmann M., V. Richter, J. Greef: Klimafarm - Modellierung unterschiedlicher Anbausysteme zur Ertragsabsicherung unter veränderten Klimabedingungen..	179
Angulo C., R. Lock, A. Enders, R. Rötter, S. Fronzek, T. R. Carter, F. Ewert: Crop model calibration for improving simulations of regional impacts of climate change in Europe	180
Siebert S., F. Ewert: Spatio-temporal patterns of phenological development in Germany in relation to temperature and day length	182
Wagner B., M. Steininger, P. Deumelandt, O. Christen: Entwicklung eines Nachhaltigkeitsindikators zur standortspezifischen Bewertung landwirtschaftlicher Anbausysteme in Bezug auf die Abschätzung der Winderosionsgefährdung	183
Duensing R., H. Stützel, R. Uptmoor: Blattrollen von Sorghum bei Trockenstress.	184
Stephan H., A. Herrmann, H. Kage: Simulationsgestützte Ertragspotentiale von Winterrüben - Erste Ergebnisse zur Vorwinterentwicklung.....	185
Zutz, K., H. Stützel: Einfluss simulierter Vernalisationsreaktionen auf die Vorhersagbarkeit des Erntetermins bei Blumenkohl	186

Poster Gruppe 5: Stressphysiologie

Masood S., M. Wimmer, K. Witzel, C. Zörb, C. Plieth, L. Saleh, K. H. Mühling: Interaction of salinity and boron toxicity on ion relations, antioxidants and protein pattern of wheat leaves	187
Morgan S. H., S. Lindberg, K. H. Mühling: Effect of Ca supply on cytosolic pH and Ca in leaves of wheat plants growing under NaCl stress	188
Geilfus C.-M., D. Ober, K. H. Mühling, C. Zörb: Unterschiede in der β -Expansin Abundanz und im apoplastischen pH zwischen wachsenden Blättern eines salzresistenten und eines salzsensitiven Maishybriden	189
Mohamed A.-K., S. Hanstein, B. Pitann, S. Schubert: Effect of salt stress on vacuolar Na^+/H^+ antiporter activity in maize hybrid SR05 during the second phase	190
Uddin N., R. Leubner, P. Eitenmüller, S. Hanstein, S. Schubert: Are non-methylated uronic acids involved in limiting extension growth of maize shoot in the first phase of salt stress?.....	191
Pitann B., A. N. Shahzad, S. Schubert: Wurzelbürtige Signale – Die Rolle von Abscisinsäure in der Ausbildung von Salzresistenz bei Mais	192
Shahzad M., C. Zörb, K. H. Mühling: Apoplastic Na^+ in <i>Vicia faba</i> leaves rises after short-term salt stress – Evidence for the Oertli Hypothesis.....	193
Nowak N., H. Beschow, L. Freitag, E. Peiter: (How) do polyamines mediate stress tolerance in barley?	194
Schittenhelm S., M. Kraft, K.-P. Wittich: Ertragsphysiologische Untersuchungen zur Trockentoleranz bei Getreide	195
Schill R., S. Gruber, S. Zikeli, W. Claupein: Auswirkung tiefer Nachttemperaturen auf den Hülsenansatz verschiedener Soja-Genotypen	196
Saqib M., S. Schubert: Comparative yield performance of newly developed salt-resistant maize hybrids in non-saline and salt-affected field conditions	197
Wimmer M., R. Krechel, Y. Gibon, H. Goldbach: Early effects of drought stress on the primary metabolism of sugar beet (<i>Beta vulgaris</i> L.)	198

Poster Gruppe 6: Produktionssysteme I
--

Brock C., G. Leithold: Quantitative Erfassung der Stickstoffdynamik im System Boden-Pflanze unter Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus zur Beurteilung des Zusammenhangs zwischen N-Bilanz und Humusreproduktion.....	199
Qayyum M. F., D. Steffens, H. P. Reisenauer, S. Schubert: Carbon and nitrogen mineralization kinetics in various soils amended with wheat straw and biochars	201
Küpper P. M., H. A. Becker, T. Kautz, U. Köpke: Stickstoffwirkung mehrjähriger Feldfutter-Vorfrüchte bei einjähriger und dreijähriger Anbaudauer.....	202
Reineke H., N. Stockfisch: Unterschiedliche N-Düngeintensitäten im Zuckerrübenanbau der Praxis - Ursachensuche mit einer Faktorenanalyse	203
Pahlmann I., K. Sieling, U. Böttcher, H. Kage: Mögliche Auswirkungen der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung auf die Stickstoffdüngung im Winterraps.....	204

VIII

Gauder M., K. Butterbach-Bahl, S. Graeff-Hönninger, W. Claupein, R. Wiegel: Vergleich der Treibhausgasemissionen beim Anbau verschiedener Energiepflanzen.....	205
Trimpler K., H. Reineke, N. Stockfisch: CO ₂ -Freisetzungen und Energieaufwendungen im Zuckerrübenanbau: Einfluss der N-Düngung	206
Gallasch M., N. Stockfisch: Direktkosten und Ökoeffizienz im Zuckerrübenanbau.	207
Jung R., R. Rauber: Möglichkeiten zur Steigerung der symbiotischen Stickstoff-Fixierleistung beim Anbau von Ackerbohnen	208
Höhne E., J. Rücknagel, O. Christen: Zusammenhang von Parametern der visuellen Gefügebewertung mit bodenphysikalischen und -mechanischen Messwerten	209
Bhadoria P. B. S.: Microbial Activities Influencing Growth of Maize and P Uptake.	210

Poster Gruppe 7: Umweltwirkungen

Sommer H.: Stickstoffsalden als Ausdruck betrieblicher Nachhaltigkeit – eine Literaturstudie.....	211
Sommer H., G. Leithold: Vergleichende Untersuchungen zum N-Saldo in unterschiedlichen Rotationsbereichen eines ökologisch bewirtschafteten Milchviehbetriebes im Rahmen einer 14-jährigen Fallstudie	212
Isermann K., R. Isermann: Die N-Bilanz nicht nur von Pflanzen und Böden, sondern auch von Tier und Mensch und damit erst der Umwelt in Deutschland im Vergleich zur Schweiz von 1990 bis 2008 sowie Maßnahmen zu ihrer nachhaltigen Optimierung bis 2020	213
Herbst F., J. Augustin, W. Gans: Die Wirkung eines Nitrifikationsinhibitors bzw. einer Strohdüngung auf die Freisetzung klimarelevanter Gase nach Gärrestapplikation	214
Bustamante I. G., R. Schulz, T. Müller, R. Hähndel, R. Ruser: Einfluss eines Nitrifikationshemmstoffs und der N-Düngeraufteilung auf die N ₂ O-Emissionen aus einem Winterweizenbestand.....	215
Bogdan K., J. Lammel: Effect of N form on the behavior of N in floodwater, soil solution and the N uptake of rice (<i>Oryza sativa</i> L.).....	216
Bermejo G., S. Krück, F. Ellmer, L. Rueß: Gärprodukte aus der Biogaserzeugung: Einfluss auf die Meso- und Makrofauna eines schluffigen Sandbodens.....	217
Köster J. R., A. Pacholski, O. T. Denmead, D. Chen, H. Kage, K. H. Mühling, K. Dittert: Treibhausgasemissionen und gasförmige N-Verluste während der Lagerung von Biogas-Gärresten	218
Rohwer M., K. Dittert, A. Pacholski, H. Kage, K. H. Mühling: Spurengasflüsse aus norddeutschen Bioenergiefruchtfolgen und Bewertung von Minderungsmaßnahmen in Schleswig-Holstein	219
Köster J. R., A. Manninen, R. Well, R. Bol, K. Dittert, L. Emmenegger, B. Tuzson, L. M. Cárdenas, K. H. Mühling, J. Mohn: Isotopomeranalyse von bodenbürtigem Lachgas – Laborstudien mit QCLAS und IRMS	220
Nerlich K., F. Seidel, S. Graeff-Hönninger, W. Claupein: Laufkäfervorkommen in Kurzumtriebsplantagen an drei Standorten in Baden-Württemberg	221

Poster Gruppe 8: Sensoren

Erdle K., B. Mistele, U. Schmidhalter: Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars	222
Kipp S., B. Mistele, U. Schmidhalter: Influence of external effects on the accuracy of active canopy sensors	223
Zecha C., J. Link-Dolezal, W. Claupein: Sensorfusion in Winterweizen – Vergleich von Reflexions- und Fluoreszenzdaten bei der Analyse von Pflanzenparametern	224
Lohr D., P. Tillmann, S. Zerche, U. Drüge, E. Meinken: Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) als Basis einer präzisierten N-Düngung bei der Produktion von Zierpflanzenstecklingen.....	225
Menge-Hartmann U., F. Höppner: Vergleich pflanzenbasierter Indikatoren zur Abschätzung des N-Bedarfs von Mais (<i>Zea mays</i> L.)	226
Menke C., R. Rauber: Entwicklung des Indexes I_{RA} zur pflanzenbaulichen Bewertung von Winterzwischenfrüchten in einer Biogastruchtfolge	227
Krieger J., B. Kroschewski, V. Beuthner, F. Ellmer: Ableitung verschiedener Bestandesparameter bei Zuckerrüben aus der Reflexion des Pflanzenbestandes.....	228
Veh C., S. Graeff-Hönninger, J. Pfenning, W. Claupein, H.-P. Liebig: Einsatz von optischen Sensoren zur Optimierung von Ertrag und Qualität bei Brokkoli (<i>Brassica oleracea</i> convar. <i>botrytis</i> var. <i>italica</i>)	229
Quakernack R., A. Herrmann, A. Techow, F. Taube, H. Kage, A. Pacholski: Störungsfreie und simultane <i>in-situ</i> Messung von Spurengasemissionen in pflanzenbaulichen Feldversuchen – Beispiel Gärrestdüngung.....	230
Meinen C., R. Rauber: Wurzelunterscheidung bei Nutzpflanzen und Unkräutern mittels FTIR-ATR-Spektroskopie.....	231

Poster Gruppe 9: Pflanzenernährung

Beuters P., H. W. Scherer: Spezifisch gebundener NH_4^+ -N im Unterboden: Sein Beitrag zur N-Versorgung der Pflanze.....	232
Kulhánek M., J. Balík, J. Černý, O. Sedlář, F. Vašák, M. Kos: Effectivity of N-S Fertilising on the Winter Wheat Yield and Sulfur Content in Soil.....	233
Fuchs M., C. Schuster, T. Kreuter: Verbesserung der N-Effizienz und Verringerung von Umweltbeeinflussungen organischer Dünger durch die gezielte Anwendung von Nitrifikationsinhibitoren.....	234
Ashraf I., D. Steffens, S. Schubert: Is phosphate-ageing stronger at iron oxides than at aluminum oxides in a Brown Earth?	236
Lemme H., H.-J. Koch: Einfluss von Calcium und pH-Wert auf die pflanzenverfügbaren Nährstoffe (EUF) - Konzept und erste Ergebnisse	237
Hu Y., C. Poschenrieder, Z. Song, W. Lu, U. Schmidhalter: A soil survey for current fertility, pH and EC of greenhouses with intensive vegetable cultivation in the North China Plain	238
Losak T., P. Salas, J. Hlusek, J. Jandak, R. Filipcik, M. Strakova, L. Janku, H. Hutyrova, D. Knotova, M. Losak, M. Sevcikova: The effect of soil applications	

of zeolite, agrisorb and lignite on the macronutrients content of clover-grass mixtures grown in arid conditions of the Czech Republic	240
Neuhaus C., C.-M. Geilfus, K. H. Mühling: Einfluss einer Mg-Blattdüngung auf die Mg-Ionenkonzentration in Apoplast und Cytosol von Ackerbohnenblättern	241
Weinmann M., B. Kuhn, J. G. Moreno, G. Neumann, V. Römheld: Foliar applied Phosphite inhibits Phosphate Deficiency Reactions of Maize and White Lupine for Rhizosphere Changes.....	242
Bollig K., M. Zahn, W. J. Horst: Sulfur Nutrition of Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>) in Relation to its Resistance against Pathogens.....	243
Fatima A., S. Hanstein, B. Pittan, S. Schubert: Plasma membrane H ⁺ -ATPase is regulated by boron nutrition in maize shoot.....	244
Eticha D., W. J. Horst: Spatial and Temporal Expression of a Citrate Transporter Gene and Aluminium-induced Citrate Exudation in Common Bean	245
Hamann H., U. Ludewig, J. Streb, U. Fellmeth, T. Müller: Die Geschichte des Instituts für Pflanzenernährung der Universität Hohenheim	246

Poster Gruppe 10: Qualität

Makary T., R. Schulz, S. Hubert, K. Hartung, S. Gruber, S. Donath, J. Döhler, K. Weiß, E. Ehrhart, W. Claupein, H.-P. Piepho, C. Pekrun, T. Müller: Ist eine Aufteilung der Stickstoffdüngung für hohe Erträge und Qualitäten bei Winterweizen notwendig? Praxisversuche in Südwestdeutschland	247
Merker C., F.-F. Gröblichhoff, B. C. Schäfer: Einfluss von Saatstärke und Höhe der N-Spättdüngung auf den Ertrag und wichtige Qualitätsparameter verschiedener Winterweizensorten	248
Paladey E., S. Seling, M. G. Lindhauer, K. H. Mühling: Einfluss der S-Düngung auf Vermahl-, Back- und sensorische Eigenschaften des Winterweizens	249
Zörb C., A. Grün, D. Steinfurth, C.-M. Geilfus, K. H. Mühling: Einfluss einer variierten Schwefeldüngung auf die Aktivität und Genexpression der Glutathionreduktase zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien von Weizen.....	250
Betzinger R., K. Witzel, G. Feger, S. Seling, K. H. Mühling: Einfluss einer S-Düngung auf Ertrags- und Qualitätsparameter von zwei Weizensorten im Feldversuch unter besonderer Berücksichtigung von S-Metaboliten.....	251
Ereku O., I. Bräsemann, K.-P. Götz, H. Herzog: Ertragsverhalten und Qualität von mediterranen und mitteleuropäischen Weizensorten unter verschiedenen klimatischen Bedingungen	252
Höppner F., C. Hoffmann: Bestimmung des Zuckergehaltes von Zuckerrüben mit Hilfe der Nahinfrarotspektroskopie	254
Heyer C. A. C., M. Reichelt, K. Witzel, A. E. Wagner, G. Rimbach, K. H. Mühling: Bestimmung von Glucosinolaten und Isothiocyanaten in <i>Brassica pekinensis</i> nach steigendem S-Angebot – Einfluss auf die Nrf2-Transaktivierung in HT-29 Zellen	255
Pflaum S., L. Fierlbeck, E. Krauth, W. Mammel, C. Zimmermann, J. Sneyd, R. Lenz, C. Pekrun: Evaluierung von Linsensorten aus Genbankmaterial – pflanzenbauliche und verbraucherrelevante Eigenschaften	256

Poster Gruppe 11: Produktionssysteme II

Rühl G., M. Langhof: Koexistenz bei Mais: Wirkung einer Mantelsaat in Abhängigkeit vom Feldabstand	257
Dietz-Pfeilstetter A., M. Langhof, G. Rühl: Koexistenz bei Raps: Auskreuzung aus multiplen Pollenquellen in einen zentralen Rezipientenschlag	258
Kuon J., E. A. Weber, S. Gruber, W. Claupein: Einfluss der Saatgutbeizung auf Dormanz bei Winterraps.....	259
Gesell S., E. A. Weber, S. Gruber, W. Claupein: Einsatz dormanzbrechender Substanzen zur Reduzierung der Dormanz bei Winterraps (<i>Brassica napus</i>)....	260
Ullah H., B. Honermeier: Fungal infection and its control in anise (<i>Pimpinella anisum</i> L.) results of two field experiments	261
Neuschwandtner R., H.-P. Kaul: Drei-Komponenten-Sommermenggetreide – A. Erste Ergebnisse auf Bestandesebene	263
Neuschwandtner R., H.-P. Kaul: Drei-Komponenten-Sommermenggetreide – B. Erste Ergebnisse auf Artenebene	265
Pflaum S., W. Mammel, C. Zimmermann, R. Lenz, J. Sneyd, C. Pekrun: Gemengeanbau von Linsen mit Braugerste – Einfluss auf Ertrag und Qualität beider Gemengepartner	267
Munz S., S. Graeff-Hönninger, W. Claupein: How to manage above-ground competition in bush bean/spring maize strip-intercropping?.....	268
Ebrahimi E., R. Neuschwandtner, H.-P. Kaul: Intercropping of pea with oil seed rape and cereals in a pot experiment	270

Poster Gruppe 12: Bioenergie & NaWaRo

Genius D., K. Wunsch, M. Weiß, S. Gruber, W. Claupein: Das Bioenergiepotential des Biosphärengebiets Schwäbische Alb	272
Pekrun C., S. Hubert, B. Stauß, L. Hinners-Tobrägel: Pflanzenbauliche und ökonomische Konsequenzen einer erweiterten Biogasfruchtfolge bei reduziertem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln	273
Claus S., B. Wienforth, K. Sieling, H. Kage, F. Taube, A. Herrmann: Energiebilanzierung der Biogasproduktion unter den Anbaubedingungen Schleswig-Holsteins	274
Mast B., S. Graeff-Hönninger, W. Claupein: Streifenweiser Anbau ein- und mehrjähriger Kulturpflanzen – ein nachhaltiges Energiepflanzenanbausystem .	275
Wulfes R., H. Ott, R. Hünerjäger: Leistungsfähigkeit von Energiepflanzenanbausystemen mit Mais und Sorghum in Schleswig-Holstein	276
Klingebiel L., R. Stülpnagel, M. Wachendorf: Einfluss von Parametern der Witterung und des Bodens auf den Ertrag von Mais und Sonnenblumen - Ergebnisse aus 4 Jahren und 6 Standorten	277
Elste B., J. Rücknagel, O. Christen: Einfluss von Mineral-, Rohgülle- und Gärrestdüngung auf ausgewählte Bodenparameter sowie den Trockenmasseertrag von Mais (<i>Zea mays</i>).....	278
Gauder M., S. Hackspacher, S. Graeff-Hönninger W. Claupein: Einfluss der Stickstoffdüngung auf Wachstum und Ertrag von <i>Miscanthus x giganteus</i>	279

XII

Loel J., C. Hoffmann: Winterrüben - Wie können Zuckerrüben Frostperioden überstehen?	280
Otto D., K. Wunsch, S. Gruber, W. Claupein: Ertrag von Topinambur und Potenzial der energetischen Nutzung.....	281
Schneider T., S. Graeff-Hönninger, W. Claupein, T. French, R. Hernandez: Stoffliche Nutzung industrieller Abwässer zur Produktion hochwertiger mikrobieller Öle und Pigmente	282

*Beitrag lag bei Redaktionsschluss nicht vor

N-Düngung – Präzisionsdüngung und Gießkannenprinzip

Urs Schmidhalter

Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Department für Pflanzenwissenschaften, Technische Universität München, Freising. E-Mail: schmidhalter@wzw.tum.de

Einleitung

Der Mineraldüngeraufwand war in Deutschland seit 1950 bis 1980 durch eine stete Zunahme von 30 auf 120-130 kg N/ha landwirtschaftliche Nutzfläche gekennzeichnet, blieb dann bis etwa 1990 auf diesem Niveau, gefolgt von einem leichten Rückgang auf ungefähr 110 kg N/ha. Die Lieferung von mineralischem Stickstoff an die Landwirtschaft betrug in den letzten zwanzig Jahren etwa 1.75 Mio t Stickstoff (Industrieverband Agrar, 2010). Die Indizes der Preisentwicklung von Düngemitteln erhöhten sich in den letzten Jahren um fast 200 %.

Der Wirtschaftsdüngeranfall aus der Rinder- und Schweinehaltung ist im Zeitraum 1994-2010 um ca. 13 % zurückgegangen. Der jährliche Wirtschaftsdüngeranfall aus der Rinder- und Schweinehaltung lag in 2009 bei 152 Mio t FM/a, davon betrug der Anfall an Gülle, Festmist und Jauche 111, 32 und 10 Mio t FM/a (Schultheiß et al., 2010). In diesen Wirtschaftsdüngern sind über 1 Mio t Stickstoff enthalten.

Weizen, Mais, Gerste, Raps und Zuckerrüben bilden anteilmäßig die wichtigen Ackerkulturen mit 28 %, 19 %, 14 %, 12 % und 3 %. Im Zeitraum 1992-2010 hat sich der Anteil von Mais, Weizen und Raps zwischen 6-4 % erhöht, derjenige von Gerste und Zuckerrüben um 7-2 % erniedrigt.

Die durchschnittlichen Erntemengen und Ernteerträge von Getreide haben sich in Deutschland in den letzten fünfzehn Jahren nicht wesentlich verändert. Eine regionalisierte Betrachtung zeigt je nach Bundesland und Ackerkultur leichte Zunahmen, Stagnationen oder leichte Abnahmen in den Erträgen. Die Grünlanderträge haben sich nicht verändert.

Daraus lässt sich ableiten, dass die Effizienz des N-Einsatzes in den letzten zwanzig Jahren gegenüber dem Zeitraum 1980-1990 verbessert wurde und bedingt durch den Rückgang des Anfalls an Wirtschaftsdüngern in den letzten 20 Jahren bei konstantem Mineraldüngereinsatz eine weitere leichte Verbesserung erreicht wurde. Als Zielwert für den betrieblichen Nährstoffvergleich ist von der Düngeverordnung für die in 2006, 2007 und 2008 begonnenen Düngejahre ein betrieblicher Nährstoffüberschuss von 90 Kilogramm Stickstoff je Hektar und Jahr und für die in 2009, 2010 und 2011 begonnenen Düngejahre ein Überschuss von 60 Kilogramm je Hektar und Jahr festgelegt worden. In diesen Zahlen wird eine Diskrepanz zwischen der errechneten Reduktion, wie oben skizziert, und der im Betriebsvergleich anzustrebenden Reduktion, aktuell vorwiegend auf Vergleichen der weniger geeigneten Feld-Stall-Bilanz (im Vergleich zur Hoftorbilanz) basierend, zum Ausdruck gebracht. Künftige stärkere Reduktionen sind primär im verbesserten Einsatz organischer Wirtschaftsdünger im Vergleich zu Mineraldüngern zu erreichen.

Technische Weiterentwicklungen und Regularien (Düngeverordnung etc.) haben in den letzten zwanzig Jahren zu Verbesserungen im N-Management beigetragen. Gründe hierfür liegen unter anderem in verbesserten Ausbringtechniken von Mineraldüngern und organischen Düngern wie auch in der Schaffung der erforderlichen Lagerkapazitäten für Wirtschaftsdünger. Als wesentliche technische Innovationen in den letzten fünfzehn Jahren können Entwicklungen in der teilflächenspezifischen N-Düngung genannt werden, wie auch die Bereitstellung

leistungsfähiger Nitrifikations- und Ureasehemmstoffe, die zu einer präziseren Düngung beitragen.

Der Anteil von Kalkammonsalpeter, Harnstoff, Ammon-Nitrat-Harnstofflösung und anderen Einnährstoffdüngern an den eingesetzten stickstoffhaltigen Düngemitteln lag in den Jahren 2007-2009 bei 43 %, 22 %, 11 % und 16 %. Aufgrund eigener langjähriger Untersuchungen und aus Ergebnissen der Officialberatung kann geschlossen werden, dass die N-Form in der pflanzenbaulichen Betrachtung eher eine nachrangige Rolle spielt. Eine umfassende vergleichende Bewertung von Umweltemissionen (Nitrat, Ammoniak, Stickoxide einschließlich Lachgas) verschiedener N-Formen liegt nicht vor.

Bei Ackerkulturen wie Zuckerrüben und Braugerste sind qualitätsorientierte Begrenzungen der N-Düngung fester Bestandteil des N-Düngungskonzepts, im Gegensatz dazu sind weitere Optimierungen bei den Ackerkulturen Raps und Mais, die flächenmäßig stark zugenommen haben, erforderlich und auch bei einer sortendifferenzierten Qualitätsdüngung von Weizen möglich.

Eine bedarfsgerechte N-Düngung basiert auf einer realistischen Ertragserwartung und bemisst aufgrund der Schätzung/Messung des aus dem Bodenpool nachgelieferten Stickstoffs die durch Düngung zuzuführende Stickstoffmenge. Während umfangreiche und realistische Bedarfsschätzungen für verschiedene Kulturen vorliegen, liegt die Schwierigkeit darin, den Ertrag ex ante vorherzusagen, und die N-Nachlieferung des Bodens aus verschiedenen Quellen (Nachlieferung aus dem Boden bzw. aus Vorfrüchten, Zwischenfrüchten und organischen Düngern) bleibt schwierig abzuschätzen. In der Regel wird der mineralisch verfügbare Stickstoff zu Beginn der Vegetation geschätzt. Schlagbezogene N_{\min} -Untersuchungen werden eher relativ selten durchgeführt. Für weitere Optimierungen wird es unumgänglich sein, den aktuell im Boden vorhandenen Stickstoff vermehrt zu messen. Untersuchungen sind heute relativ rasch auch mit weiter vereinfachten Schnelltests im Betrieb oder direkt auf dem Felde durchführbar (Schmidhalter, 2005; www.nitratesoiltest.com). Vor der Saat oder zu frühen Vegetationsstadien kann der verfügbare Stickstoff verlässlich nur durch Messung des Bodens erfasst werden, während in späteren Stadien vermehrt auch optische Methoden es erlauben, die N-Nachlieferung aus dem Boden indirekt über die Pflanzen abzuschätzen. Durch Kombination spektraloptischer Verfahren mit klassischen Düngungsfenstern kann die Nachlieferung auch teilflächenspezifisch erfasst werden (Schmidhalter und Jungert, 2006, unveröffentlicht).

Präzisionsdüngung

Entwicklung, Wachstum und Stickstoffaufnahme von Pflanzen können auf Feldern lokal variieren. Mit teilflächenspezifischer Düngung kann eine an die lokale Heterogenität angepasste N-Düngung (Präzisionsdüngung) durchgeführt werden. Im Idealfall führt dies zu Ressourceneinsparungen, zur Optimierung von Erträgen und Qualitäten und zu Emissionsreduktionen in die Umwelt.

Um diese Ziele zu erreichen, sind Methoden und Technologien erforderlich, die die Standortheterogenität aufzeigen, die Ursächlichkeit der standörtlich bedingten Ertragsunterschiede erkennen lassen, teilflächenspezifische Regeln der Bewirtschaftung bereitstellen und die technische Umsetzung ermöglichen. In der vergangenen Dekade sind umfangreiche Arbeiten in der Entwicklung, Testung und im Einsatz teilflächenspezifischer N-Düngungskonzepte durchgeführt worden. Als Basis für die Umsetzung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung können Kartenansätze, basierend auf zuvor gewonnener Information (mapping-Verfahren),

oder Echtzeitinformationen (online-Verfahren) bzw. auch Kombinationen dieser zwei Ansätze gewählt werden. In der Praxis am meisten verbreitet sind Echtzeitverfahren. Es wird geschätzt, dass auf etwa 5 % der ackerbaulich genutzten Fläche in Deutschland teilflächenspezifisch Stickstoff gedüngt wird.

Eine kausale Bewertung der standörtlichen Ertragspotenziale zeigt, dass die Wasserversorgung, beeinflusst durch die standörtliche Variation der Bodentextur und der Topographie, die lokale Ertragsvariabilität wesentlich beeinflusst (Schmidhalter et al., 2006). Für die Abgrenzung von Managementzonen haben sich terrestrische oder flugzeugbasierte spektralsensorische Verfahren als besonders leistungsfähig erwiesen und waren geophysikalischen Verfahren überlegen (Schmidhalter et al., 2008; Jungert, 2011). Langjährige Untersuchungen in Bayern haben gezeigt, dass Ertragszonen stabil waren, wenn auch der Grad der Differenzierung jahresbedingt variieren kann (Jungert, 2011).

Die Auswirkungen teilflächenspezifischer Stickstoffdüngung wurden in mehrjährigen, ortsfesten Untersuchungen im Zeitraum 2002-2007 an verschiedenen Standorten in Bayern untersucht. Bei diesen Untersuchungen wurden mapping- und online-Ansätze (N-Sensor) im Vergleich zu einheitlicher Düngung bewertet (Ebertseder et al., 2005). Beim Kartenansatz wurde eine reduzierte N-Düngung auf ertragsschwächeren Zonen zu Gunsten einer Umverteilung auf die Hohertragszonen untersucht, während der in den N-Sensor implementierte Algorithmus die Stickstoffdüngung in den Niedrigertragszonen betont und zum Zeitpunkt der Spätdüngung (Qualitätsdüngung) dies zu Gunsten der Zonen mit stärkerem Wachstum umkehrt.

Mit dem mapping-Ansatz konnte bei Getreide in den Niedrigertragszonen bzw. den kolluvialen Hohertragszonen bei vergleichbarer Ertragsleistung die N-Effizienz zwischen 13 % und 26 % gegenüber einheitlicher Düngung erhöht werden (Jungert, 2011). Eine Erhöhung der N-Düngung auf den Hohertragszonen gegenüber der betriebsüblichen optimierten Düngung erwies sich als nicht notwendig. Die Ergebnisse zeigen, dass auf Niedrigertragszonen und kolluvialen Hohertragszonen erhebliche N-Einsparungen möglich sind. Die stickstoffkostenfreien Leistungen unterschieden sich beim mapping-Ansatz bzw. bei einheitlicher Düngung nicht wesentlich.

Der online-Ansatz basierend auf dem N-Sensor reduzierte die N-Effizienz um 13 % in den Niedrigertragszonen, führte andererseits zu einer Steigerung der N-Effizienz von 7 % in den Hohertragszonen (Jungert, 2011). Während die Stickstoffkostenfreie Leistung in den Niedrigertragszonen, aber auch in der Mittlerertragszone leicht erhöht wurde, ergab sich eine kleine Reduktion auf den Hohertragszonen. Der online-Ansatz reduzierte die Lagerung von Getreide und resultierte in homogeneren Beständen. Die Erträge wurden durch den Sensoransatz um 3 % in der Niedrigertragszone und um 1 % in der Mittlerertragszone erhöht. Der Sensoransatz ermöglichte es auch, den Ertrag mit adäquater Genauigkeit abzuschätzen, und konnte auch für die Abgrenzung von Managementzonen eingesetzt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass weitere Optimierungen sowohl beim Kartenansatz wie auch beim N-Sensoransatz möglich und sinnvoll sind. Bei kleiner strukturierten Betrieben eignet sich auch ein Kartenansatz bzw. kann eine Sensor-basierte Düngung über Dienstleister eingesetzt werden.

In den letzten Jahren sind umfangreiche Untersuchungen in der Bewertung passiver und aktiver Sensoren durchgeführt worden und optimierte Algorithmen zur Ableitung von Biomassezuständen und N-Aufnahmen insbesondere bei

Ackerkulturen wie Weizen und Mais entwickelt worden (u.a. Mistele und Schmidhalter, 2008, Mistele und Schmidhalter, 2010; Erdle et al., 2011). In neueren Ansätzen wird vermehrt auch versucht, den Wasserstatus von Kulturpflanzen zu erfassen (Elsayed et al., 2011; Winterhalter et al., 2011), eine Information die zur Optimierung im N-Management beitragen kann.

Effizientere Dünger

Die Entwicklung effizienterer Dünger ermöglicht einen gezielteren Einsatz von Stickstoff. Dazu tragen neu entwickelte Nitrifikations- und Ureasehemmstoffe bei.

Nitrifikationshemmer ermöglichen vorgezogene, höhere Gaben, da die Stabilisierung des Ammoniumstickstoffs zu einer verzögerten Umwandlung zu Nitratstickstoff beiträgt. Eine frühere Bereitstellung stabilisierten Stickstoffs ist auch bei Frühjahrs- oder Vorsommertrockenheit vorteilhaft, da sich der Stickstoff bereits in der Wurzelzone befindet. Eine Einsparung von Teilgaben ist betriebswirtschaftlich vorteilhaft. Während in eigenen langjährigen Untersuchungen vorteilhafte Wirkungen von Nitrifikationshemmstoffen bei Einsatz von mineralischem Stickstoff auf die Ertragsleistung von Weizen gezeigt werden konnten (Linzmeier, 2011), ergaben sich in einer vergleichenden Bewertung von Ergebnissen der Officialberatung keine statistisch gesicherten Erhöhungen des Ertrags. Zur Sicherung der Eiweißqualität empfiehlt sich die Kombination von stabilisierten mit nicht-stabilisierten N-Düngern. Der Einsatz eines Nitrifikationshemmstoffs zu Gärresten förderte die N-Aufnahme bei Mais (Schmidhalter et al., 2011).

Nitrifikationsinhibitoren reduzieren die N-Auswaschung (Gutser, 2006). Jüngere Untersuchungen zeigen auf, dass Nitrifikationshemmstoffe sehr gut geeignet sind, Lachgasverluste bei Einsatz von mineralischen Düngern (Linzmeier et al., 2001) wie auch bei organischer Düngung mit Gülle (Schmidhalter et al., 2011) wesentlich zu reduzieren. Die Reduktionen betragen bei mineralischer N-Düngung bis zu 40 % und bei organischer Flüssigmistdüngung bis zu 60 %. Diese Ergebnisse sind in Einklang mit einer jüngst veröffentlichten Übersichtsarbeit (Akiyama et al., 2010). Nitrifikationshemmstoffe stellen bei Nutzung aller Maßnahmen, die zur guten fachlichen Praxis beitragen, die zurzeit effektivste Maßnahme dar, um Lachgasverluste wesentlich zu reduzieren. Da etwa 10 % des mineralisch gedüngten Stickstoffs in Deutschland stabilisiert gedüngt wird, kann dies bereits jetzt zu einer Reduktion von Lachgasverlusten beitragen. Die Bedeutung von Nitrifikationshemmstoffen in der Lachgasvermeidung wird zurzeit noch wesentlich unterschätzt.

Ammoniakverluste aus Harnstoff lassen sich durch Ureasehemmstoffe wesentlich reduzieren. Bei langjährigen ackerbaulichen Untersuchungen konnten Reduktionen von bis 40 % im Ackerbau und bis zu 60 % im Grünland aufgezeigt werden (Übersicht in Schmidhalter et al., 2010).

Der lange Weg zur organischen Präzisionsdüngung

Verbesserungen und Optimierungen in der N-Düngung sind insbesondere beim Einsatz organischer Dünger erforderlich. Organische Wirtschaftsdünger tragen wesentlich mit einem Anteil von etwa 37 % zum Stickstoffinput in die deutsche Landwirtschaft bei. Organische Wirtschaftsdünger fallen überwiegend als Gülle an und zu einem kleineren Anteil als Festmist bzw. Jauche.

Die Diskrepanz in der Bewertung mineralischer und organischer Dünger ist augenscheinlich. Während die Düngegesetzgebung die inhaltsstoffliche Bewertung von Mineraldüngern präzise festlegt, stehen für organische Dünger häufig nur Schätzwerte zur Verfügung. Die hohe Varianz, die Güllen bspw. im Ammonium- oder

Gesamtstickstoffgehalt aufweisen, hinterfragt solche sicher gut gemeinten, aber im Einzelfall oft nicht zutreffenden tabellarischen Schätzwerte. Das Defizit in der genauen Kenntnis der Inhaltsstoffe organischer Dünger erschwert eine Optimierung in der organischen Düngung. Während die ausgebrachten Volumina präzise erfasst werden können, ist der Kenntnisstand der ausgebrachten Nährstoffmengen ungenügend. Ansätze sind jedoch vorhanden, die zu Verbesserungen auf diesem Sektor beitragen können (Schmidhalter, 2011). Die repräsentative Erfassung der in großen Güllelagern enthaltenen Nährstoffmengen erfordert eine ausreichende Homogenisierung und die Analyse der darin enthaltenen Nährstoffe. Technische Lösungen liegen vor, die es ermöglichen, eine gute Kenntnis der mit Gülle ausgebrachten Nährstoffe zu erreichen.

Ausführliche Untersuchungen auf verschiedenen Betrieben haben gezeigt, dass die Nährstoffzusammensetzung bei Ausbringung von Gülle in der Tat mit jedem ausgebrachten Fass wesentlich variieren kann. Dieses Problem kann durch intensive Mischung mittels leistungsfähiger Rührwerke weitgehend gelöst werden. Damit können die primär in den Feststoffen enthaltenen Nährstoffe, nämlich der organische Stickstoff und das Phosphat, repräsentativ erfasst werden. Die primär in der Flüssigphase enthaltenen Nährstoffe Ammonium und Kalium sind ohne weitere Homogenisierung bereits repräsentativ in der Flüssigphase verteilt, was eine vereinfachte Erfassung zulässt bzw. ermöglicht. Daraus leitet sich die Forderung nach einer effizienten Rührtechnik ab, für die bessere Erfassung der in der Festphase vorhandenen Nährstoffe, besonders auch in Wirtschaftsdüngern aus der Schweinehaltung.

Während die Düngemittelgesetzgebung die Gehalte und Toleranzen von Mineraldüngern im Prozentbereich festlegt, ist die Erfassung der in organischen Flüssigdüngern enthaltenen Nährstoffe, mit einigen Ausnahmen, nicht vorgesehen und basiert überwiegend auf Schätzwerten. Diese Diskrepanz in der Bewertung organischer Dünger, die mit fast 2/5 zum gesamten Stickstoffdüngeraufwand beitragen, ist auffällig und erschwert Verbesserungen im Bereich des organischen Wirtschaftsdüngermanagements.

Bei Betrachtung der enormen Nährstoffmengen und des Wertes dieser Nährstoffmengen scheint es vernünftig, eine adäquatere Bewertung zu verlangen. Für die Analyse kommen chemische, aber auch alternative vereinfachte Untersuchungen in Frage. Nährstoffe können auch vereinfacht mit Schnelltesten (Dichtebestimmung, elektrische Leitfähigkeit, Elektroden) oder mit NIRS (in situ oder im Güllefass) bestimmt werden. Eine vernünftige Approximation durch solche Schnellmethoden ist in jedem Fall besser als eine Ableitung basierend auf eher zufälligen Schätzwerten. Positiv zur besseren Wertschätzung von organischen Düngern tragen Fördermaßnahmen bei (bspw. Kulap), die Analysen voraussetzen. Zurzeit bestehen noch nicht ausreichende Kenntnisse, wie variabel bei mehrjähriger Betrachtung die Nährstoffgehalte in Güllelagern im Einzelbetrieb sind.

Bewertungsgrundlagen bei bekannter Zusammensetzung sind vorhanden, die neben der kurzfristigen Wirkung auch die längerfristige Wirkung zu berücksichtigen versuchen (Gutser et al., 2005). Jüngst sind auch optimierte Anwendungskriterien für die Gärrestdüngung erarbeitet worden (Fouda et al., 2011).

Mit besseren Kenntnissen der Nährstoffzusammensetzung organischer Dünger ist ein erster wichtiger und notwendiger Schritt getan, der zu einer wesentlich besseren Bewertung und auch Wertschätzung der organischen Dünger beitragen kann. Organische Dünger bekommen dadurch den Wert, den sie verdienen, und dies

ermöglicht eine rationalere Gestaltung der Düngung und eine bessere fachliche Praxis.

Literatur

- Akiyama, H., X. Yan, K. Yagi 2010: Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology* 16:1837-1846.
- Ebertseder, T., U. Schmidhalter, R. Gutser, U. Hege, S. Jungert 2005: Evaluation of mapping and one-line nitrogen fertilizer application strategies in multi-year and multi-location static field trials for increasing nitrogen use efficiency of cereals. In: *Precision Agriculture '05*. Stafford, J.V. (ed.) Wageningen Academic Publishers, 327-335.
- Elsayed, S., B. Mistele, U. Schmidhalter 2011: Can changes in leaf water potential be assessed spectrally? *Functional Plant Biology* 38:523-533.
- Erdle, K., B. Mistele, U. Schmidhalter 2011: Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. *Field Crops Research* (in press).
- Fouda, S., S. von Tucher, F. Lichti, U. Schmidhalter 2011: Nitrogen offtake from different biogas residues applied to ryegrass. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, submitted.
- Gutser, R. 2006: Nitrifikationsinhibitoren zur Steuerung der N-Freisetzung aus mineralischen und organischen Düngemitteln. Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft, Rendsburg, 378-396.
- Gutser, R., T. Ebertseder, A. Weber, M. Schraml, U. Schmidhalter 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* 168:439-446.
- Industrieverband Agrar 2010: <http://www.iva.de/publikationen/wichtige-zahlen-2009-2010>.
- Jungert, S. 2011: Optimierung der Stickstoffdüngung durch teilflächenspezifische Landbewirtschaftung. Dissertation, Technische Universität München.
- Linzmeier, W. 2011: Verwertungseffizienz und gasförmige N-Verluste von 3,4-Dimethylpyrazolphosphat (DMPP)-stabilisiertem Ammoniumdünger. Dissertation, Technische Universität München.
- Linzmeier, W., R. Gutser, U. Schmidhalter 2001: Nitrous oxide emission from soil and from a nitroren-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). *Biology and Fertility of Soils* 34:103-108.
- Mistele, B., U. Schmidhalter 2008: Estimating the nitrogen nutrition index using spectral canopy reflectance measurements. *European Journal of Agronomy* 29:184-190.
- Mistele, B., U. Schmidhalter 2010: Tractor-based quadrilateral spectral reflectance measurements to detect biomass and total aerial nitrogen in winter wheat. *Agronomy Journal* 102:499-506.
- Schmidhalter, U. 2005: Development of a quick on-farm test to determine nitrate levels in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168:432-438.
- Schmidhalter, U. 2011: Nährstoffvariabilität in Gülle. Internationale Tagung „Gülle 11“, Gülledüngung und Gärrestdüngung auf Grünland. 17./18.10. 2011. Bad Waldsee-Reute.
- Schmidhalter, U., C. Bredemeier, D. Geesing, B. Mistele, T. Selige, S. Jungert 2006: Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Soil Water Nitrogen and Plant Crop Response. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 11:97-106.
- Schmidhalter, U., F.-X. Maidl, H. Heuwinkel, M. Demmel, H. Auernhammer, P. Noack, M. Rothmund 2008: Precision Farming - Adaptation of land use management to small scale heterogeneity. In: Schröder, P., J. Pfadenhauer, J.C. Munch (eds.) *Perspectives for Agroeco-system Management*, Elsevier, 121-199.
- Schmidhalter, U., M. Schraml, A. Weber, R. Gutser 2010: Ammoniakemissionen aus Mineraldüngern - Versuchsergebnisse auf mitteleuropäischen Standorten. *KTBL-Schrift* 483:93-102.
- Schmidhalter, U., R. Manhart, K. Heil, M. Schraml, S. v. Tucher 2011: Gülle- und Gärrestdüngung zu Mais. *Zeitschrift Mais* 2:89-91.
- Schultheiß, U., H. Döhler und M. Schwab 2010: Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft – jährliche Anfallmengen in der Bundesrepublik Deutschland. *Landtechnik* 5:354-356.
- Winterhalter, L., B. Mistele, S. Jampatong, U. Schmidhalter 2011: High throughput sensing of aerial biomass and above ground nitrogen uptake in the vegetative stage of well-watered and drought stressed tropical maize hybrids. *Crop Science* 51:479-489.

Stickstoffdüngung aus Umweltsicht

Werner Wahmhoff

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück. E-Mail: w.wahmhoff@dbu.de

Einleitung

“Too much of a good thing”, so betitelte im April dieses Jahres eine Autorengruppe in der Zeitschrift „Nature“ ihren Beitrag, in dem sie die Begrenzung der Stickstoff-Emissionen als eine zentrale Herausforderung des Umweltschutzes im 21. Jahrhundert herausstellte (Sutton et al. 2011a). Die Überschrift beschreibt die Ambivalenz der Stickstoffdüngung kurz und treffend. Nach Berechnungen von Smil (1999) und Roy et al. (2006) sind im jährlichen Eiweißbedarf von 7 Mrd. Menschen 25 Mill. t Stickstoff enthalten. Durch Verluste auf dem Weg vom Feld bis zum Verbraucher, durch die Veredlung über Tiere und durch Essen über Bedarf müssen in der gesamten Nahrungs- und Futtermittelmenge 60 Mio. t N/Jahr enthalten sein. Umgerechnet auf die globale Ackerfläche bedeutet dies, dass bereits heute $43 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, gebunden in pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln, jährlich die Produktionsflächen verlassen müssen, um die globale Eiweißversorgung zu sichern.

Weltweit wurden im Jahr 2008 durchschnittlich $71,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ gedüngt (FAOSTAT 2011). Hinzu kommen noch die Stickstoffmengen aus der symbiontischen N-Fixierung. Auch wenn genaue Zahlen nicht verfügbar sind, ist davon auszugehen, dass weniger als 50 % der Düngermenge im Erntegut gebunden werden und damit ein größerer Teil der Gefahr unterliegt, in Form reaktiver Stickstoffverbindungen in die Umwelt zu gelangen.

Stickstoffemissionen aus der landwirtschaftlichen Produktion

Im Nachhaltigkeitsbericht der Bundesregierung wird die Gesamt- oder Hoftorbilanz des Stickstoffs in der Landwirtschaft als Indikator (Stickstoffsaldo je ha und Jahr) verwendet. Die Gesamtbilanz errechnet sich aus allen Stickstoffflüssen, die in die deutsche Landwirtschaft hinein- (eingesetzte Mineral- und Sekundärrohstoffdünger, Importfuttermittel, Biologische N-Fixierung, Atmosphärische Deposition) und aus ihr herausgehen (Abfuhr durch Ernteprodukte). Seit dem Referenzjahr 1990 ist der N-Saldo von 147 kg N ha^{-1} auf 103 kg N a^{-1} im Jahr 2008 zurückgegangen (BMELV 2010). Damit wurde das von der Bundesregierung für 2010 angestrebte Ziel von $80 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ deutlich verfehlt.

Die Gesamtbilanz umfasst die Stallbilanz und die Flächenbilanz. Der Tab. 1 ist zu entnehmen, dass der N-Saldo der Stallbilanz mit $36 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ geringer ist als der Saldo der Flächenbilanz ($67 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Wichtigste Verlustquelle sind aber die Wirtschaftsdünger. Die Bilanzgrenze liegt zwischen Lager und Ausbringung.

Tab. 1: Die Stickstoffbilanzen in Deutschland für das Jahr 2008 (BMELV 2010)

	Flächenbilanz	Stallbilanz	Gesamtbilanz
Summe Stickstoffzufuhren	201	126	197
Summe Stickstoffabfuhren	134	90	94
Bilanzüberschuss	67	36	103

Die aktuellsten Daten für die Flächenbilanz stehen für das Jahr 2008 zur Verfügung. Die Statistischen Monatsberichte des BMELV (2010) weisen einen N-

Überschuss auf den landwirtschaftlichen Flächen in Höhe von $67 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in Deutschland aus (Tab. 2). Die größte Stickstoffzufuhr erfolgt in Form von Mineraldünger ($107 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Wirtschaftsdünger ($52 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Tab. 2: Flächenbilanz für Stickstoff im Jahr 2008 (BMELV 2010)

	Flächenbilanz
Mineraldünger	107
Sekundärrohstoffdünger	5
Wirtschaftsdünger	52
Saat, Pflanzgut	1
Biol. N-Fixierung	12
Atm. Deposition (NO_x netto)	9
Atm. Deposition (NH_3 auf LF)	15
Summe Zufuhr	201
Pflanzliche Marktprodukte	72
Futterpflanzen	62
Summe Abfuhr	134
Bilanzüberschuss	67

Mit einem Bilanzüberschuss von $103 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (1,128 Mio. t N), das entspricht einem Anteil von über 50 % an den deutschen Gesamtemissionen (2,0 Mio. t N), ist die Landwirtschaft der mit Abstand wichtigste Emittent reaktiver Stickstoffverbindungen, die über verschiedene Austragspfade in die Umwelt gelangen. Emissionen aus dem Verkehr, aus Industrie und Energiegewinnung sowie in Abwässern und aus nicht landwirtschaftlichen Oberflächenabläufen tragen mit jeweils knapp 15 % zur Gesamtemissionsmenge bei (UBA 2009a). Der landwirtschaftlich bedingte Bilanzüberschuss ist regional sehr unterschiedlich. Die größten Salden verzeichnen Regionen mit hohem Tierbesatz, vor allem in Nordwestdeutschland.

Emissionspfade und Umweltwirkungen reaktiver Stickstoffverbindungen

Reaktive Stickstoffverbindungen können nur in begrenztem Umfang im Boden gespeichert werden. Werden sie nicht von Pflanzen aufgenommen, unterliegen sie aufgrund ihrer einfachen Transformierbarkeit und ihrer hohen Mobilität der Gefahr, auf verschiedenen Austragswegen in die Umwelt zu gelangen:

- Auswaschung von Nitrat (NO_3) ins Grundwasser
- Austrag von Nitrat durch Erosion und Auswaschung in Oberflächengewässer
- gasförmige Entbindung von Ammoniak (NH_3) und Lachgas (N_2O)
in die Atmosphäre

Die an die Hydro- und Atmosphäre verloren gehenden N-Mengen lassen sich durch Bilanzierungen der N-Flüsse auf Betriebs-, Flächen- und Stallebene sowie der Veränderungen der N-Vorräte der Böden abschätzen. Gutser und Rühling (2002) ermittelten für einen integriert wirtschaftenden Gemischtbetrieb mit $0,6 \text{ GV ha}^{-1}$ einen N-Verlust von $82 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, der sich wie folgt zusammensetzte: N_2 : 27 kg N, NO_3 : 27 kg N, NH_3 : 20 kg N, N_2O : 8 kg N. Insgesamt ist die Datenlage zu den Verlustpfaden auf der Ebene der landwirtschaftlichen Betriebe bisher nur unzureichend.

Die Nitrat auswaschung ins Grundwasser führt zu Nitratanreicherungen, die die Qualität von Trinkwasser beeinträchtigen. Nitrateinträge in Oberflächengewässer führen zu deren Eutrophierung. 77 % der N-Einträge in Oberflächengewässer, die

gegenüber Stickstoffverbindungen unterschiedlich empfindlich sind, stammen aus der Landwirtschaft (UBA 2011). Von der flächendeckenden Zunahme der Stickstoffbelastung sind vor allem die natürlicherweise ganzjährig stickstofflimitierten Binnenseen des nordostdeutschen Tieflandes besonders betroffen. Diese schützenswerten Ökosysteme verschwinden wegen der N-Einträge und werden schrittweise durch andere Lebensgemeinschaften ersetzt (UBA 2009b). Auch in Flüssen reagieren aquatische Organismen empfindlich auf hohe Stickstoffgaben, so zum Beispiel die früher massenhaft vorkommende Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*) oder die Bachmuschel (*Unio crassus*). Die Jungtiere der Bachmuschel überleben Nitratkonzentrationen in Höhe von etwa 2 mg/l nicht (Zettler und Jueg, 2001).

Die gasförmige Entbindung von Lachgas trägt zur Erwärmung der Erdatmosphäre und zur Ozonzerstörung in der Stratosphäre bei. In die Atmosphäre eingetragenes Ammoniak wird durch Luftströmungen transportiert und gelangt vor allem über nasse Deposition wieder in terrestrische oder aquatische Ökosysteme. Dort wirken Ammonium und Ammoniak eutrophierend und versauernd. Die unbeabsichtigte N-Düngung natürlicher oder naturnaher Ökosysteme führt zu Veränderungen in der Zusammensetzung der Biozöosen, und zwar unabhängig davon, ob es sich um niedrige oder hohe Niveaus der Stickstoffzufuhr handelt. Die an nährstoffarme Bedingungen angepassten Pflanzenarten werden von nitrophilen Arten verdrängt UBA (2011). Da die meisten Tierarten an spezielle Pflanzenarten gebunden sind, verringert sich in Folge auch die Vielfalt der Tierarten. So nahm nach Untersuchungen von Stevens et al. (2004) die Artenzahl in untersuchten Flächen mit steigender Stickstoffdeposition ab (um eine Art je $2,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Bezogen auf die durchschnittliche europäische N-Deposition entspricht dies einem Rückgang des Artenreichtums um 23 %.

Die Landwirtschaft verursacht etwa 14 % der globalen Treibhausgase. Davon sind 38 % auf die Anwendung von Düngemitteln (N_2O) zurückzuführen, genauso viel wie die CH_4 - und N_2O -Emissionen der Tierhaltung (Stern 2007). Für Deutschland ermittelten Dechow und Freibauer (2010) für das Jahr 2007 direkte und indirekte N_2O -Emissionen aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung in Höhe von rund 27 Mio. t CO_2 -Äquivalente, was einem Anteil von rund 2,7 % der gesamten anthropogenen Treibhausgasemission in Deutschland entspricht. Nach Dämmgen (2005) sind die direkten Lachgasemissionen (in Mio. t CO_2 -Äquivalent) aus landwirtschaftlich genutzten Böden auf die Anwendung von Mineraldünger (10,7), die Anwendung von organischen Düngern (6,0), die Bewirtschaftung organischer Böden (5,3), auf Tierexkremate der Weidehaltung (1,3), auf den Abbau von Ernterückständen (1,2) und den Leguminosenanbau (0,5) zurückzuführen.

Ressourcenaufwand für die Bereitstellung von pflanzenverfügbarem Stickstoff

Die Beanspruchung knapper Ressourcen ist ein zentrales Kriterium der Umweltrelevanz und Nachhaltigkeit. Pflanzenverfügbare Stickstoffverbindungen werden entweder über die symbiotische N-Fixierung oder mit Hilfe des Haber-Bosch-Verfahrens gewonnen. Beide Wege benötigen für die Umwandlung von elementarem Luftstickstoff (N_2) in pflanzenverfügbare N-Formen knapp 30 GJ pro Tonne Stickstoff. FAOSTAT (2011) beziffert für 2008 den weltweiten Einsatz von mineralischem N-Dünger auf 99,2 Mio. t, für die EU 27 auf 10,2 Mio. t N und für Deutschland auf 1,56 Mio. t N. Der Energieaufwand für die Bereitstellung der in Deutschland eingesetzten mineralischen N-Dünger beträgt 46,8 Petajoule oder 1,8 % des Endenergieverbrauchs.

Bei der Bereitstellung von reaktivem Stickstoff durch Leguminosen wird der

erforderliche Energiebedarf über die Photosynthese der Pflanzen in Form von 16 ATP für die Umwandlung eines N_2 -Moleküls in zwei NH_3 -Moleküle gedeckt. Vereinfacht gerechnet könnten anstelle der Produktion von 1 kg reaktivem Stickstoff rund 2 kg Biomasse produziert werden. Statt der Nutzung externer, noch immer überwiegend fossiler Energie führt die symbiontische N-Fixierung zu einer höheren Flächeninanspruchnahme. Der hohe Energiebedarf sollte Anlass für erhöhte Anstrengungen sein, reaktive N-Verbindungen in Abwässern nicht zu elementarem Stickstoff zu reduzieren, sondern wieder als Dünger verfügbar zu machen.

Lösungsansätze zur Verringerung des Stickstoffsaldos

Die Vielzahl der unerwünschten Wirkungen reaktiven Stickstoffs erfordert eine deutliche Verminderung des Stickstoffsaldos. Dieses Ziel sollte möglichst ohne Abstriche bei den Flächenerträgen erreicht werden, denn zusätzlicher Flächenbedarf führt zu einem verstärkten Landnutzungswandel und damit zu anderen, vielschichtigen Umweltproblemen. Würde das Ziel der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie erreicht, die Bilanzüberschüsse von derzeit ca. $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf $80 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zu senken, so ließen sich bei einem proportionalen Rückgang allein die Lachgas-Emissionen um ca. 3,4 Mio. t CO_2 -Äquivalente pro Jahr senken.

Auf verschiedenen Ebenen wird an Lösungsansätzen gearbeitet. Das Umweltbundesamt hat eine Strategie zur Minderung von Stickstoff-Emissionen vorgelegt (UBA 2009a). Auch auf europäischer Ebene wurde jüngst eine umfassende Studie vorgelegt (Sutton et al. 2011b). Übereinstimmend wird festgestellt, dass nur ganzheitliche Lösungsansätze zielführend sind, im Gegensatz zum ganz überwiegend sektoralen Vorgehen bisheriger Umweltpolitik nach Umweltmedien (Wasser, Luft, Boden), Schutzziel (Klima, Biodiversität) bzw. Stickstoffform (Nitrat, Ammoniak, Lachgas). Gefordert wird eine Gesamtbetrachtung der Stickstoffkaskaden, um die unerwünschten Wirkungen reaktiver N-Verbindungen zu minimieren und gleichzeitig bei geringst möglichem Energieeinsatz die Nahrungs- und Futtermittelproduktion unter dem Blickwinkel Flächeneffizienz zu optimieren.

Langfristig könnte die Pflanzenzüchtung wichtige Beiträge zur Verminderung von N-Verlusten liefern. Eine bessere Stickstoffverwertung ließe sich erreichen, wenn ein bestimmter Ertrag auch mit geringeren N-Gehalten im Boden erzielt werden könnte. So berichtet Gilbert (2010), dass dem Mais ein Gen der Rotalge *Porphyra perforata* übertragen wurde, welches das Enzym Nitratreduktase codiert und die N-Zufuhr auch bei sehr geringen N-Konzentrationen in der Bodenlösung ermöglicht.

Als wesentliche Elemente zur Steigerung der N-Effizienz insgesamt sehen Oenema et al. (2011) stickstoffreduzierte Fütterungsstrategien in der Tierhaltung, die verlustarme Lagerung und vor allem Ausbringung organischer Dünger, die Entwicklung emissionsarmer Ställe und die Verringerung von Ammoniakverlusten bei der Anwendung mineralischer N-Dünger an.

Organische Düngung – Neues Denken ist gefragt

In Deutschland werden jährlich in 1,2 Mio. t N in Form von Wirtschaftsdünger ausgebracht (KTBL 2005). Eine bedeutende Verlustquelle ist die Ausbringung. Als wirksamste Maßnahme der N-Emissionsminderung wird die direkte Einbringung organischer Dünger in den Boden angesehen. So ergab eine vergleichende Auswertung von Feldversuchen zu verschiedenen Injektionsverfahren von Gülle, dass im Vergleich zur Gülleverteiler über Prallteller eine Verminderung der Ammoniak-Verluste von durchschnittlich 37 % bis 95 % erreicht werden konnte (Webb et al. 2010).

Ob die derzeit übliche Form der Entsorgung tierischer Exkremente über die Flüssigmistkette mittel- und langfristig Bestand haben wird, ist zu hinterfragen. Ob im Stall, bei der Lagerung, dem Transport oder der Ausbringung, die Verlustquellen lassen sich kaum vollständig beseitigen. Hinzu kommt noch, dass die Nährstoffzusammensetzung nicht ausreichend genau dem Pflanzenbedarf entspricht. Im Falle einer wahrscheinlichen weiteren Konzentration der Tierhaltung und einer möglicherweise gesetzlich vorgeschriebenen Abluftreinigung, die nur für größere Ställe ökonomisch realisierbar erscheint, werden Aufbereitungsverfahren für Urin und Kot entwickelt werden müssen, die heutige Gülleverfahren ersetzen. Sie führen im Idealfall zu transport- und handelsfähigen Düngern, die vergleichbar zu Mineraldüngern gezielt eingesetzt werden können.

Mineralische Düngung

Auch beim Einsatz von mineralischen N-Düngern kommt es zu N-Verlusten. Das IPCC kalkuliert, dass 1,25 % der gedüngten Stickstoffmenge als Lachgas entweicht. Verluste treten auch in Form von Ammoniak auf. Ihre Größenordnung schwankt zwischen 2,4 % bei Kalkammonsalpeter und bis zu 30 % bei Harnstoff (Schmidhalter et al. 2010). Ein verringerter Einsatz von Harnstoffdüngern kann Ammoniakverluste um bis zu 15 % senken (UBA 2009b). Lösungsansätze bieten auch Ureaseinhibitoren. Sie können die Verluste im Ackerbau um durchschnittlich 40 % und im Grünland um 60 % bis 90 % senken (Schmidhalter et al. 2010).

Übergeordnetes Ziel der Stickstoffdüngung ist es, einerseits hohe Erträge zu erreichen, andererseits zu Vegetationsende geringst mögliche Mengen an reaktivem N im Boden zu hinterlassen. Verschiedene Ansätze können zielführend sein. Ein wichtiger Ansatz ist die teilflächenspezifische Düngerbemessung. Die sensorgesteuerte Stickstoffausbringung hat Eingang in die Praxis gefunden, befindet sich aber noch am Anfang ihrer Entwicklung. Der Einsatz der GPS-Technik ermöglicht in Reihenkulturen eine präzise Ablage des Düngers vor der Aussaat in bzw. unter die Pflanzenreihe.

Zur Minderung unerwünschter N-Verluste können auch verbesserte Bemessungsverfahren für die N-Düngermenge beitragen. Das Umweltbundesamt schätzt die Minderung der N-Verluste durch Optimierung der Düngermenge auf 12 % (UBA 2009b). Benötigt wird eine präzisere Prognose der N-Nachlieferung aus dem Boden und des Bedarfs der Pflanzenbestände durch eine verbesserte Ertragsprognose. Derzeit laufen Versuche, auf Referenzflächen, die auf verschiedenen typischen Boden- und Standortverhältnissen eingerichtet werden, die N-Mineralisation fortlaufend zu messen und sie mit Hilfe von Rechenmodellen für möglichst viele Standorte abzuschätzen. Gekoppelt mit einer N-Bedarfsprognose kann der N-Bedarf prognostiziert werden (Baumgärtel et al. 2010). Derzeit wird ein Prototyp zur Bemessung der N-Düngermenge im Weizen auf der Entscheidungsunterstützungsplattform ISIP erprobt.

Schlussfolgerungen

Trotz gesetzlicher Vorgaben und Regelungen zur Stickstoff-Emissionsminderung wurden die gesetzten Ziele zur Minderung von Freisetzungen reaktiver Stickstoffverbindungen nicht erreicht. Das bisherige sektorale Stickstoff-Management hat sich als nicht ausreichend effektiv erwiesen. Um tragfähige Lösungen zur Verminderung unerwünschter Nebenwirkungen des Stickstoffeinsatzes in der Düngepraxis zu etablieren, bedarf es nicht nur der Überwindung sektoraler Betrachtungen, sondern

auch komplexer Bewertungen, die weit über die reine Bilanzierung von Stickstoffverbindungen hinausgehen und für die Optimierung von Düngerstrategien geeignet sind. Erste, auf der Methode des Life Cycle Assessment (LCA) beruhende Ansätze z. B. von Brentrup et al. (2004) sind weiter zu entwickeln.

Literatur

- Baumgärtel, G., H. Kage, J. Böttcher 2010: Neue internetgestützte Wege zur Optimierung der N-Düngeberatung. Unveröffentlichter Forschungsbericht.
- BMELV 2010: Statistische Monatsberichte 4/2010.
- Brentrup, F., J. Küsters, J. Lammel, P. Barraclough, H. Kuhlmann 2004: Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA). Methodology: II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy* 20:265-279.
- Dämmgen, U. (ed.) 2005: Calculations of emissions from German agriculture: National Emission Inventory Report (NIR). *Landbauforschung Völknerode - Sonderheft* 291A. http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/zi039213.pdf.
- Dechow, R., A. Freibauer 2010: Direkte Lachgasemissionen landwirtschaftlich genutzter Böden in Deutschland: Anwendung und Vergleich empirischer Modelle. *KTBL-Schrift* 483:258-262.
- FAOSTAT 2011: <http://faostat.fao.org/site/575/DesktopDefault.aspx?PageID=575#ancor>.
- Gilbert, N. 2010: Inside the Hothouses of Industry. *Nature* 466:548-550.
- Gutser, R., I. Rühling 2002: Stickstoffflüsse im landwirtschaftlichen Betrieb. Statusseminar GSF Neuherberg, *FAM-Bericht* 55:85-90. www.wzw.tum.de/pe/publikationen/pdf/sd562.pdf.
- KTBL 2005: Faustzahlen für die Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.), Darmstadt, 13. Auflage, 1095 S.
- Oenema, O., J. Salomez, C. Branquinho, M. Budňáková, P. Čermák, M. Geupel, P. Johnes, C. Tompkins, T. Spranger, J.W. Erisman, C. Pallière, L. Maene, R. Alonso, R. Maas, J. Magid, M.A. Sutton, H., van Grinsven 2011: Developing integrated approaches to nitrogen management. In: Sutton, M.A., C.M. Howard, J.W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. van Grinsven, B. Grizzetti (eds.) *The European nitrogen assessment - Sources, effects and policy perspectives*. Cambridge University Press, 541-550.
- Roy R.N., A. Finck, G.J. Blair, H.L.S. Tandon 2006: Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. *FAO fertilizer and plant nutrition bulletin* 16.
- Schmidhalter, U., M. Schraml, A. Weber, R. Gutser 2010: Ammoniakemissionen aus Mineräldüngern - Versuchsergebnisse auf mitteleuropäischen Standorten. Vortrag KTBL/vTI-Tagung 08.-10.12.2010, Bad Staffelstein, *KTBL-Schrift* 483:93-102.
- Smil, V. 1999: Nitrogen in crop production: An account of global flows. *Global biogeochemical cycles* 13:647-662.
- Stern, N. 2007: *The economics of climate change: The Stern Review*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Stevens, C.J., N.B. Dise, J.O. Mountford, D.J. Gowing 2004: Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. *Science* 303:1876-1879.
- Sutton, M.A., O. Oenema, J.W. Erisman, A. Leip, H. van Grinsven, W. Winiwarter 2011a: Too much of a good thing. *Nature* 472:159-161.
- Sutton, M.A., C.M. Howard, J.W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. van Grinsven, B. Grizzetti (eds.) 2011b: *The European nitrogen assessment - Sources, effects and policy perspectives*. Cambridge University Press.
- UBA 2009a: Integrierte Strategie zur Minderung von Stickstoffemissionen. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3813.pdf>.
- UBA 2009b: Hintergrundpapier zu einer multimedialen Stickstoff-Emissionsminderungsstrategie. <http://www.umweltbundesamt.de/luft/downloads/emissionen/hg-stickstoffemissionsminderungsstrategie.pdf>.
- UBA 2011: Daten zur Umwelt – Umwelt und Landwirtschaft. 98 Seiten. <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de>.
- Webb, J., B. Pain, S. Bittman, J. Morgan 2010: The Impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response - A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137:39-46.
- Zettler, M.L., U. Jueg 2001: Verantwortung für wenig populäre Tiergruppen? Beispiel Egel, Höhere Krebse und Mollusken. *Pustilla* 4:76-80.

Beitrag der Stickstoffversorgung zur Produktqualität bei Getreide und Kartoffeln

Elke Pawelzik

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen. E-Mail: epawelz@gwdg.de

Einleitung

Stickstoff (N) hat als essentieller Nährstoff in der wachsenden Pflanze vielfältige physiologische Funktionen im Hinblick auf die Ertrags- und Qualitätsbildung. Diese betreffen die Trockenmasse- und insbesondere die Proteinbildung. Vor dem Hintergrund steigender Anforderungen an die Produktivität landwirtschaftlicher Produktionssysteme, der Berücksichtigung möglicher Umweltwirkungen durch Düngemittel und zunehmend begrenzter Ressourcen werden Kenntnisse über eine effiziente Nutzung zugeführter Pflanzennährstoffe immer bedeutsamer.

Im Folgenden wird am Beispiel von Weizen und Kartoffeln gezeigt, welche Wirkungen die N-Versorgung, auch in Interaktion mit anderen Nährstoffen, insbesondere auf die Proteine haben kann und wie sich dies in ausgewählten Qualitätsmerkmalen widerspiegelt. Im Weizen werden durch die N-Zufuhr vor allem die für die Verarbeitung relevanten Speicherproteine in ihrem Gehalt und ihrer Zusammensetzung hinsichtlich der Untereinheiten beeinflusst. In Kartoffeln werden durch die N-Versorgung vor allem funktionelle Proteine angesprochen bzw. der Stickstoff kann in Form intermediärer oder permanenter Verbindungen gespeichert werden.

Wirkung der N-Düngung bei Getreide

Die Stickstoffversorgung bei Getreide ist unter Qualitätsaspekten vor allem in Bezug auf den Proteingehalt und die Proteinzusammensetzung von Bedeutung. Im Weizen entscheidet zunächst die Höhe des Proteingehaltes über die weitere Verwendung als Lebens- oder Futtermittel. Für die Erzeugung unterschiedlicher Backwaren (Brot und Kleingebäck) werden dann wiederum verschiedene Anforderungen an den Proteingehalt gestellt. Die Auswertung langjähriger Daten zum Zusammenhang zwischen Proteingehalt des Kornes und Backvolumen zeigt, dass die alleinige Berücksichtigung des Proteingehaltes von begrenzter Aussagefähigkeit für die Backeigenschaften ist, da deren Variabilität nur zu 20 bis 47 % durch den Proteingehalt erklärt werden kann (Seling, 2010). Von größerer Bedeutung für die Backfähigkeit ist die Zusammensetzung der daran beteiligten Proteine.

Im Weizen bilden die Speicherproteine Gliadine und Glutenine die Hauptkomponenten von Gluten, welches die rheologischen Teig- und Backeigenschaften hauptsächlich bestimmt. Gliadine, die als Monomere vorliegen, beeinflussen die Teigdehnbarkeit, während Glutenine, die Polymere bilden, vor allem die viskoelastischen Teigeigenschaften bestimmen (Shewry, 2009). Darüber hinaus können nicht-membrangebundene amphiphile Proteine, die zu den Struktur- und metabolischen Proteinen zählen, ebenfalls die rheologischen Teigeigenschaften sowie die Kornhärte beeinflussen (Dubreil et al., 1998). Die Zusammensetzung der Proteine ist zwar genetisch determiniert, dennoch können Wachstumsbedingungen sowie Genotyp- und Standortinteraktionen von signifikantem Einfluss sein. Der mit zunehmender N-Verfügbarkeit gegebene Anstieg im Proteingehalt spiegelt sich in den Gehalten an Gliadinen und Gluteninen wider. Dabei ist in der Regel der prozentuale Anstieg der Gli-

dine höher als der der Glutenine, wobei Sortenunterschiede erkennbar sind (Wieser u. Seilmeier, 1998). Nicht-glutenbildende Proteine werden dagegen eher bei geringer N-Verfügbarkeit gebildet (Shewry, 2007).

In zweijährigen Versuchen an zwei Standorten mit zwei N-Düngungsstufen wurde ermittelt, dass steigende Gliadin- und Gluteningehalte mit der Teigentwicklungszeit signifikant korrelierten, das Backvolumen jedoch nur mit dem Gliadinegehalt in signifikanter Beziehung stand (Pechanek et al., 1997). Da die Gliadine die Teigdehnbarkeit bestimmen, kann somit u. U. eine nachteilige Wirkung für das rheologische Verhalten des Glutens insgesamt gegeben sein, so dass neben dem Gehalt an den einzelnen Proteinfractionen das Verhältnis von Gliadinen zu Gluteninen von Bedeutung für die Teig- und Backeigenschaften ist. Weitere Wirkungen einer steigenden N-Düngung sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Bezüglich der Untereinheiten der Gliadine und Glutenine ergibt sich kein konsistentes Bild, da sowohl Zu- als auch Abnahmen bei den untersuchten Fraktionen (α -, γ -, ω -Gliadine, HMW- und LMW-Glutenine) ermittelt wurden (Godfrey et al. 2010; Wieser u. Seilmeier, 1998; Pechanek et al., 1997).

Der Einfluss unterschiedlicher Stickstoffversorgung auf die bevorzugte Anreicherung einzelner Fraktionen der Speicherproteine ist auch in anderen Getreidearten nachweisbar (Eggert et al., 2010).

Tab. 1: Wirkungen einer steigenden N-Düngung bei Weizen auf die Proteinzusammensetzung und -funktionalität (Datengrundlage: Godfrey et al. 2010; Pechanek et al., 1997)

Parameter	Durchschnittliche prozentuale* Veränderung im Vergleich zur ungedüngten Variante	
	Zunahme	Abnahme
Proteinfraction		
Nicht-glutenbildende Proteine		20 – 25
Gliadine, gesamt	5 – 30	
Glutenine, gesamt	< 1 – 20	
Gliadin-/Glutenin-Verhältnis	<1 – 20	<1 – 20
Teigeigenschaften		
Entwicklungszeit (min)	1 – 4	
Stabilität (min)	3 – 8	
Erweichung (BU)		30 – 60
Backvolumen (ml)	30 – 70	

*nur bei Proteinen; Einheiten Teig- und Gebäckeeigenschaften s. linke Spalte

BU: Brabender Unit

Die Zusammensetzung der Speicherproteine wird neben Stickstoff auch von der Schwefelversorgung bzw. dem Stickstoff-Schwefel-Verhältnis beeinflusst, da Gliadine und Glutenine Schwefel zum Aufbau intra- und intermolekularer Disulfidbindungen benötigen.

Untersuchungen zu den Wirkungen einer S-Düngung auf die Proteine des Weizens und damit im Zusammenhang stehende Backeigenschaften sind insbesondere in den letzten beiden Jahrzehnten durchgeführt worden. Es wurde u.a. ermittelt, dass das Gebäckvolumen durch S-Düngung in einem Vollkorngebäck im Vergleich zu einer ungedüngten Variante bereits um 15–20 % gesteigert wird (Zörb et al., 2009), so dass angenommen werden kann, dass bei Verwendung von Mehlen

mit niedrigem Ausmahlungsgrad diese Steigerung sortenabhängig noch höher ausfallen dürfte. Die Wirkungen von Schwefel in Relation zur Stickstoffversorgung sind auch vor dem Hintergrund der Beteiligung von freien Aminosäuren und Amiden an der Acrylamidbildung in Backwaren von Bedeutung. Schwefelmangel kann zu einer erheblichen Anreicherung von Asparagin führen, wie in den einjährigen Gefäßversuchen von Granvogl et al. (2007) gezeigt werden konnte. Danach führte eine Reduzierung der S-Düngung um 80 % im Vergleich zur optimal versorgten Variante zu einem mehr als 160-fachen höheren Gehalt an Asparagin, was eine 33-fach stärkere Acrylamidbildung zur Folge hatte. Bei Schwefelmangel kommt es aufgrund des begrenzten S-Angebotes zu Änderungen in der Zusammensetzung der Proteinfractionen, wobei S-arme Fraktionen zugunsten von S-reichen Fraktionen bevorzugt synthetisiert werden (Zörb et al., 2010). Dies kann dann mit einer Zunahme an Asparagin verbunden sein.

Bei ausreichender Schwefelversorgung muss eine zusätzliche S-Applikation nicht zwingend zu einer weiteren Absenkung des Asparagingehaltes führen. Die zweijährigen Feldversuche von Weber et al. (2008) zeigten, dass es bei Anwendung verschiedener N-Formen, kombiniert mit einer S-Variante, in Abhängigkeit von Sorte, Düngung und Jahr zu Steigerungen von 60 bis 283 % im Asparagingehalt kam. Die zusätzliche Applikation von Schwefel bei Zufuhr von Calciumammoniumnitrat hatte dagegen keinen signifikanten Einfluss auf den Gehalt an Asparagin (Weber et al., 2008).

Die bisher publizierten Ergebnisse, zum Einfluss sich ändernder N- und/oder S-Zufuhr auf molekularer Basis ermöglichen, physiologische Mechanismen in der Pflanze als System genauer zu beschreiben, und tragen dazu bei, daraus resultierende Wirkungen für rheologische Eigenschaften der Gliadine und Glutenine interpretieren zu können. Für die Beurteilung der N-Wirkung auf die Verarbeitungseigenschaften von Backweizen ist das Einbeziehen von Schwefel unerlässlich, da ein ausgewogenes Verhältnis beider Nährstoffe das Potential für nachteilige Veränderungen in der Zusammensetzung der Proteinfractionen und damit den Verarbeitungseigenschaften reduzieren kann.

Wirkung der N-Düngung bei Kartoffeln

Die Stickstoffversorgung beeinflusst neben dem Ertrag und der Knollengröße insbesondere die spezifische Dichte der Knollen und deren Proteingehalt sowie die Formen, in denen Stickstoff gespeichert wird. Im Unterschied zu Getreide sind die Proteine der Kartoffel vor allem durch einen hohen Lysingehalt gekennzeichnet und entsprechen im Hinblick auf ihre biologische Wertigkeit nahezu der des Hühnereis (Storey, 2007). Eine weitere Besonderheit der Kartoffelproteine besteht darin, dass sie zu 50 % aus Nicht-Protein-Stickstoffverbindungen bestehen, wozu freie Aminosäuren, Asparagin, Glutamin und Nitrat zählen (Woolfe, 1996). Aufgrund ihres hohen Ertragspotentials haben Kartoffeln einen hohen Bedarf an Stickstoff und weiteren Makroelementen. Die Wirkung der N-Zufuhr auf die o.g. Parameter wird von einer Reihe von Faktoren, wie Sortenpotential, Jahreswitterung, Standort und der Relation der N-Zufuhr zu anderen Nährstoffen, wie Kalium, Phosphor und Magnesium beeinflusst. Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass Effekte einer überhöhten oder reduzierten N-Düngung sehr deutlich von Sorte zu Sorte schwanken können (u.a. de Wilde et al., 2006; Rogozińska et al., 2005; Bélanger et al., 2002).

Während für unterschiedliche N-Düngerformen ein Einfluss auf die Aufnahme anderer Nährstoffe nicht eindeutig gegeben ist, lassen sich Effekte hinsichtlich der Akkumulation von unterschiedlichen N-Speicherverbindungen in der Knolle

nachweisen. In Nährlösungsversuchen wurde ermittelt, dass die Ernährung der Pflanzen mit Ammonium-N vor allem zur Bildung von Asparagin und Asparaginsäure in den Knollen führte, während nach Nitrat-N-Zufuhr zunächst auch Asparagin in die Knollen transportiert, dann jedoch metabolisiert und überwiegend in Form von Asparaginsäure, Glutaminsäure und γ -Aminobuttersäure gespeichert wurde. Generell konnte gezeigt werden, dass Nitrat-N vor allem in die Blätter verlagert wurde und dort das vegetative Wachstum förderte, während Ammonium-N primär in die Knollen verlagert wurde (Osaki et al., 1995).

Die Anreicherung von Asparagin in der Kartoffelknolle ist im Hinblick auf die Acrylamidbildung in frittierten Kartoffelprodukten von sekundärer Bedeutung, da im Gegensatz zu Getreide der Gehalt an reduzierenden Zuckern der limitierende Faktor für die Bildung von Acrylamid ist (de Wilde et al., 2006). Mehrere Studien zeigen, dass Sortenpotential und Jahreswitterung hinsichtlich der Akkumulation von reduzierenden Zuckern von größerem Einfluss sind als die Höhe der N-Düngung. Allerdings zeigte sich in einem Feldversuch, dass bei um 50 % reduzierter oder fehlender N-Zufuhr ein deutlicher Anstieg an reduzierenden Zuckern erfolgte, der sortenabhängig zwischen 80 und 100 % variierte (u.a. de Wilde et al., 2006).

Im Hinblick auf die Produktsicherheit ist auch die Speicherung von Stickstoff in Form von Nitrat zu beachten. Dreijährige Anbauversuche zeigen, dass eine steigende N-Düngung den Nitratgehalt in Kartoffeln erwartungsgemäß erhöht, dass jedoch eine gleichzeitige Mg-Düngung mit zunehmender Konzentration zu einer um maximal 10 % geringeren Nitratbildung im Vergleich zur ungedüngten Variante führt (Tab. 2) (Rogozińska et al., 2005), was u.a. mit der Beteiligung von Magnesium an der Proteinsynthese begründet werden kann (Klein et al., 1982).

Tab. 2: Nitratgehalt in Kartoffeln in Abhängigkeit von N- und Mg-Zufuhr (Rogozińska et al., 2005)

N-Zufuhr (kg ha ⁻¹)	Nitratgehalt (mg kg ⁻¹ FM)					
	MgO-Zufuhr (kg ha ⁻¹)					
	0	15	30	45	60	75
80	181,8	171,9	172,8	173,7	167,0	167,2
160	203,9	204,0	201,7	199,4	194,8	193,8

SD: 2,2 %; Faktor N: *; Faktor Mg: *; *p < 0,05

Die Höhe des Nitratgehaltes wird nicht nur von der Nährstoffzufuhr bestimmt, sondern variiert sortenabhängig auch in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt, wobei ein Erntetermin nach z.B. weniger als 110 Tagen Wachstumsperiode zu höheren Nitratgehalten führen kann (Ierna, 2009).

In mehrjährigen Feldversuchen wurde nachgewiesen, dass eine Zufuhr von 150 kg N ha⁻¹ zu einer verstärkten Aufnahme von Mg durch die Pflanze führte, wobei die Zunahme von der jeweiligen Jahreswitterung abhing und zwischen 10 und 70 % betrug. Eine Rate von 300 kg N ha⁻¹ führte zu einer geringeren Mg-Aufnahme durch die Knollen. Dies kann u.a. darauf zurückgeführt werden, dass durch hohe N-Versorgung die Seneszenz verzögert und damit auch die Translokation von Magnesium aus dem Kraut in die Knollen wird (Allison et al., 2001).

Zusammenfassung

Die Versorgung der Pflanze mit Stickstoff trägt nicht nur maßgeblich zur Ertragsbildung bei, sondern entscheidet oftmals über die weitere Verwendung der Ernteprodukte. Die N-Düngung erfordert aufgrund ihrer Umweltwirkungen und ihres

Einflusses auf qualitäts- und verarbeitungsbezogene Faktoren der Ernteprodukte eine kontinuierliche Beachtung und Überprüfung. Eine Herausforderung stellt die Identifizierung und Anwendung optimaler N-Versorgungsstufen dar, da es enge Wechselwirkungen mit Umweltfaktoren, weiteren zugeführten Nährstoffen und dem jeweiligen Sortenpotential gibt. Da Stickstoff hinsichtlich der Qualitätsbildung sowohl positive Wirkungen (Proteinbildung) als auch nachteilige Wirkungen entfalten kann (Akkumulation von Nitrat, Beeinträchtigung von Syntheseprozessen), werden diese Erwägungen bei Entscheidungen über die Höhe der N-Zufuhr zunehmend berücksichtigt.

Literatur

- Allison, M.F., Fowler, J.H., Allen, E.J. 2001: Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (*Solanum tuberosum*). *Journal of Agricultural Science* 137:397-409.
- Bélanger, G., Walsh, J.R., Richards, J.E., Milburn, P.H., Ziadi, N. 2002: Nitrogen fertilization and irrigation affects tuber characteristics of two potato cultivars. *American Journal of Potato Research* 79:269-279.
- de Wilde, T., de Meulenaer, B., Mestdagh, F., Govaert, Y., Vandeburie, S., Ooghe, W., Fraselle, S., Demeulemeester, K., van Peteghem, C., Calus, A., Degroodt, J.-M., Verhé, R. 2006: Influence of fertilisation on acrylamide formation during frying of potatoes harvested in 2003. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54:404-408.
- Dubreil, L., Méliande, S., Chiron, H., Compoint, J.-P., Quillien, L., Branlard, G., Marion, D. 1998: Effect of puroindolines on the breadmaking properties of wheat flour. *Cereal Chemistry* 75:222-229.
- Eggert, K., Wieser, H., Pawelzik, E. 2010: The influence of Fusarium infection and growing location on the quantitative protein composition of (Part II) naked barley (*Hordeum vulgare nudum*). *European Food Research and Technology* 230:893-902.
- Godfrey, D., Hawkesford, M.J., Powers, S.J., Millar, S., Shewry, P.R. 2010: Effects of crop nutrition on wheat grain composition and end-use quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58:3012-3021.
- Granvogel, M., Wieser, H., Köhler, P., von Tucher, S., Schieberle, P. 2007: Influence of sulphur fertilization on the amounts of free amino acids in wheat. Correlation with baking properties as well as with 3-aminopropionamide and acrylamide generation during baking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55:4271-4277.
- Ierna, A. 2009: Influence of harvest date on nitrate contents of three potato varieties for off-season production. *Journal of Food Composition and Analysis* 22:551-555.
- Klein, L.B., Chandra, S., Mondy, N.I. 1982: Effect of magnesium fertilization on the quality of potatoes: total nitrogen, nonprotein nitrogen, protein, amino acids, minerals and firmness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 30:754-757.
- Osaki, M., Shirai, J., Shinano, T., Tadano, T. 1995: Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants. *Soil Science & Plant Nutrition* 41:709-719.
- Pechanek, U., Karger, A., Gröger, S., Charvat, B., Schöggel, G., Lelley, T. 1997: Effect of nitrogen fertilization on quality of flour protein components, dough properties, and breadmaking quality of wheat. *Cereal Chemistry* 74:800-805.
- Rogoznińska, I., Pawelzik, E., Pobereźny, J., Delgado, E. 2005: The effect of different factors on the content of nitrate in some potato varieties. *Potato Research* 48:167-180.
- Seling, S. 2010: Bedeutung des Proteingehaltes von Backweizen aus Sicht der Wissenschaft. *Getreidetechnologie* 64:103-110.
- Shewry, P.R. 2007: Improving the protein content and composition of cereal grain. *Journal of Cereal Science* 46:239-250.
- Shewry, P.R. 2009: Wheat. *Journal of Experimental Botany* 60:1537-1553.
- Storey, M. 2007: The harvested crop. In: Vreugdenhil, D. (ed.) *Potato biology and biotechnology. Advances and perspectives*. Elsevier, Amsterdam, 441-470.
- Weber, E.A., Koller, W.-D., Graeff, S., Hermann, W., Merkt, N., Claupein, W. 2008: Impact of different nitrogen fertilizers and an additional sulfur supply on grain yield, quality, and the potential of acrylamid formation in winter wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171:643-655.
- Wieser, H., Seilmeier, W. 1998: The influence of nitrogen fertilization on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 76:49-55.
- Woolfe, J. 1996: Die Kartoffel in der menschlichen Ernährung. Behr's, Hamburg, 50-68.

- Zörb, C., Steinfurth, D., Seling, S., Langenkämper, G., Köhler, P., Wieser, H., Lindhauer, M.G., Mühling, K.H. 2009: Quantitative protein composition and baking quality of winter wheat as affected by late sulfur fertilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57:3877-3885.
- Zörb, C., Grover, C., Steinfurth, D., Mühling, K.H. 2010: Quantitative proteome analysis of wheat gluten as influenced by N and S nutrition. *Plant and Soil* 327:225-234.

Interaktion von N- und Wassernutzungseffizienz

Henning Kage

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

Einleitung

Die Stickstoffdüngung stellt nach wie vor einen wesentlichen Inputfaktor intensiver pflanzenbaulicher Produktionssysteme dar, der zur Sicherung der Ertragshöhe und der Qualität wesentlich beiträgt. So ist die Ausnutzung des Strahlungsangebotes durch einen Pflanzenbestand davon abhängig, dass ausreichend hohe Blattflächenindizes gebildet werden, zu deren Bildung wiederum eine ausreichend hohe N-Versorgung notwendig ist (Gillett et al. 1999). Ebenso ist zur Erreichung bestimmter Qualitätsparameter des Ernteproduktes, beispielsweise der Backqualität von Brotweizen eine ausreichende N-Versorgung essentiell (Martre et al. 2003).

Auf der anderen Seite sind mit einer Überversorgung von Pflanzenbeständen an Stickstoff negative Umweltwirkungen verbunden. Neben dem schon länger im Fokus pflanzenbaulicher Forschung stehenden Problem des N-Austrags in das Grundwasser tritt zunehmend der Effekt der N-Düngung auf den Klimagashaushalt landwirtschaftlicher Produktionssysteme in den Vordergrund des Interesses, bei der die N-Düngung durch den hohen Energiebedarf zur Herstellung von mineralischen N-Düngern und die mit N-Überschüssen verbundenen Lachgasemissionen eine zentrale Rolle spielt (Adler et al. 2007).

Im moderat humiden Klimaraum Mitteleuropas stellt Wasser nur ausnahmsweise einen gezielt zugeführten Produktionsfaktor dar, meist wird allein das natürliche Wasserangebot zur Produktion genutzt. Der zu erwartende Klimawandel und ertragreichere Sorten sowie Bodennutzungssysteme steigern jedoch den Wasserbedarf für die Pflanzenproduktion in Mitteleuropa und auf globaler Skala. Zunehmend wird daher die ertragsbegrenzende Wirkung des Faktors Wassers sichtbar (Araus et al. 2002), und es ist tendenziell mit einer Zunahme der Bewässerungsflächen zu rechnen. Die Erhöhung der Wassernutzungseffizienz in pflanzenbaulichen Produktionsverfahren stellt daher für sich genommen eine der dringendsten Fragen der aktuellen Agrarforschung dar (Cattivelli et al. 2008). Gleichzeitig besteht jedoch auch eine enge Interdependenz mit der Effizienz der Stickstoffnutzung. Unzureichende und insbesondere unsichere Wasserversorgung kann die Ausnutzung gedüngten Stickstoffs vermindern (King et al. 2003), umgekehrt wird bei nicht ausreichender N-Versorgung die Wassernutzungseffizienz sinken (Kirkegaard and Hunt 2010; Zhang et al. 1998; Olesen et al. 2000).

In Systemen, die ausschließlich auf natürlicher Wasserversorgung durch gespeicherte Bodenwasservorräte und Niederschläge beruhen, ergeben sich daher verschiedene Optimierungsprobleme. So ist das Intensitätsniveau der N-Düngung bei fehlender *ex ante*-Information auf eine mittlere Ertragserwartung abzustimmen, wodurch sowohl Ertrags- und Qualitätsverluste als auch Umweltbelastungen durch eine nicht jahresspezifisch optimale Düngungsintensität hervorgerufen werden können (Henke et al. 2007; Hochman et al. 2009).

Die Interaktion zwischen Stickstoff- und Wassernutzungseffizienz beruht auf verschiedenen Prozessen, die jeweils einzelne Komponenten der jeweiligen Nutzungseffizienzen betreffen.

Die Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) wird häufig als Summe von zwei Teilkomponenten, der N-Aufnahmeeffizienz und der N-Verwertungseffizienz aufgefasst (Moll et al. 1982). Diese können als Quotienten von N-Aufnahme zu N-Angebot bzw. Ertrag zu N-Aufnahme aufgefasst werden:

$$\text{NUE} = \frac{Y}{N_s} = \frac{Y}{N_u} \cdot \frac{N_u}{N_s} \quad (1)$$

N_u/N_s = Aufnahmeeffizienz

Y/N_u = Verwertungseffizienz (= $Y/N_y \cdot N_y/N_u$)

Y = Ertrag

N_y = N-Menge in Ernteprodukten

N_s = N-Angebot (Düngung + weitere Quellen)

N_u = N-Menge im Pflanzenaufwuchs

Die N-Aufnahmeeffizienz wird neben der Wurzelsystemarchitektur durch den Gehalt und die Verfügbarkeit des Bodenwassers beeinflusst (Kage 1997; King et al. 2003). Unter aeroben Bedingungen wird Stickstoff von Pflanzenwurzeln weit überwiegend als Nitrat aufgenommen. Da dieses Ion nicht an der Bodenmatrix sorbiert wird, ist es mobil und seine Konzentration in der Bodenlösung ist vergleichsweise hoch. Trotzdem reicht der Transport durch Massenfluss meist nicht aus, genügend Nitratstickstoff an die Wurzeln zu transportieren, und die Diffusion ist der meist dominierende Transportprozess (Kage 1996). Der zeitliche Verlauf der Bodenwassergehalte kann daher die N-Aufnahmeeffizienz maßgeblich beeinflussen (Barracough et al. 1989). Ebenso wichtig ist jedoch die Beeinflussung von Transformationsprozessen mineralischer und organischer Düngemittel sowie der organischen Bodensubstanz (Andren et al. 1993) durch den Wassergehalt des Bodens sowie sein Einfluss auf das Wurzelwachstum.

Die meisten Kulturpflanzen verfügen über ein genetisches Programm der Wurzelsystemarchitektur, das wahrscheinlich konkurrenzmotiviert ist. Demzufolge werden meist sehr hohe Wurzellängendichten im Oberboden erreicht, die oberhalb des Niveaus liegen, das für eine ausreichend rasche Aufnahme von Nitratstickstoff aus moderat trockenen Böden notwendig wäre. Durch Verlagerung von Stickstoff in tiefere Bodenschichten, z.B. durch überschüssige Bewässerung, gelangt Stickstoff jedoch in Bereiche, in denen kritische Werte der Durchwurzelungsintensität unterschritten werden, und es sind positive Effekte auf die N-Aufnahmeeffizienz durch höhere Wurzellängendichten zu erwarten (Wiesler and Horst 1994, Kage 1997).

Die Stickstoffverwertungseffizienz steigt *per definitionem* bei Körnerfrüchten mit dem Grad der Stickstofftranslokation aus den vegetativen in die generativen Pflanzenorgane. Diese Translokation ist genetisch determiniert, kann jedoch maßgeblich durch Umweltbedingungen und Management beeinflusst werden (Barbottin et al. 2005). Voraussetzung zur N-Translokation ist eine ausreichende Senkenstärke der generativen Organe sowie gleichzeitig eine ausreichende, „ungestörte“ Zeit, in der das genetisch programmierte Translokations- und Seneszenzprogramm der Pflanze ablaufen kann. Durch eine unzureichende Wasserversorgung kann dieser Prozess empfindlich gestört werden und eine Verringerung der N-Verwertungseffizienz auftreten (Barbottin et al. 2005; Barbanti et al. 2007).

Die Wassernutzungseffizienz (WUE) kann auf unterschiedliche Weisen definiert werden. Gebräuchlich sind Relationen zwischen Evapotranspiration und Gesamttrockenmasseertrag sowie Ernteertrag zu Evapotranspiration. Bei der Transpirationsnutzungseffizienz (TUE) wird der jeweilige Ertragsparameter zur Summe der Transpiration in Beziehung gesetzt. Die Transpirationsnutzungseffizienz wird wesentlich durch genotypische Faktoren sowie durch die Relation von Strahlungsangebot zu potentieller Evapotranspiration bestimmt (Kemanian et al. 2005). Die Gleichung (2) (Ehlers 1996) zeigt, dass eine hohe Wassernutzungseffizienz durch eine hohe Transpirationsnutzungseffizienz und/oder durch einen geringen Anteil der unproduktiven Verdunstungskomponenten Evaporation (E), Abfluss (A) sowie Sickerwasserbildung während der Vegetation (S) in Relation zur Transpiration erreicht werden kann.

$$WUE = \frac{TUE}{1 + \frac{(E + A + S + \Delta V)}{T}} \quad (2)$$

Positive Wirkungen zunehmender N-Verfügbarkeit auf die Wassernutzungseffizienz kommen durch unterschiedliche Mechanismen zustande. Generell steigt die Produktivität der Pflanzenbestände durch

- a) schnellere Blattflächenexpansion und damit höhere Strahlungsaufnahme und
- b) durch eine höhere Assimilationsrate je Einheit Blattfläche.

Durch den unter a) genannten Effekt sinkt der Anteil unproduktiver Verdunstung, wobei das relative Ausmaß stark von der jeweiligen Kulturart und den Bodenbedingungen abhängt, und die WUE kann unter Umständen steigen, zumindest bei Bezug auf die Gesamtbiomasse. Da jedoch die Strahlungsaufnahme je Blattflächeneinheit im Bereich des photosynthetisch aktiven Spektrums (PAR) deutlich höher ist als z.B. im nahinfraroten Bereich, steigt mit zunehmender Blattfläche die PAR-Aufnahme zunächst stärker als die verdunstungswirksame Aufnahme der Globalstrahlung. Hieraus kann sich eine sinkende WUE mit zunehmender Intensität der N-Düngung ergeben, zumindest wenn durch rasche Austrocknung des Oberbodens Evaporationsverluste vergleichsweise klein bleiben. Letzteres ist bei geringer Niederschlagshäufigkeit und grob texturierten Böden wahrscheinlicher. Darüber hinaus kann durch zu hohe N-Versorgung der Wasserverbrauch in der vegetativen Phase zuungunsten der Wasserverfügbarkeit in der generativen Phase erhöht werden (Cossani et al. 2010). Hieraus resultiert dann ein verringerter Harvest-Index und zumindest bei Bezug auf die Erntebiomasse eine Verringerung der WUE. Diesem Effekt kann die Selektion auf frühreifere Genotypen entgegenwirken (Debaeke 2004).

Sinkt die N-Konzentration in Blättern durch mangelnde N-Versorgung merklich ab, kommt es zu einer Verringerung der maximalen, lichtgesättigten Photosyntheserate, meist verbunden mit einer Verringerung der Stomataleitfähigkeit (Jarvis and Davies 1998). Trotz Verringerung der Transpirationsrate wird unter solchen Bedingungen die photosynthetische Leistung stärker zurückgehen und folglich die Transpirationsnutzungseffizienz sinken (Jensen et al. 1996). Verringerte Blattflächenexpansion und Adaptionsprozesse im Hinblick auf die N-Verteilung im Bestand (Leuning et al. 1995) können jedoch das Ausmaß der Reduktion der N-Konzentration begrenzen.

Zusammenfassend kann gefolgert werden, dass bei der Interaktion der Wasser- und N-Nutzungseffizienz eine Vielzahl von Prozessen beteiligt sind, die letztlich auf

höheren Skalenebenen zu einer Zunahme der Nutzungseffizienz des einen Wachstumsfaktors führen, wenn der andere in höherer Menge verfügbar ist. Diese Interaktion entspricht dem „Optimumgesetz“ Liebschers (Liebscher 1895). De Wit (1992) hat die nach wie vor relevanten Implikationen dieses Sachverhalts im Hinblick auf die Diskussion zur optimalen Intensität der Pflanzenproduktion treffend zusammengefasst: „*Therefore strategic research that is to serve both agriculture and its environment should not be so much directed towards the search for marginal returns of variable resources, as towards the search for the minimum of each production resource that is needed to allow maximum utilization of all other resources*“.

Literatur

- Adler, P.R., S.J. Del Grosso et al. 2007: Life-cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems. *Ecol. Appl.* 17:675-691.
- Andren, O., K. Rajkai et al. 1993: Water and temperature dynamics in a clay soil under winter-wheat - influence on straw decomposition and n-immobilization. *Biology and Fertility of Soils* 15:1-8.
- Araus, J.L., G.A. Slafer et al. 2002: Plant breeding and drought in C_3 cereals: What should we breed for? *Annals of Botany* 89:925-940.
- Barbanti, L., A. Monti et al. 2007: Nitrogen dynamics and fertilizer use efficiency in leaves of different ages of sugar beet (*beta vulgaris*) at variable water regimes. *Annals of Applied Biology* 150:197-205.
- Barbottin, A., C. Lecomte et al. 2005: Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: Genotypic and environmental effects. *Crop Science* 45:1141-1150.
- Barracough, P.B., H. Kuhlmann et al. 1989: The effects of prolonged drought and nitrogen-fertilizer on root and shoot growth and water-uptake by winter-wheat. *J. Agron. Crop Sci.-Z. Acker Pflanzenbau* 163:352-360.
- Cattivelli, L., F. Rizza et al. 2008: Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research* 105:1-14.
- Cossani, C.M., G.A. Slafer et al. 2010: Co-limitation of nitrogen and water, and yield and resource-use efficiencies of wheat and barley. *Crop Pasture Sci.* 61:844-851.
- Debaeke, P. 2004: Scenario analysis for cereal management in water-limited conditions by the means of a crop simulation model (stics). *Agronomie* 24:315-326.
- De Wit, C.T. 1992: Resource use efficiency in agriculture. *Agric. Syst.* 40:125-151.
- Ehlers, W. 1996: Wasser in Boden und Pflanze. Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag. Verlag Eugen Ullmer.
- Gillett, A.G., N.M.J. Crout et al. 1999: Simple winter wheat green area index model under uk conditions. *Journal of Agricultural Science* 132:263-271.
- Henke, J., G. Breustedt et al. 2007: Impact of uncertainty on the optimum nitrogen fertilization rate and agronomic, ecological and economic factors in an oilseed rape based crop rotation. *Journal of Agricultural Science* 145:455-468.
- Hochman, Z., H. van Rees et al. 2009: Re-inventing model-based decision support with australian dryland farmers. 4. Yield prophet (r) helps farmers monitor and manage crops in a variable climate. *Crop Pasture Sci.* 60:1057-1070.
- Jarvis, A.J., W.J. Davies. 1998: The coupled response of stomatal conductance to photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany* 49:399-406.
- Jensen, C.R., V.O. Morgensen et al. 1996: Leaf photosynthesis and drought adaptation in field-grown oilseed rape (*brassica napus* l). *Australian Journal of Plant Physiology* 23:631-644.
- Kage, H. 1996: Zur relativen Bedeutung des Massenflusses beim Nitrattransport zur Wurzel. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkde.* 160:171-178.

- Kage, H. 1997: Is low rooting density of faba beans a cause of high residual nitrate content of soil at harvest? *Plant and Soil* 190:47-60.
- Kemarian, A.R., C.O. Stöckle et al. 2005: Transpiration-use efficiency of barley. *Agricultural and Forest Meteorology* 130:1-11.
- King, J., A. Gay et al. 2003: Modelling cereal root systems for water and nitrogen capture: Towards an economic optimum. *Ann Bot* 91:383-390.
- Kirkegaard, J.A., J.R. Hunt 2010: Increasing productivity by matching farming system management and genotype in water-limited environments. *Journal of Experimental Botany* 61:4129-4143.
- Leuning, R., F.M. Kelliher et al. 1995: Leaf nitrogen, photosynthesis, conductance and transpiration: Scaling from leaves to canopies. *Plant, Cell and Environment* 18:1183-1200.
- Liebscher, G. 1895: Untersuchungen über die Bestimmung des Düngerbedürfnisses der Ackerböden und Kulturpflanzen. *Journal für Landwirtschaft* 43:49-216.
- Martre, P., J.R. Porter et al. 2003: Modelling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiol.* 133:1959-1967.
- Moll, R.H., E.J. Kamprath et al. 1982: Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilisation. *Agron. J.* 74:562-564.
- Olesen, J.E., J.V. Mortensen et al. 2000: Irrigation strategy, nitrogen application and fungicide control in winter wheat on a sandy soil. I. Yield, yield components and nitrogen uptake. *The Journal of Agricultural Science* 134:1-11.
- Wiesler, F., W.J. Horst. 1994: Root growth and nitrate utilization of maize cultivars under field conditions. *Plant and Soil* 163:267-277.
- Zhang, H., T.Y. Oweis et al. 1998: Water-use efficiency and transpiration efficiency of wheat under rain-fed conditions and supplemental irrigation in a mediterranean-type environment. *Plant and Soil* 201:295-305.

Sind negative Effekte von HTC-Biokohle auf das Zuckerrübenwachstum durch eine verminderte Stickstoffverfügbarkeit bedingt?

Ana Gajić und Heinz-Josef Koch

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

Einleitung

Hydrothermale Karbonisierung (HTC) ermöglicht die schnelle Umwandlung von Biomasse in kohlenstoffreiche und abbaustabile braunkohleähnliche Produkte (HTC-Biokohle). In Analogie zu pyrolytischer Biokohle wird angenommen, dass HTC-Biokohle positive Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum hat (Chan et al., 2008). Durch ein weites C:N-Verhältnis lässt Biokohle eine hohe Stabilität gegen mikrobiellen Abbau erwarten (Kimetu und Lehmann, 2010) und kann somit zu einer verbesserten Stickstoffnutzungseffizienz beitragen (Steiner et al., 2008). Ziel dieser Studie war es, die Wirkung von HTC-Biokohle auf die mineralische N-Verfügbarkeit und das Wachstum von Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) auf typischen deutschen Ackerböden zu untersuchen.

Material und Methoden

HTC-Biokohle, hergestellt aus Rübenschnitzel (HTC RS; C:N 38) oder Biertreber (HTC BT; C:N 16), wurde gegen eine unbehandelte Kontrolle in einem Feld- und Gefäßversuch (1 kg Boden Gefäß⁻¹) getestet. Die HTC-Biokohle wurde im Feld in einer Menge von 10 t TM ha⁻¹ und im Gefäßversuch entsprechend 30 t TM ha⁻¹ unmittelbar vor der Aussaat ausgebracht. Als zweiter Faktor wurde mineralischer N-Dünger zu Versuchsbeginn dreifach abgestuft appliziert (Feld: 0-50-100 kg N ha⁻¹; Gefäß: 0-100-200 mg N kg⁻¹ Boden). 6 Wochen (Feld) bzw. 4 Wochen (Gefäß) nach Aussaat wurde eine Ernte durchgeführt und der Einzelpflanzenertrag (TM) ermittelt. Das getrocknete Pflanzenmaterial wurde auf den Gesamt-N-Gehalt analysiert. In beiden Versuchen wurden Bodenproben zur Bestimmung des mineralischen Stickstoffgehaltes (N_{min}) in der N₀-Stufe entnommen. Zur Bestimmung der CO₂-C-Freisetzung im Feld wurde Natronlauge als CO₂-Adsorbent verwendet und ausgetretenes CO₂ durch Säure-Basen-Titration quantifiziert. Die relative CO₂-C-Freisetzung (zusätzliche Freisetzung durch HTC-Biokohle gegenüber der Kontrolle in % der mit HTC-Biokohle ausgebrachten Kohlenstoffmenge) wurde berechnet. Die Daten wurden in einer zweifaktoriellen ANOVA ausgewertet; HTC-Biokohle, N-Stufe und deren Wechselwirkungen wurden als fixe Effekte betrachtet.

Ergebnisse und Diskussion

In beiden Versuchen wurde das Zuckerrübenwachstum durch HTC-Biokohle negativ beeinflusst (Abb. 1). Bei HTC RS war die Wachstumshemmung bei niedriger N-Düngung besonders deutlich. Im Feld unterschied sich der Einzelpflanzenertrag in allen N-Stufen in beiden HTC-Biokohle-Varianten signifikant von dem der Kontrolle. Die Boden- und Pflanzenanalysen zeigten, dass der N-Gehalt der Pflanzen sowie im Boden (nur N₀ beprobt) nicht durch HTC-Biokohle beeinflusst wurde (nicht dargestellt). Im Gefäß kompensierte eine hohe N-Düngung das verminderte Wachstum bei niedriger N-Versorgung vollständig. HTC BT steigerte den N-Gehalt

im Boden sowie in den Pflanzen gegenüber den anderen Varianten im Mittel der N-Düngungsstufen signifikant (nicht gezeigt).

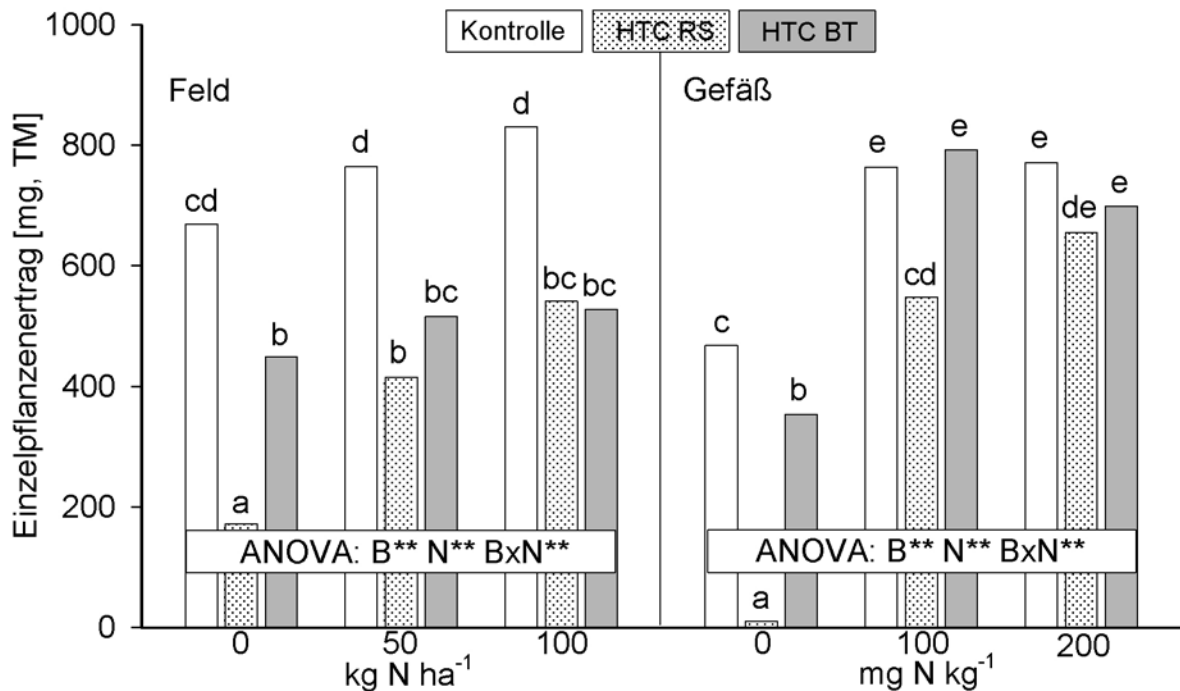


Abb. 1: Einfluss von HTC-Biokohle (B) und N-Düngung (N) auf den Einzelpflanzenenertrag von Zuckerrüben in einem Feld- und Gefäßversuch. ANOVA: ** $p \leq 0,01$; mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($p \leq 0,05$).

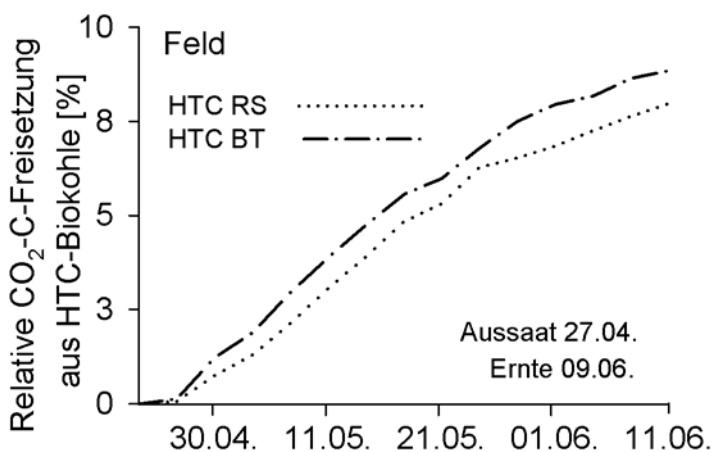


Abb. 2: Kumulative Kohlenstoff-Freisetzung aus HTC-Biokohle relativ zur ausgebrachten Kohlenstoffmenge, Feldversuch, 2010.

Literatur

- Chan, K.Y., Van Zwieten L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. 2008: Using poultry litter biochars as soil amendments. *Aust. J. Soil Res.* 46:437-444.
- Kimetu, J.M., Lehmann, J. 2010: Stability and stabilisation of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents. *Aust. J. Soil Res.* 48:577-585.
- Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Blum, W.E.H., Zech, W. 2008: Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171:893-899.

In beiden HTC-Biokohlevarianten entwichen in den ersten zwei Monaten bereits 9 % der ausgebrachten Kohlenstoffmenge (Abb. 2). Diese Ergebnisse deuten auf eine starke mikrobielle N-Immobilisierung bei Anwendung von HTC-Biokohle hin. Jedoch war dies möglicherweise nicht der einzige Grund für die frühe Wachstums-minderung.

Vorfruchtwirkungen von Winterweizen, Körnermais, Körnererbse und Winterraps auf Zuckerrüben

Anna Jacobs und Heinz-Josef Koch

Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-mail: jacobs@ifz-goettingen.de

Einleitung

Fruchtfolgeeffekte beruhen insbesondere auf direkten Wirkungen einer Frucht auf die unmittelbare Folgefrucht. Durch positive Wechselwirkungen werden Krankheits- und Schädlingsbefall verhindert bzw. verringert und Nährstoffflüsse optimiert. Ziel der Arbeit war es, Vorfruchtwirkungen in Wechselwirkung mit der N-Versorgung auf den Zuckerrüben-Frischmasse- und den Bereinigten Zuckerertrag zu untersuchen.

Material und Methoden

Im Systemversuch Fruchtfolge (Harste bei Göttingen) wurden 2008-2010 Winterweizen, Körnermais und Körnererbse als Vorfrüchte vor Zuckerrüben geprüft. Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau und N-Düngung wurden systemspezifisch angepasst. Als zweiter Versuchsfaktor wurde im Jahr 2008 die N-Düngung in den Abstufungen 0, 60, 120 und 180 kg N ha⁻¹ variiert. In unmittelbarer Nachbarschaft wurden 2009-2010 die Vorfruchtwirkungen von Winterraps und Winterweizen auf Zuckerrübenenerträge einer nematodentoleranten Sorte verglichen. Hierbei wurde als zweiter Versuchsfaktor die N-Düngung mit 0, 80, 120 und 160 kg N ha⁻¹ gestaffelt.

Ergebnisse und Diskussion

Im Mittel über die Jahre 2008-2010 ergaben sich im Frischmasseertrag signifikante Mindererträge nach der Vorfrucht Körnermais (84 t ha⁻¹) gegenüber der Vorfrucht Körnererbse (91 t ha⁻¹). Dieses Ergebnis spiegelte sich ebenfalls im Bereinigten Zuckerertrag, war hier jedoch nicht statistisch abgesichert. Im N-Optimierungsversuch (2008) reagierten nur die Zuckerrüben der Körnermais-Vorfruchtvariante mit signifikanten Mindererträgen auf das Absenken der N-Gabe auf 0 kg ha⁻¹. Möglicherweise wurde die N-Nachlieferung aus dem Boden durch N-Immobilisierung in Folge des hohen Maisstrohaufkommens gehemmt. Jedoch führte auch die höchste N-Gabe in der Körnermais-Vorfruchtvariante nicht zu eindeutiger Ertragsgleichheit gegenüber den übrigen Vorfrüchten, so dass ein vermindertes N-Angebot den verringerten Frischmasseertrag nicht vollständig erklären konnte. Weitere mögliche Gründe könnten der fehlende Zwischenfruchtanbau, ungünstige physikalische Bodenbedingungen sowie ein erhöhter Pilzinfektionsdruck durch die Maisrückstände im Boden sein.

Winterraps als Vorfrucht von Zuckerrüben (2009-2010) führte zu einem tendenziell höheren Frischmasse- und Bereinigten Zuckerertrag im Vergleich zu der Winterweizen-Vorfruchtvariante bei einer N-Gabe von 0 kg ha⁻¹. Bei "optimaler" Düngung von 80 kg N ha⁻¹ unterschieden sich die Erträge zwischen den beiden Vorfruchtvarianten jedoch nicht. Möglicherweise kann bereits eine Düngung von < 80 kg N ha⁻¹ nach der Vorfrucht Winterraps zu Zuckerrüben-Höchsterträgen führen.

Weitere mehrjährige Untersuchungen sollten vorfruchtbedingte Effekte, wie Veränderung der Bodenstruktur und Befallsrisiko durch Krankheiten und Schädlinge, sowie die Treffgenauigkeit des N_{min}-Sollwertkonzeptes zur Ermittlung der optimalen Zuckerrübedüngung in Abhängigkeit der Vorfrucht fokussieren.

Senkung von N-Verlusten und Erhöhung der Dünger-N-Effizienz durch Mineraldünger mit Nitrifikationsinhibitoren

Michael Fuchs, Carola Schuster und Thomas Kreuter

SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Landwirtschaftliche Anwendungsforschung Cunnersdorf. E-Mail: Michael.Fuchs@skwp.de

Einleitung

Die Minimierung von Stickstoffverlusten als Folge der Anwendung sowohl von Mineral- als auch von organischen Düngern ist seit langem Gegenstand wissenschaftlicher Bemühungen sowohl der Agrarforschung als auch der Düngemittelindustrie. Die Ursachen der Verlustrisiken liegen in den Eigenschaften dieses Nährstoffs im natürlichen Stoffkreislauf im Boden begründet. Hierbei spielen die biologischen Stoffumwandlungsprozesse der Nitrifikation und Denitrifikation eine zentrale Rolle. Das daraus resultierende Verlustpotential kann nicht nur die N-Effizienz erheblich mindern, sondern ebenso Umweltbelastungen hervorrufen. Andererseits führen diese Verluste beim Anwender zu wirtschaftlichen Einbußen beispielsweise durch Ertragsminderungen.

Die Anwendung von Nitrifikationsinhibitoren bewirkt eine Verlangsamung der Nitrifikation. Ausgebrachter Stickstoff verbleibt länger in der „stabilen“ N-Form Ammonium. Die Risiken von Nitrat auswaschung und N-Emissionen (N_2O , N_2) können reduziert werden. Gleichzeitig wird eine sichere Anpassung der Nährstoffversorgung an den Pflanzenbedarf auch bei Ausbringung zusammengefasster höherer N-Gaben gewährleistet. Gestützt durch eigene experimentelle Ergebnisse wird ein Überblick der Anwendung von Nitrifikationsinhibitoren zur Erhöhung der Dünger-N-Effizienz und zur Senkung von N-Verlusten als Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft gegeben.

Material und Methoden

Grundlage der Ergebnisse zur Erhöhung der N-Effizienz bildet neben zahlreichen Feldversuchen ein statischer Dauerversuch an 2 verschiedenen Standorten (IS-SL, 35-40 BP; sL, 50-55 BP), in dem die konventionelle N-Form AHL 28 (PIASAN 28) hinsichtlich Ertrag, N-Entzug, N-Effizienz, N-Bilanz und Rest- N_{min} nach der Ernte über 17 Jahre im Vergleich zu einer AHL mit Nitrifikationsinhibitor (ALZON flüssig) im Zeitraum von 1994 bis 2010 unter verschiedenen Witterungs- und Standortbedingungen miteinander verglichen wurden. Die Düngungshöhe in den Versuchen wurde auf Grundlage des N_{min} -Gehaltes im Boden zu Vegetationsbeginn und anhand der Ertragserwartung kulturartenspezifisch innerhalb der Fruchtfolge bemessen. Bei der mit einem Nitrifikationsinhibitor stabilisierten N-Düngerform wurde zusätzlich eine weitere um 30 % reduzierte Düngeraufwandmenge geprüft. Die Gaben wurden bei AHL fruchtartenspezifisch meist in mehrere Teilgaben aufgeteilt. Bei dem Dünger mit Nitrifikationsinhibitor erfolgte eine Gabenzusammenfassung unter Einsparung wenigstens einer Teilgabe. Die Verringerung des Nitrat auswaschungspotentials wurde in den Dauerversuchen anhand verbleibender Rest- N_{min} -Gehalte im Boden nach der Ernte nachgewiesen. Diese Ergebnisse werden zusätzlich durch Aussagen aus Gefäß- und Lysimeterversuchen sowie Feldversuchen zur Messung von N_2O -Verlusten ergänzt.

Ergebnisse und Diskussion

In den Dauerversuchen konnte durch die Anwendung eines Mineraldüngers mit Nitrifikationsinhibitor der Ertrag im Mittel signifikant um 4 % gesteigert werden. Ebenso wurde der N-Entzug um durchschnittlich 3 % verbessert und die Rest-N_{min}-Menge im Boden nach der Ernte um 14 % gesenkt (Tab. 1). Ergebnisse anderer Autoren zur Minderung des Nitratauswaschungspotentials durch Anwendung N-stabilsierter N-Düngemittel werden damit bestätigt (Scheffer und Bartels, 1998). Außerdem zeigen sich Trends zur Verbesserung von N-Effizienz und N-Bilanz.

Ein zusätzlicher Vorteil des N-stabilisierten Düngers ist sein Einfluss auf den Ertrag unter kritischen Witterungsbedingungen besonders dann, wenn Folgegaben des konventionellen Düngers trockenheitsbedingt nicht oder nur verzögert verfügbar werden.

Die mit nur 70 % der N-Menge geprüfte Variante des N-stabilisierten Düngers weist prinzipiell die Möglichkeit einer N-Reduzierung nach. Auch hier wird eine etwas verbesserte N-Effizienz als in der AHL (100 %)-Variante erreicht. Ein merklicher Rückgang der Erträge in der 70 %-Variante machte sich erst nach ca. 10 Versuchsjahren bemerkbar. Als Schlussfolgerung daraus sind in der landwirtschaftlichen Praxis N-Reduzierungen von etwa 10 % bei Anwendung N-stabilsierter Dünger insbesondere in Kulturen mit langer Vegetationszeit und mit hohem N-Aneignungsvermögen wie beispielsweise Mais, Roggen oder Zuckerrüben ohne Ertragseinbußen möglich.

Tab. 1: Einfluss eines Nitrifikationsinhibitors im Dauerversuch auf Ertrag, N-Entzug, N-Effizienz, N-Bilanz und N_{min}-Gehalt im Boden nach der Ernte (Mittelwerte 2 Standorte, 1994-2010, n=30)

Düngemittel	N-Dünge-Niveau (%)	Ertrag (%)	N-Entzug (%)	N-Effizienz (% Dünger N)	N-Bilanz (kg/ha)	N _{min} nach der Ernte (kg/ha)
ohne N	0	63	45	-	-62	38
AHL 28	100	100	100 (132,4 kg N/ha)	47	+18	52
AHL+NI*	100	104	103	49	+17	45
AHL+NI*	70	97	85	48	-5	41
	LSD 0,05	3,0	4,7			

*NI = Nitrifikationsinhibitor (Gemisch aus 1H-1,2,4-Triazol und 3-Methylpyrazol)

Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass durch die Anwendung von Stickstoff-Düngemitteln mit Nitrifikationsinhibitoren der Ertrag und die N-Effizienz gesteigert sowie Verlustrisiken beachtlich verringert werden können.

Literatur

- Mosier, A.R., Schimel, D.S. 1993: Nitrification and Denitrification. In: Nitrogen Isotope Techniques. Knowles R., Blackburn, T.H. (eds.) Academic Press, San Diego, California, Chapter 7, 181-208.
- Scheffer, B., Bartels, R. 1998: Kann durch Einsatz stabilsierter N-Dünger der Nitrataustrag aus einem Sandboden verringert werden? VDLUFA-Tagung 1998.
- Trenkel, M.E. 2010: Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers, an Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, France, 2010.

Ist eine Aufteilung der Stickstoffdüngung für hohe Erträge und Qualitäten bei Winterweizen notwendig? Exaktversuche in Südwestdeutschland

Thomas Makary¹, Sabine Hubert³, Rudolf Schulz¹, Karin Hartung², Markus Mokry⁴,
Hans-Peter Piepho², Torsten Müller¹ und Carola Pekrun³

¹Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Düngung und Bodenchemie (340i), Universität Hohenheim, Stuttgart; ²Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Bioinformatik (340c), Universität Hohenheim, Stuttgart; ³Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Fachgebiet Pflanzenbau, Nürtingen; ⁴Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Referat 12 Agrarökologie - SG Düngung, Karlsruhe. E-Mail: Thomas.Makary@uni-hohenheim.de

Einleitung

Die gezielte, meist drei- bis viergeteilte N-Düngung zu Winterweizen (*Triticum aestivum*) hat sich in Deutschland etabliert und scheint ein Erfolgsfaktor für die Erreichung von hohen Qualitäts- und Ertragszielen bei Winterweizen zu sein. Die einmalige Applikation von Stickstoff zu Winterweizen wäre eine Möglichkeit, Arbeitsabläufe zu rationalisieren und Kosten zu sparen. Ziel dieser Arbeit war es, die einmalige (vereinfachte) Applikation von Stickstoff in Form von Kalkammonsalpeter (KAS) in Winterweizen hinsichtlich Ertrags- und Qualitätssicherung sowie des Risikos einer Nitratverlagerung auf überwiegend tiefgründigen, lehmigen Böden unter den Klimabedingungen Südwestdeutschlands im Vergleich zu einer geteilten (konventionellen) N-Düngung zu untersuchen.

Material und Methoden

Grundlage der Untersuchungen waren Exaktversuche (randomisierte Blockanlagen mit drei bis vier Wiederholungen), die 2009 an drei Standorten und 2010 an sieben Standorten durchgeführt wurden (drei Standorte aus 2009 sowie vier weitere Standorte). Die Bodentypen waren meist tiefgründige Löß-Parabraunerden mit den Bodenarten sandiger bis toniger Lehm bei 60-80 Bodenpunkten. Die Niederschläge variierten je nach Standort zwischen 650 und 850 mm bei 7,2-9,7 °C Jahresdurchschnittstemperatur (Mittelwerte über 10 Jahre). Einer der Versuchsbetriebe 2009 wurde in den Vorjahren organisch gedüngt. Von den sieben Versuchsbetrieben aus 2010 wurden drei in den Jahren vor Versuchsanlage organisch gedüngt. Verglichen wurde die Variante „3 x KAS“ (BBCH25/31/49) mit der Variante „1 x KAS“ (BBCH31) bei gleichen N-Düngermengen. An einzelnen Standorten kam die Variante „2 x KAS“ (BBCH31/49) hinzu. Gemessen wurden Kornerträge und Rohprotein-gehalte. Um Aussagen über mögliche Nitratverlagerungen treffen zu können, wurden nach der Ernte Bodenproben entnommen und N_{min}-Gehalte gemessen. Außerdem wurde die N-Abfuhr über das Korn berechnet. Eine Ertragsstrukturanalyse mit den Messgrößen „Ährentragende Halme“, „Tausendkornmasse“ (TKM) und „Körner je Ähre“ wurde durchgeführt. Bei den verwendeten Sorten handelte es sich um Einzelährentypen.

Ergebnisse und Diskussion

Signifikante Ertragsunterschiede zwischen den Varianten konnten nur 2009 an einem Standort beobachtet werden (Tab. 1). Eine außergewöhnliche Trockenheit nach der Applikation der Gaben zu BBCH 31 (welche den Minderertrag mit erklären würde) wurde nicht beobachtet. Die 2009 und 2010 jeweils an drei Standorten durchgeführte

Ertragsstrukturanalyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten bezüglich Ährentragenden Halmen, TKM und Körner je Ähre.

Tab. 1: Kornerträge in dt TS ha⁻¹ beider Versuchsjahre (S1-S7=Standorte, unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede, Tukey-Test bei p<0,05)

	2009			2010						
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Einmal KAS	69,4a	92,9a	71,9a	66,5a	69,8a	78,8a	76,0a	64,9a	68,2a	56,8a
Zweimal KAS	71,8a			69,3a						
Dreimal KAS	78,9b	89,6a	73,2a	68,3a	67,6a	80,1a	77,4a	58,8a	72,5a	53,7a

Die Proteingehalte im Korn der einzelnen Varianten unterschieden sich in beiden Jahren über alle Standorte nicht signifikant voneinander (Tab. 2).

Tab. 2: Rohproteingehalte in % (S1-S7=Standorte, *=nicht über Wiederholungen beprobt (Mischproben), unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede, Tukey-Test bei p<0,05)

	2009			2010						
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Einmal KAS	12,1a	11,5a	10,9*	13,4a	13,5a	13,1a	12,0*	15,8*	13,3*	15,0*
Zweimal KAS	12,6a			14,2a						
Dreimal KAS	12,1a	11,4a	13,0*	13,9a	13,7a	13,5a	12,3*	15,6*	13,3*	15,4*

Zwei der drei Standorte aus 2009 und alle sieben Standorte 2010 zeigten keine signifikanten Unterschiede bei der berechneten N-Abfuhr über das Korn zwischen den Varianten (Im Mittel 2009: S2: 195, S3: 161 kg N ha⁻¹, 2010: S1: 174, S2: 174, S3: 197, S4: 173, S5: 181, S6: 174, S7: 156 kg N ha⁻¹). Nur an einem Standort 2009 bedingte der höhere Kornertrag der Variante „3 x KAS“ die höhere N-Abfuhr (178 kg N ha⁻¹) gegenüber den Varianten „2 x und 1 x KAS“ (167 bzw. 156 kg N ha⁻¹).

In beiden Jahren konnten auf allen Standorten keine signifikanten Unterschiede im N_{min}-Gehalt des Bodens (nach der Ernte) zwischen den Varianten sowie der einzelnen Bodenschichten festgestellt werden. 2009 lagen diese über alle drei Standorte in der Tiefe 0-90 cm zwischen 13-22 kg NO₃-N ha⁻¹. 2010 gab es Unterschiede zwischen den Standorten, jedoch nicht zwischen den Varianten (S1: 16-22, S2: 16-9, S3: 35-39, S4: 13-18, S5: 27-40 kg N ha⁻¹).

Die Ergebnisse zeigen, dass die geteilte Applikation von Stickstoff zu Winterweizen, auf tiefgründigen, lehmigen Standorten, in Frage zu stellen ist. Faktoren wie z.B. der Gehalt an organischer Substanz im Boden sowie Sorten und Bodeneigenschaften scheinen Düngungsstrategien zu überlagern. Diese Interaktionen gilt es genauer zu untersuchen.

Literatur

Schulz, R., Donath, S., Döhler, J., Großmann, I., Riexinger, J., Weiß, K., Ehrhart, E., Gruber, S., Pekrun, C., Claupein, W., Müller, T. 2010: Winterweizen und Mais nur einmal mit Stickstoff düngen? Internationales Symposium "Injektionsdüngung, Aktueller Kenntnisstand, neue Entwicklungen und Erfahrungen" Braunschweig 09.02.2010.

Wirkung N-haltiger Düngemittel auf Boden- und Rhizosphären-pH sowie auf die Mn-Gehalte von Boden und Winterweizen im Feldversuch

Christoph Weidemann und Karl Hermann Mühling

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität, Kiel. E-Mail: khmuehling@plantnutrition.uni-kiel.de

Einleitung

Mangan-Ernährungsstörungen von Kulturpflanzen sind ein typisch norddeutsches Problem. Sie hängen zusammen mit der Variabilität der Mangan-Versorgung der rezenten Böden Norddeutschlands. Zudem wird die Mn-Mangel-Problematik zusätzlich verschärft durch regelmäßige undifferenzierte Kalkung, welche zu lokal alkalischen Bodenreaktionen führt. Fehlende Rückverdichtung humoser, puffiger Standorte führt zu hohem Oxidationspotenzial im Boden. Zur Behebung des Mangan-Mangels wird seitens der Beratung die physiologisch-versauernde N-Düngung empfohlen. In der vorliegenden Arbeit sollten hierzu folgende Versuchsfragen untersucht werden:

1. Ist der Boden-pH-Wert entscheidend für die Mn-Versorgung der Weizenpflanzen?
2. Steht der Rhizosphären-pH in enger Beziehung zu der Mn-Versorgung?
3. Welche praxisüblichen N-Düngemittel (inkl. Nitrifikationshemmer) führen zu einer physiologisch-versauernden Wirkung und somit zu einer höheren Mn-Aufnahme?

Material und Methoden

Der Feldversuch folgte dem Aufbau des Lateinischen Rechtecks, mit 6 Varianten und drei Wiederholungen. Die sechs Varianten wurden mit unterschiedlichen praxisüblichen N-Düngemitteln gedüngt und bestanden aus einer Kontrolle (ohne N-Düngung), Harnstoff (46 % N), Ammonsulfat-SSA (21 % N, 24 % S), Alzon46 (46 % N + Nitrifikationshemmer), Kalkammonsalpeter (27 % N) und Kalkammonsalpeter + Branntkalk (77 % CaO). Die Düngung erfolgte einheitlich mit 90 kg N ha⁻¹. Der Branntkalk wurde mit 2,5 t ha⁻¹ ausgebracht.

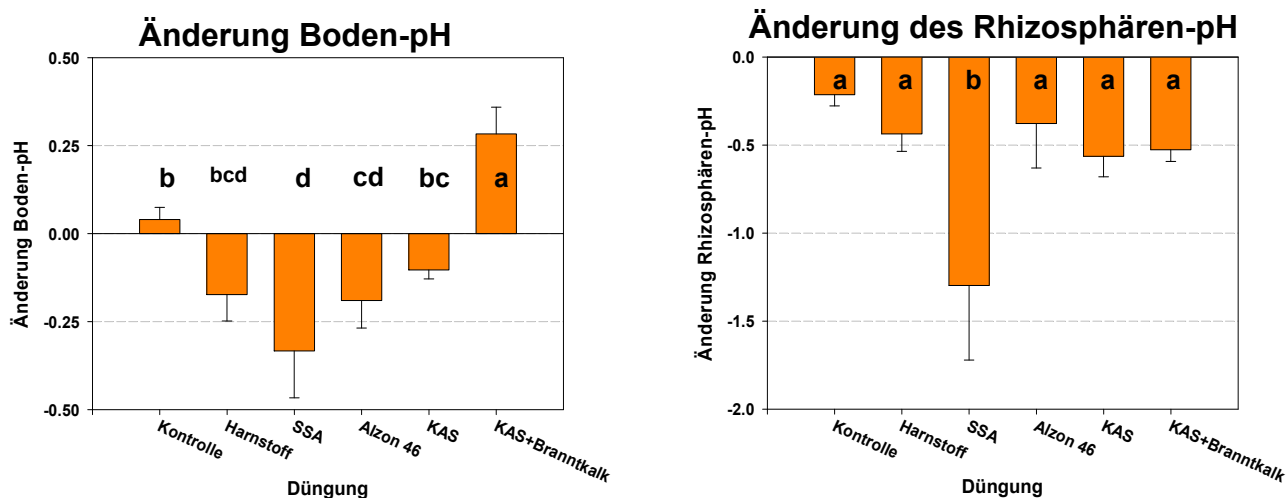


Abb. 1: Änderung im Boden- und Rhizosphären-pH (in Bezug auf vor und vier Wochen nach Düngung)

Ergebnisse

Vier Wochen nach der Düngung zeigten sich keine signifikanten Veränderungen der Mn-Gehalte im Boden. Eindrucksvoll haben sich hingegen die Effekte seitens der pH-Veränderungen im Boden und in der Rhizosphäre gezeigt (Abb. 1). Hier konnte ein signifikanter Unterschied der SSA-Varianten sowohl im Gesamtboden als auch in der Rhizosphäre festgestellt werden. Das SSA hat somit zur signifikant stärksten pH-Wert-Absenkung geführt. Die Wirkung des SSA sowie auch der anderen Varianten fällt deutlich stärker in der Rhizosphäre als im Gesamtboden aus. Der Unterschied von Rhizosphäre und Gesamtboden-pH wird durch die KAS + Branntkalk-Variante gezeigt. In dem Gesamtboden wurde der pH-Wert deutlich durch die Branntkalkwirkung erhöht. In der Rhizosphäre zeigt sich ein solcher Effekt nicht, hier dominieren die N-Effekte.

Die enorme pH-Absenkung in der SSA-Variante spiegelt sich auch in dem Mn-Gehalt des Winterweizens wieder (Abb. 2). Die Düngung mit SSA führte zu signifikant höheren Mn-Gehalten im Winterweizen. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass das SSA auch eine starke Versauerung zur Folge hat. Trotz dieser starken Versauerung durch SSA konnte die Mn-Versorgung nicht über den Grenzwert erhöht werden. Der Nitrifikationshemmer im Alzon 46 konnte die Mn-Aufnahme nicht signifikant erhöhen.

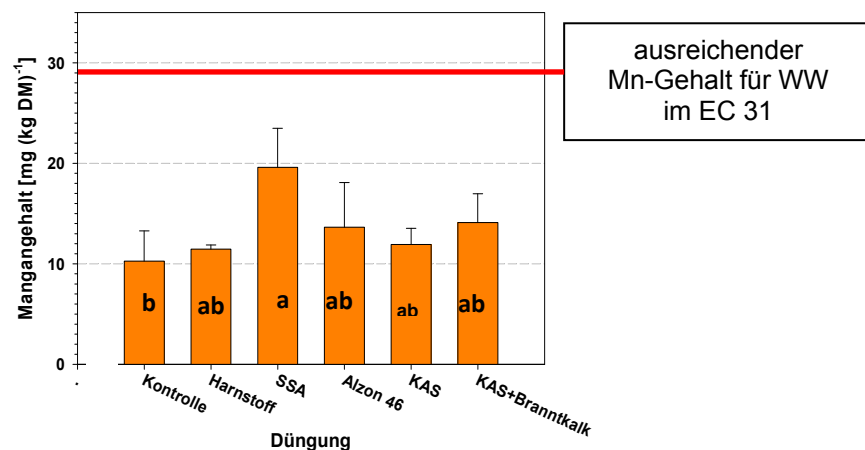


Abb. 2: Mangangehalte im Winterweizen

Fazit

- Im Vergleich zu Bodenanalysen geben Pflanzenanalysen eine wesentlich bessere Auskunft über die Mn-Versorgung von Weizen.
- Für die Vorhersage der Mn-Verfügbarkeit nach Applikation von N-haltigen Düngemitteln sollten die pH-Werte in der Rhizosphäre ermittelt werden.
- Der Einsatz eines Nitrifikationshemmers (DCD+Triazol) führte nicht zu einer signifikant erhöhten Mn-Aufnahme.
- Nur durch die versauernde Wirkung von S und N (SSA) konnten die Mn-Gehalte im Winterweizen signifikant erhöht werden.
- Für die Anhebung der Mn-Gehalte über dem Grenzwert und der Vermeidung des latenten Mangels müssen zusätzliche Mn-Düngungsmaßnahmen (Saatgutbeizung, Blattdüngung) durchgeführt werden.

N-Umsatz im Boden nach Applikation verschiedener N-Dünger im Ökologischen Freilandgemüseanbau

Hauke Heuwinkel¹, Johannes Kreppold², Urs Schmidhalter¹ und Thomas Ebertseder²

¹TU München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Freising; ²Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft, Freising. E-Mail: hau1heu@aol.com

Einleitung

Aufgrund der hohen Ansprüche vieler Gemüsearten an ihre N-Versorgung besteht im Ökologischen Freilandgemüsebau ein großer Bedarf zur Optimierung der N-Düngestrategien. Auf Basis erster Ergebnisse innerhalb eines dreijährigen Forschungsprojektes zur Grünmulchdüngung im Ökologischen Freilandgemüsebau wurde die N-Verfügbarkeit einer Grünmulchdüngung mit Weißklee zu Lauch im Vergleich zu einer Düngung mit einem organischen Handelsdünger (Maltaflor spezial[®]) und zu einer rein mineralischen Düngung ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) untersucht.

Material und Methoden

Auf der Versuchsstation für Ökologischen Landbau der TU München in Viehhausen bei Freising, Oberbayern, wurde dazu im Juni 2007 ein einfaktorieller Versuch in dreifacher Wiederholung mit Lauch („Wintergrüner“) angelegt (16 Pfl./m², 50 cm Reihenweite). Die Düngung erfolgte entsprechend der Erfahrungen aus den Vorjahren mit Maltaflor in 2 Gaben (108+69 kg N/ha) und mit Weißklee bzw. Nitrat in je drei Gaben (72+194+84 bzw. 53+53+53 kg N/ha). Die Kontrollvariante blieb ungedüngt. Untersucht wurde der N-Umsatz im Boden anhand einer zweiwöchigen N_{\min} -Beprobung (0-15-30 cm) und über vierwöchige In situ-Inkubationen wurzelfreien Bodens im Feld bis zur Ernte im Oktober. Eine Nitratuntersuchung in diesen Proben gab die N-Nettonitrifikation bzw. -immobilisation in engen Zeitabschnitten wieder.

Ergebnisse und Diskussion

Die organischen Dünger wurden im Versuchsverlauf zu 46 % (Grünmulch) und 57 % (Maltaflor) als Nitrat im Boden wiedergefunden (Tab. 1), was in etwa den Angaben von Stadler (2005) folgt. Die Nettonitrifikation in 0-15 cm Tiefe war deutlich von der zugeführten, organischen N-Düngemenge und dem Abstand zur letzten Düngung beeinflusst (Abb. 1). In 15-30 cm Tiefe war dieser Effekt nicht mehr erkennbar. Das Niveau der Nettonitrifikation in der Kontrolle entsprach in etwa den $0,7 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ von Schrapf und Fink (2000, zitiert in Fink, 2001). In der obersten Bodenschicht wurden mit Düngung pro Tag bis zu $2,5 \text{ kg} \text{ N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ freigesetzt. Im September, wenn der N-Bedarf des Lauchs noch relativ hoch ist, erzielte nur die Grünmulchvariante noch eine erhöhte Nitratnachlieferung. Dagegen führte zu Versuchsbeginn die erste Grünmulchgabe zu einer N-Immobilisation. Trotz der sehr unterschiedlichen N-Mengen war der Nach-Ernte-Rest an Nitrat im Boden zwischen den Varianten nicht verschieden. Auch die hohe Grünmulchdüngung führte zu nicht mehr als $40 \text{ kg} \text{ N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (0-60 cm Tiefe), was aktuelleren Vorgaben für optimale N_{\min} -Reste nach Lauch im konventionellen Anbau entspricht (Fink, 2001), aber höher ist als oft im Ökologischen Gemüsebau gemessen wird (Laber, 2002).

Im Gesamtkonzept des Ökologischen Feldgemüseanbaus kann eine Düngung mit (Klee-) Grünmulch eine Alternative zur Anwendung organischer Handelsdünger darstellen. Neben der Nutzung des Mulch-N schon im Aufwuchsjahr und der

Neutralität dieses Düngers innerhalb der betrieblichen N-Bilanz sind weitere positive Wirkungen zu erwarten: so z.B. in der Unkrautunterdrückung (Riley et al., 2003), in der Förderung des Bodenlebens und in der Verminderung von Verschlämmung und Verkrustung der Bodenoberfläche.

Tab. 1: Kumulierte Nettonitrifikation der durch zwei organische Dünger zugeführten N-Menge. Dargestellt ist die zusätzliche Nettonitrifikation im Vergleich zur Kontrolle (82 kg N * ha⁻¹) sowie zum Vergleich die Wiederfindung des Nitratdüngers.

	Maltaflor	Grünmulch	z. Vergl. Nitrat
NO ₃ ⁻ - N Freisetzung [kg * ha ⁻¹]	101	163	128 ¹⁾
zugeführte N-Menge [kg * ha ⁻¹]	177	355	160
N-Freisetzung in %	57	46	80 ¹⁾

¹⁾ Wiederfindung (!) des ausgebrachten Nitrates

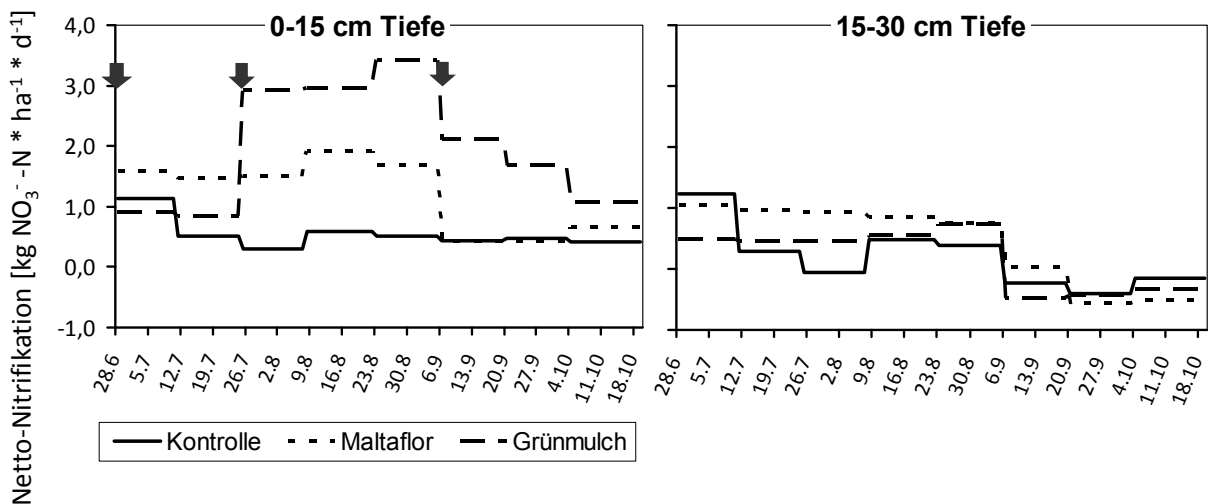


Abb. 1: Verlauf der Nettonitrifikation im Boden aus vierwöchigen in situ-Inkubationen im Feld nach Applikation unterschiedlicher N-Mengen durch zwei organische N-Dünger. Die Pfeile symbolisieren die Düngetermine des Grünmulches (alle Pfeile) bzw. von Maltaflor (erste zwei Pfeile).

Danksagung

Die Untersuchungen wurden durch das Bundesprogramm Ökologischer Landbau der BLE gefördert (FKZ 03OE102). Für die finanzielle Unterstützung und Hilfe in der Projektabwicklung möchten wir uns herzlich bedanken.

Literatur

- Fink, M. 2001: Düngung im Freilandgemüsebau. Schriftenreihe des Institutes für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V. (Hrsg.), Gartenbauliche Berichte, Heft 4.
- Laber, H. 2002: Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) Dresden, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft Heft 6-7.
- Riley, H., Loes, A.-K., Hansen, S., Dragland, S. 2003: Yield responses and nutrient utilisation with the use of chopped grass and clover material as surface mulches in an organic vegetable growing system. *Biological Agriculture & Horticulture* 21:127-137.
- Stadler, C. 2005: Nitrogen release and nitrogen use efficiency of plant derived nitrogen fertilisers in organic horticulture under glasshouse conditions. Dissertation, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Technische Universität München.

Biogas-Expert: Kurzfristige N-Düngewirkung von Biogas-Gärresten verschiedener Biogasproduktionssysteme auf einem Marschstandort

Anna Techow¹, Robert Quakernack², Andreas Pacholski², Henning Kage²,
Friedhelm Taube¹ und Antje Herrmann¹

¹Abteilung Grünland- und Futterbau/Ökologischer Landbau, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Kiel; ²Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Kiel. E-Mail: atechow@email.uni-kiel.de

Einleitung

Aufgrund des Erneuerbare-Energie-Gesetzes und der dadurch begründeten hohen Vergütung der Energieeinspeisung erfolgte eine starke Expansion der Biogasproduktion. In diesem Zusammenhang ist eine möglichst effiziente pflanzenbauliche Verwertung der in großen Mengen anfallenden Gärreste anzustreben. Während die Biomasseproduktion und das Methanbildungspotential von Biogasproduktionssystemen relativ gut dokumentiert sind, liegen zur N-Düngewirkung von Gärresten bislang vergleichsweise wenige belastbare Untersuchungen vor. Das Ziel der vorliegenden Studie war es daher, die kurzfristige N-Wirkung von Gärresten hinsichtlich des Trockenmasse- und Methanertrags verschiedener Biogasproduktionssysteme (Maismonokultur; Ackergras (*Lolium perenne* L.); Mais-GPS-Weizen-Welsches Weidelgras) zu quantifizieren.

Material und Methoden

Die Studie wurde auf einem Standort (Kalkmarsch; pH 7,5) an der Westküste Schleswig-Holsteins durchgeführt und basiert auf einem zweijährigen Feldversuch. Dieser wurde im Jahr 2007 als Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt. Abgesehen von dem Produktionssystem (Ackergras aus Deutschem Weidelgras, Maismonokultur, Mais-Winterweizen-Welsches Weidelgras) wurde die N-Düngeform (KAS, Gärrest) und die N-Menge in 3 Stufen (Kontrolle, moderat, hoch) variiert, wobei 0/360/480 kg N ha⁻¹ zu *Lolium perenne*, 0/240/300 kg N ha⁻¹ zu Winterweizen, 0/80/80 kg N ha⁻¹ zu Welschem Weidelgras und 0/150/200 kg N ha⁻¹ zu Mais appliziert wurden. Die N-Düngung zu Mais beinhaltete eine Unterfußdüngung von 50 kg N ha⁻¹ in Form von KAS. Das Ackergras (*Lolium perenne*, cv. Trend) unterlag einer 4-Schnittnutzung, das Welsche Weidelgras wurde einmalig geschnitten und noch im Herbst mit einem Totalherbizid abgetötet. Die Ertragswirksamkeit der Gärrückstände wurde über den „Relative N Fertilizer Value (RNFV)“ quantifiziert. Der RNFV berechnet sich aus dem Quotienten der Apparent Nitrogen Efficiency (ANE) von Gärrest und mineralischem Dünger, mit $RNFV = ANE_{organisch} / ANE_{mineralisch}$, und $ANE = (TM\text{-Ertrag der Behandlung} - TM\text{-Ertrag der Kontrolle}) / \text{applizierte N-Menge}$ (Schröder et al. 2005). Die statistische Analyse erfolgte mittels SAS Proc. Mixed, multiple Mittelwertvergleiche wurden mit der Tukey-Kramer-Methode durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die statistische Analyse des RNFV der mit Gärrest versorgten Varianten zeigte einen signifikanten Effekt des Produktionssystems, jedoch nicht der N-Menge, wobei die Maismonokultur sich durch eine höhere Ausnutzung der N-Düngung auszeichnete

als die Mais-Weizen-Welsches Weidelgras-Fruchtfolge und Ackergras (Tab. 1), was jedoch nur zum Teil auf die mineralische Unterfußgabe zu Mais zurückzuführen ist.

Tab. 1: RNFV der mit Gärrest gedüngten Biogasproduktionssysteme. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.

	Maismono	Fruchtfolge	Deutsches Weidelgras
RNFV	0,88 a	0,51 b	0,59 b
Standardfehler	0,07	0,07	0,07

Eine kulturartenspezifische Analyse des RNFV ergab eine signifikante Interaktion mit dem Versuchsjahr, wohingegen die N-Menge keinen Effekt zeigte (Abb. 1). Das Versuchsjahr 2009 wies eine große Variation auf, die für die Weizen/W.Weidelgras-Sequenz durch den Anbau von Sommerweizen erklärbar ist, da eine Aussaat von Winterweizen aufgrund ungünstiger Witterungsverhältnisse nicht möglich war. Der RNFV-Wert von über 1,0 für Fruchtfolge-Mais resultiert aus relativ höheren TM-Erträgen der Kontrolle der KAS- im Vergleich zur Gärrest-Variante. Der geringe N-Düngewert von auf Grünland applizierten Gärresten ist u. a. in einer hohen Ammoniakemission begründet (Quakernack et al., 2011). Im Jahr 2010 lagen die RNFV-Werte mit 0,6 bis 0,9 in einem in der Literatur dokumentierten Bereich (Schröder et al. 2005; Wienforth et al. 2010).

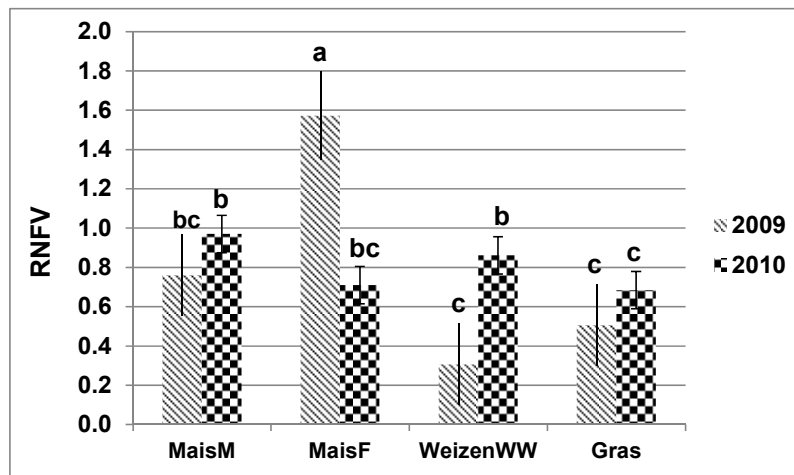


Abb. 1: RNFV in Abhängigkeit von Kultur (MaisM: Mais in Monokultur, MaisF: Mais in Fruchtfolge, WeizenWW: Weizen + Welsches Weidelgras, Gras: Ackergras) und Versuchsjahr (2009, 2010), gemittelt über die N-Düngungsstufen. Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.

Literatur

- Schröder J.J., Jansen A.G., Hilhorst G.J. 2005: Long-term nitrogen supply from cattle slurry. *Soil Use and Management* 21:196-204.
- Wienforth B., Herrmann A., Sieling K., Ohl S., Hartung E., Taube F., Kage H. 2010: Biogas-Expert: Grassland methane yield and short-term N-efficiency of biogas residues. *Grassland Science in Europe* 15:229-231.
- Quakernack R., Pacholski A., Techow A., Herrmann A., Taube F., Kage H. 2011: Ammonia volatilization after application of biogas residues to energy crops in a coastal marsh of Northern Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment* (im Druck).

N-Verlustwege und N-Verlustpotentiale unterschiedlicher N-Düngerformen und Möglichkeiten der Beeinflussung

Carola Schuster, Thomas Kreuter und Michael Fuchs

SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Landwirtschaftliche Anwendungsforschung Cunnersdorf. E-Mail: Carola.Schuster@skwp.de

Einleitung

Die Forderung nach einer ertragsstabilen, effizienten und umweltgerechten N-Düngung besteht in zunehmendem Maß. In diesem Zusammenhang erwächst auch immer wieder die Frage nach der Wirkung unterschiedlicher N-Formen und deren Umwelteffekten vor allem hinsichtlich Lachgas- und Ammoniak-Emissionen sowie Nitrat-Auswaschung. Modellversuchsergebnisse liefern Kenntnisse zu den prinzipiellen N-Verlustpotentialen einzelner N-Formen. Ihre Relevanz für den praktischen Einsatz wird jedoch unterschiedlich beurteilt. Möglichkeiten der Verlustminderung bestehen durch den gezielten Einsatz von Inhibitoren.

Material und Methoden

In Labormodelluntersuchungen wurden NH_3 -Emissionen im geschlossenen System nach Applikation von 50 mg Harnstoff auf Boden (= 30 g trocken) durch Auffangen in einer Säurefalle erfasst.

In Gefäßversuchen (7 kg Boden trocken) wurden einheitlich 0,6 g N gedüngt. Gasförmige N-Verluste wurden weitgehend ausgeschlossen. 21 Tage nach der Düngung wurde ein Starkregen (≈ 25 mm) auf wassergesättigten Boden simuliert. Die Nitrat-N-Menge im Perkolat, Ertrag und N-Entzug zum Zeitpunkt der Ernte wurden bestimmt.

In einem Dauerparzellenfeldversuch (sandiger Lehm; BZ ≈ 50 ; 9,0 °C; 622 mm) wurden 2002 bis 2010 unterschiedliche Kulturen angebaut. Die N-Düngung (Höhe, Teilung) erfolgte jeweils fruchtartspezifisch entsprechend Bedarf mit Harnstoff und KAS. Ertrag, N-Entzug und N-Effizienz wurden ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

In Labormodelluntersuchungen zur Beurteilung unterschiedlicher Faktoren hinsichtlich ihres Effektes auf die Höhe von NH_3 -Emissionen nach Applikation von Harnstoff werden leicht sehr hohe Dünger-N-Verluste von 50 % und mehr erfasst. Dagegen liegen bei Messungen in Feldversuchen die NH_3 -Emissionen unter realen mitteleuropäischen Bedingungen in der Regel deutlich unter 10 % (Khalil et al. 2009).

Lachgasemissionen werden meist unter Freilandbedingungen gemessen. Aus einer umfangreichen Auswertung verschiedener Studien haben Stehfest und Bouwman (2006) mittlere Verluste von 0,96 bzw. 1,12 kg ha⁻¹ für Harnstoff und Ammoniumnitrat abgeleitet. Bei harnstoff- und ammoniumbasierten Düngern können diese durch Nitrifikationsinhibitoren (NI) um 50 % und mehr gemindert werden.

Ergebnisse aus drei Gefäßversuchen verdeutlichen das Nitratverlustpotential, welches bis zu 47 % des applizierten Dünger-N ausmachte (Tab. 1). Ebenso eindeutig sind die Reduktion der Auswaschungsverluste (42-58 %) sowie die Erhöhung von N-Entzug (8-36 %) und Ertrag (14-24 %) bei der Kombination Harnstoff + NI. Für KAS + NI sind diese Effekte in der Regel nicht signifikant.

Tab. 1: Nitrat-N-Auswaschung, N-Entzug und Ertrag in Gefäßversuchen

	NO ₃ -N-Austrag (mg NO ₃ -N Gefäß ⁻¹)			N-Entzug ¹ (g N Gefäß ⁻¹)			Ertrag (g TM Gefäß ⁻¹)		
	Mais ²	Gras ³	Hafer	Mais	Gras	Hafer	Mais	Gras	Hafer
Harnstoff	202 ^b	277 ^a	303 ^a	0,42 ^b	0,54 ^{ab}	0,38 ^b	63,8 ^{ab}	12,9 ^b	24,4 ^b
Harnstoff + NI	107 ^c	160 ^b	128 ^b	0,53 ^a	0,59 ^a	0,52 ^a	73,1 ^a	14,7 ^a	30,4 ^a
KAS	289 ^a	268 ^a	336 ^a	0,32 ^c	0,52 ^b	0,38 ^b	61,5 ^b	12,9 ^b	23,2 ^b
KAS + NI	221 ^{ab}	272 ^a	306 ^a	0,40 ^b	0,57 ^{ab}	0,41 ^b	66,1 ^{ab}	12,6 ^b	24,8 ^b

¹mit gesamter oberirdischer Biomasse ²Grünmais, ³*Lolium multiflorum*

3 Grünmasseschnitte Mittelwertvergleich auf Basis Newman-Keuls-Test $\alpha = 0,05$

Die Dauerfeldversuchsergebnisse innerhalb einer Fruchtfolge zeigen, dass keine signifikanten Ertragsdifferenzen und kaum gesicherte Unterschiede in N-Entzug und Dünger-N-Effizienz zwischen Harnstoff und KAS bestehen (Tab. 2). Der N-Entzug bei Harnstoffdüngung war sowohl signifikant höher als auch signifikant geringer verglichen mit KAS. Dies deckt sich mit zahlreichen Aussagen der Officialberatung (Baumgärtel 2010). Neben witterungsbedingten Effekten wird die N-Effizienz vor allem durch die angebaute Kultur bestimmt. Aus den Ergebnissen leitet sich ein weitgehend gleiches N-Verlustpotential von Harnstoff und KAS unter mitteleuropäischen Anbaubedingungen bei sachgerechtem Einsatz ab, auch wenn sich die Verlustpfade unterscheiden.

Tab. 2: N-Entzug, Dünger-N-Effizienz und Ertrag im Dauerfeldversuch 2002-2010

Jahr	Kultur	N-Entzug (kg N ha ⁻¹)		N-Effizienz (% Dünger-N)		Ertrag ¹ (dt ha ⁻¹)	
		Harnstoff	KAS	Harnstoff	KAS	Harnstoff	KAS
2002	Grünmais	248	230	47	34	177	158
2003	Winterweizen	199 *	177	66	51	99	95
2004	Winterweizen	277	282	109	112	116	116
2005	Winterraps	117	115	34	33	41	41
2006	Winterweizen	187 *	227	67	88	99	98
2007	Wintergerste	177	170	91	86	93	95
2008	Winterraps	119	111	28	23	41	41
2009	Winterweizen	242	245	83	89	108	107
2010	Silomais	265 *	249	65	53	185	184

*...signifikanter Unterschied gegenüber KAS Basis t-Test (0,05) 8,0, 6,0 bzw. 11,1 kg N ha⁻¹

¹...Mais - Trockenmasseertrag, Getreide - Korntrug 86 % TS, Raps - Samenertrag 92 % TS

In Feldversuchen mit Winterweizen, Wintergerste, Hafer und Körnermais 2010 in der Slowakei (Universität Nitra) wurde der N-Entzug bei Kombination Harnstoff mit Ureaseinhibitor bzw. mit Nitrifikations- und Ureaseinhibitor um 1-29 kg N ha⁻¹ (1-20 %) gegenüber Harnstoff bzw. 0-13 kg N ha⁻¹ (0-8 %) gegenüber KAS erhöht.

Literatur

Baumgärtel G. 2010: Effizienz der mineralischen Stickstoffdüngung. In: Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden. KTBL (ed.) Darmstadt, KTBL-Schrift 483:26-30.

Khalil M.I., Buegger F., Schraml M., Gutser R., Schmidhalter U., Richards K.G. (2009): Gaseous Nitrogen Losses from a Cambisol Cropped to Spring Wheat with Urea Sizes and Placement Depths. Soil Sci. Soc. Am. J. 73 (4):1335-1344.

Stehfest E., Bouwman L. 2006: N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutrient Cycling in Agroecosystems 74:207-228.

Alternative Stickstoff-Düngestrategien zu einer Weizen/Mais-Doppelfruchtfolge in der Nordchinesischen Tiefebene

Tobias Hartmann¹, Rudolf Schulz¹, Torsten Müller¹, Chen Xingping² und Zhang Fusuo²

¹Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340i), Universität Hohenheim, Stuttgart; ²College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing. E-Mail: tobias.hartmann@uni-hohenheim.de

Einleitung

Die Volksrepublik China steht vor der Herausforderung, Nahrungsmittel für eine stetig wachsende Bevölkerung zu produzieren. Zur gleichen Zeit ist es notwendig, die bestehenden natürlichen Ressourcen zu schonen, indem der zunehmenden Umweltbelastung aus Industrie und Landwirtschaft entgegengewirkt wird.

In der Nordchinesischen Ebene, dem wichtigsten Anbaugebiet für Weizen und Mais in der VR China, ist der Düngemittelaufwand in den letzten 60 Jahren kontinuierlich gestiegen, während die Erträge von Weizen und Mais stagnieren oder sogar rückläufig sind (China Agricultural Yearbook). In einer Weizen/Mais-Doppelfruchtfolge werden bis zu 600 kg N ha⁻¹a⁻¹ ausgebracht. Die N-Düngung ist ein wesentlicher Faktor für die Emission N-haltiger Treibhausgase (Yan, 2003), Nitratauswaschung und die Eutrophierung von Gewässern (Subbarao, 2006).

Im Rahmen einer Deutsch-Chinesischen Kooperation werden in der Nordchinesischen Ebene alternative N-Düngesysteme mit dem Ziel untersucht, bei verringertem N-Aufwand das Ertragsniveau zu halten oder sogar zu steigern, um somit die N-Effizienz zu verbessern.

Material und Methoden

In einem Feldversuch (Quzhou, Hebei, VR China) werden seit 2009 acht N-Varianten in einer Weizen/Mais-Doppelfruchtfolge untersucht. Der Versuch beinhaltet zwei Kontrollvarianten (1. Nullkontrolle, 2. Bäuerliche Praxis, 550 kg N ha⁻¹ a⁻¹) und sechs optimierte N-Düngestrategien nach N_{min} (3. Geteilte Harnstoffgabe, 4. Einmalige Harnstoffgabe, 5. ASS mit Nitrifikationshemmstoff (NI), 6. AHL-Lösung, 7. Harnstoff-Depot, 8. AHL-Depot), die mit vier Wiederholungen in einem Lateinischen Rechteck angelegt sind. Der N-Aufwand für die optimierten Behandlungen richtet sich nach dem Bedarf der jeweiligen Kultur unter Abzug des mineralischen Stickstoffs zum Zeitpunkt der Düngung. Die Bewirtschaftung des Feldes richtet sich in allen Aspekten, abgesehen von der N-Düngung, nach den gängigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen der Region, um möglichst anwendungsnahe Bedingungen zu schaffen.

Ergebnisse und Diskussion

Erste Ergebnisse der Versuche zeigen, dass der N-Aufwand um bis zu 60 % gegenüber der bäuerlichen Praxis ohne signifikante Auswirkungen auf den Ertrag reduziert werden kann.

Die geringe N-Effizienz in der ersten Sommermaisperiode im Jahr 2009 deutet darauf hin, dass es nach kontinuierlicher Überdüngung zu einer N-Immobilisierung im Boden kommt, die während der Sommermonate mineralisiert wird und/oder dass die N-Deposition ausreicht, den Bedarf der Pflanzen zumindest teilweise zu decken.

Tab. 1: Kornerträge und Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) des ersten Versuchsjahres (Tukey-Kramer, $\alpha=0.05$).

Behandlung	Maisertrag (Mg ha ⁻¹)	NUE (%)	Weizenertrag (Mg ha ⁻¹)	NUE (%)
1. Nullkontrolle	5,7	--	1,8 b	--
2. Bäuerliche Praxis	6,4	14	4,7 a	42 d
3. Harnstoff (2 Gaben)	6,1	28	4,2 a	78 bc
4. Harnstoff	6,6	27	3,8 a	97 c
5. ASS + NI	6,9	42	5,6 a	100 ab
6. AHL	6,9	26	4,7 a	75 bc
7. Harnstoff-Depot	6,3	25	4,5 a	79 bc
8. AHL-Depot	6,6	29	5,2 a	100 ab

Der auf den Mais folgende Weizen zeigte im Gegensatz zum Mais einen signifikant niedrigeren Ertrag in der Nullkontrolle (Behandlung 1) gegenüber den gedüngten Behandlungen. Dennoch war eine starke Reduzierung des N-Aufwands in den optimierten Behandlungen gegenüber der bäuerlichen Praxis bei Beibehaltung des Ertragsniveaus möglich.

Die Behandlung 5 (ASS + NI) ließ einen tendenziell gesteigerten Kornertrag bei geringerer Biomasseproduktion erkennen, was auf einen Ammoniumeffekt hindeuten kann. Eine positive Beeinflussung des Ertrags durch Schwefel wurde anhand von Elementanalysen ausgeschlossen (Tab. 1).

Die Ergebnisse des Feldversuchs lassen erkennen, dass eine drastische Reduktion des N-Düngeaufwands möglich ist. Anhand der Daten dieses Feldversuches sollen weiterhin anhand eines geeigneten Modells verschiedene Düngeszenarien auf Anwendbarkeit in der Nordchinesischen Tiefebene überprüft werden. Hierbei sind die Möglichkeiten der Bauern in der Nordchinesischen Tiefebene zu berücksichtigen.

Literatur

- China Agricultural Yearbook (annual), China Agriculture Press.
 Subbarao, G.V. 2006: Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems – challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24:4.
 Yan, Xiaoyuan 2003: Estimation of nitrous oxide, nitric oxide, and ammonia emissions from croplands in East, Southeast and South Asia. *Global Change Biology* 9:7.

Nährstoffinputs, -outputs und N-Verluste zentral betriebener NawaRo-Biogasanlagen im süddeutschen Raum

Kurt Möller, Rudolf Schulz und Torsten Müller

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Düngung mit Bodenchemie, Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: kurt.moeller@uni-hohenheim.de

Einleitung

Ausgehend von der Novellierung des EEG im Jahre 2004 wurde in den vergangenen Jahren eine große Anzahl von Biogasanlagen errichtet, die vornehmlich mit Energiefrüchten beschickt werden. Es wurden auch einige nicht-landwirtschaftliche Anlagen in Betrieb genommen, die zentral betrieben von den umliegenden landwirtschaftlichen Betrieben Substrate (z.B. Silo- bzw. Energiemais) beziehen und die Gärreste wieder zurückführen. Dies führt zu teilweise gravierenden Veränderungen der Anbaustruktur und der Nährstoffflüsse in den betroffenen Betrieben. Bislang liegen kaum Daten über die durch Einführung der Biogastechnologie ausgelösten Veränderungen in landwirtschaftlichen Betrieben vor. Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die Nährstoffinputs und -outputs von zwei zentral betriebenen Biogasanlagen im Jahreslauf und die Konsequenzen für die Nährstoffkreisläufe und die Düngung zu erfassen. Zudem wurden auf 14 ausgewählten Betrieben die Veränderungen in Anbaustruktur, Humus- und Nährstoffbilanzen ermittelt.

Material und Methoden

Im Rahmen dieser Studie wurde das gesamte Vergärungsverfahren einschließlich der Substratwahl von zwei außerlandwirtschaftlichen, zentral betriebenen Biogasanlagen in der Oberpfalz/Bayern erfasst, die ihre Substrate von zahlreichen Betrieben aus der Umgebung beziehen (Gesamtfläche ca. 2100 ha LN) und im Gegenzug Gärreste an diese Betriebe liefern (weitere Details siehe Möller et al. 2010). Die Leistung der kleineren dieser Anlagen beträgt ca. 700 kWel, die der größeren ca. 4 MWel. Bei beiden Anlagen erfolgt am Ende des Vergärungsprozesses eine Fest-flüssig-Trennung der Gärreste. Die daraus gewonnenen Fugate und Feststoffe werden teilweise mehrere Monate vor ihrer Ausbringung zwischengelagert. Neben der Erfassung der Daten direkt an der Anlage wurden 14 substratliefernde landwirtschaftliche Betriebe mittels eines Fragebogens und persönlicher Gespräche befragt, um die Veränderungen des Anbausystems, der Nährstoff- und Humusbilanzen durch die teilweise oder vollständige Umstellung der Betriebe auf einen Energiepflanzenanbau zu erfassen (weitere Details: Möller et al. 2011).

Ergebnisse und Diskussion

Energiemais (65-75 % der Trockenmasseinputs) und Gras (ca. 20 % der TM-Inputs) waren die wichtigsten Inputs der beiden Biogasanlagen, wobei Gras vornehmlich über die Sommermonate vor der Ernte des Mais im Herbst vergoren wurde. Bei der größeren der beiden Anlagen wurden im Erfassungszeitraum pro Jahr ca. 380 Tonnen Stickstoff umgesetzt, knapp 75 % davon werden über die Fugate auf die Felder zurückgeführt, ca. 25 % sind in den Feststoffen enthalten. Die Abschätzung der N-Verlustströme während Lagerung und Ausbringung ergab, dass ca. 20-25 % des N während der Gärrestlagerung und nach der Ausbringung gasförmig als

Ammoniak und Lachgas entweichen (siehe Möller et al. 2010). Ursächlich hierfür sind bei den separierten Feststoffen v.a. hohe N-Verluste während der Lagerung und bei den Fugaten die N-Verluste nach der Ausbringung. Aus den Auswertungen geht ferner hervor, dass nur ca. 50 % des Stickstoffs für die Düngung im Frühjahr bereit standen, und 30 % des N bei der Gärrestlagerung im Herbst (=Schaffung freier Lagerkapazität für das Winterhalbjahr) ausgebracht wurden. Ferner war das C/N-Verhältnis der Gärreste im Frühjahr niedriger als im Herbst. Aus pflanzenbaulicher Sicht sollte allerdings ein möglichst hoher Anteil des Stickstoffs für die Frühjahrsdüngung bereitstehen, und die Gärreste sollten gerade im Frühjahr das engste C/N-Verhältnis aufweisen. Aus Modellrechnungen (siehe Möller et al. 2010) geht hervor, dass durch eine einfache Optimierung der Substratbeschickung der Biogasanlage (Vergärung von N-reichen Substraten wie Grassilagen und ggf. Getreide bevorzugt im Spätherbst und Winter) die N-Bereitstellung für die Frühjahrsdüngung um 10 auf 60 % erhöht, die im Herbst ebenso um ca. 10 auf 20 % reduziert und zugleich ein engeres C/N-Verhältnis der organischen Düngung im Frühjahr erreicht werden könnte.

Die Erhebungen auf 14 der zuliefernden Betrieben ergab, dass nach Einführung der Biogasanlagen eine deutliche Ausweitung des Maisanbaues (Erhöhung von 20 % der Ackerfläche auf 50 %) zulasten des Anbaus von Getreide und Blattfrüchten eingetreten ist. Die durchschnittlichen Humusbilanzsalden sanken um ca. 10 %, bei den Nährstoffbilanzen wurde nur beim Nährstoff K eine deutliche Verminderung der Bilanzsalden festgestellt (siehe auch Möller et al. 2011). Die Einführung von Biogasanlagen begründet Anbausysteme mit sehr intensiven Nährstoffkreisläufen. Zudem unterscheidet sich die Nährstoffzusammensetzung zwischen verschiedenen Substraten z.T. erheblich, im Biogasfermenter werden die Nährstoffe in einem einheitlichen Gemisch zusammengefasst und dann wieder auf die Betriebe bzw. Felder zurückgeführt. Dies kann bei langjähriger Gärrestapplikation zu Nährstoffungleichgewichten führen, wenn z.B. N- und K-reiches Gras abtransportiert wird und im Fermenter mit Substraten mit einem hohen P-Gehalt vermischt und vergoren wird. Das N:P:K-Verhältnis des daraus entstehenden Gärrestes stimmt nicht mit dem der Einzelsubstrate überein. Eine Möglichkeit zur Optimierung der Nährstoffflüsse ist die Fest-flüssig-Trennung der Gärreste. Dies führt zu N- und K-reichen Fugaten die in ihrer Zusammensetzung am ehesten z.B. der Zusammensetzung von Grünlandaufwüchsen gleichen, und P-reichen Feststoffen. Feststoffe sind besonders geeignet zur Ausbringung auf Ackerland (P-Gehalt, Humusersatzwirkung).

Literatur

- Möller, K., R. Schulz, T. Müller 2010: Substrate inputs, nutrient flows and nitrogen loss of two centralized biogas plants in southern Germany. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 87:307-325.
- Möller, K., R. Schulz, T. Müller 2011: Effects of setup of centralized biogas plants on crop acreage and balances of nutrients and soil humus. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 89:303-312.

Processes and drivers of N₂O emissions from soils after application of organic fertilizers such as biogas residues

Mehmet Senbayram^{1,2}, Jan Reent Köster¹, Karl H. Mühling¹ and Klaus Dittert^{1,3}

¹Institute of Plant Nutrition and Soil Science, Christian-Albrechts-University Kiel; ²Present address: Hanninghof Research Center, Yara GmbH & Co. KG, Dülmen; ³Present address: Plant Nutrition and Crop Physiology, Department of Crop Sciences, University of Göttingen. E-Mail: khmuehling@plantnutrition.uni-kiel.de

Introduction

Greenhouse gas (GHG) emissions during agricultural production of energy crops are a serious constraint to one of the central aims of bioenergy production: reducing CO₂ emissions by reducing fossil fuel consumption. The biogas fermentation process produces substantial amounts of fermentation effluents, also called biogas residues (BGR), that may serve as nutrient source for agricultural production but that are also a new source of GHG emissions. Therefore the present study aimed at evaluating favorable biogas crops (maize, wheat and grassland) in two agro-ecological regions of Northern Germany for their productivity and their environmental impact. We focused on nitrous oxide, carbon dioxide, and methane fluxes from soil with various rates and types of nitrogen fertilizers. The objectives of our study were i) obtaining year-round trace gas flux data of biogas crops, and ii) evaluating effects after application of biogas residues as manure in comparison to other organic and mineral fertilizers. Attribution of nitrous oxide (N₂O) emission to organic and inorganic N fertilizers requires understanding of how these inputs affect the two biological N₂O generating processes, i.e. denitrification and nitrification. Therefore, we setup three additional pot trials in order to study these relationships.

Materials and Methods

A two-year field experiment was conducted at two sites with different soil type and soil fertility but similar temperate maritime climate (ø 684 mm, 9.0°C). Site one was characterized by its Luvisol soil with sandy loam texture and the soil type at the second site was a gleyic Podzol derived from glacio-fluvial deposits of the last glaciation with a texture being dominated by sand. As silage maize is currently the standard crop grown for biogas fermentation purposes, we compared silage maize to alternative bioenergy-crops. Thus at site one, we evaluated trace gas fluxes from silage maize and wheat (whole crop) - Italian ryegrass (catch crop) rotation that was grown in parallel plots (12 x 12 m) with both main crops in both years. At site two, maize monoculture was compared to a four-cut silage grass system. We evaluated three levels of nitrogen fertilizer rates (0, 120, 360 kg N ha⁻¹ for maize and wheat; 0, 160, 480 kg N ha⁻¹ for grassland), with the highest level - chosen for modeling purposes - being clearly beyond recommended rates. Three forms of fertilizers/manures were given: calcium ammonium nitrate, cattle / pig slurry, biogas residue. Fertilizers were applied in 2 to 4 split dressings. In the pot experiments, we compared mineral N (ammonium sulfate) and biogas residues for their effects on N₂O fluxes using either stable isotope labeling or N₂O isotopomer measurements for differentiation of nitrification and denitrification-derived N₂O emission. In another experiment we tested the effect of more than 40 years of organic fertilizer application on the denitrification potential of soils and the denitrification product stoichiometry (N₂O / N₂ ratio) by using an anoxic incubation system.

Results and Discussion

In the field, GHG emissions of all biogas crops were strongly dominated by N₂O emissions. Flux patterns indicated pronounced effects of soil moisture which was also seen as responsible for much higher N₂O fluxes in the bioenergy crop maize compared to the other tested energy crops, silage wheat and ryegrass. There was also a strong site / soil texture effect as at the loamy soil site N₂O emissions were at least 3 times higher than at the site with sandy soil. In the pot experiments, stable isotope labeling and N₂O isotopomer measurements showed that N₂O emissions were mainly derived from denitrification. Overall in pot and field experiments, higher N₂O emissions were found with BGR treated soils than with mineral N treated soils, however this was only true under moist/wet soil conditions. There were no differences in N₂O emissions after application of mineral N or biogas waste when the soil moisture was moderate (65% WHC). This strengthens the view that all effects of N rates, fertilizer types and timing of fertilizer application on N₂O emission very much depend on other variables that drive denitrification; i.e. soil physical and chemical properties and in particular the availability of water. In the presentation, we will discuss drivers and major factors influencing N₂O emissions from soils planted with bio-energy crops by linking results from pot and field experiments. This will serve as basis to understand how N₂O emissions from the two biological processes of nitrification and denitrification are influenced by environmental and crop management factors. This knowledge is needed for the development of mitigation options.

Konzept für die gekoppelte Stofftransportmodellierung im Sicker- und Grundwasser – ReArMo

Bernhard Wagner¹, Bernd Pfützner², Heiko Ihling³, Beate Klöcking², Gerd Knab⁴,
Karin Kuhn³, Michael Steininger¹ und Dieter Wenske⁴

¹Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung e.V. (INL e.V.), Halle/Saale; ²Büro für Angewandte Hydrologie (BAH), Berlin und München; ³Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Abteilung 4, Referat 44, Dresden; ⁴IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH (IHU GmbH), Nordhausen-Leimbach. E-Mail: info@repro-agrar.de

Einleitung

Die EU-WRRRL verlangte bis zum Ende des Jahres 2009 die Umsetzung der Maßnahmenprogramme u. a. für Grundwasserkörper, die sich nicht im guten chemischen Zustand befinden und damit die Ziele der Richtlinie noch nicht erreichen. Neben den Anforderungen, die sich aus der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie an den Zustand der Wasserkörper (hier insbesondere Grundwasserkörper) ergeben, sind auch die Anforderungen zu beachten, welche die Trinkwasserverordnung an die Qualität des zur Wasserversorgung dienenden Wassers, insbesondere Grundwassers, stellt. Die Trinkwasserverordnung schreibt streng definierte Grenzwerte für die Gehalte des Trinkwassers an Stickstoffverbindungen vor.

Eine wichtige Schlüsselposition zur Ableitung kosteneffizienter Maßnahmen zur Verringerung von Nitrat- und Ammoniumbelastungen stellt das Verständnis der Stickstofftransport- und -umwandlungsprozesse in der ungesättigten und gesättigten Zone dar.

Aus den genannten Gründen wird vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie für den Grundwasserbereich die Erstellung eines gekoppelten Stofftransportmodells als Prognoseinstrumentarium für die Beschaffenheitsentwicklung speziell für die Parameter Nitrat und Ammonium in wasserwirtschaftlich relevanten unterirdischen Einzugsgebieten favorisiert und die Erarbeitung der konzeptionellen Grundlagen für die Kopplung der Modelle **REPRO**, **ArcEGMO** und **MODFLOW** veranlasst.

Material und Methoden

Die Software REPRO (Christen et al. 2009) stellt eine Applikation zur Verfügung, die verschiedene Daten bündelt und je nach Aufgabenstellung flexibel einsetzbar macht. Sie bildet den Kern der Analysen am landwirtschaftlichen Betriebssystem.

REPRO ist semimodular aufgebaut und enthält Datenbanken zur Verwaltung von Standort- und Bewirtschaftungsdaten, Verflechtungsbilanzen zur Abbildung betrieblicher Stoff- und Energieflüsse, empirische Modelle, Schnittstellen für den Datenaustausch sowie verschiedene Bewertungsverfahren (Indikatoren, Normalisierungs- und Netzdiagrammtechnik).

Mit dem GIS-gestützten NA-Modell ArcEGMO© (Becker et al. 2002) können räumlich und zeitlich hoch aufgelöst alle wesentlichen Komponenten des Gebietswasser-, Phosphor- und Kohlen-/Stickstoffhaushaltes von den Wechselbeziehungen zwischen Atmosphäre-Vegetation-Boden bis hin zu den ober- und unterirdischen Abflusskonzentrationsprozessen bei Berücksichtigung von anthropogenen Steuerungen und natürlichen Störungen beschrieben werden.

Zur Simulation der 3D-Grundwasserströmung wird das Programmsystem MODFLOW (Mc Donald und Harbaugh 1988) eingesetzt. MODFLOW basiert auf der Finite-Differenzen-Methode zur räumlichen Diskretisierung der systembeschreibenden Differentialgleichung (DGL). MODFLOW ist das mit Abstand am häufigsten eingesetzte Programmsystem zur Simulation der Grundwasserströmung weltweit und weist einen entsprechend hohen Grad der Verifizierung auf.

Ergebnisse und Diskussion

Es wurde eine Konzeption für die Erstellung und Pilotanwendung eines gekoppelten Modellsystems ReArMo entwickelt, das die prognostische Abschätzung künftiger Entwicklungen des Grundwassers nach Menge und Beschaffenheit unter geänderten Randbedingungen (Klima, Landnutzung, Bewirtschaftung) zum Ziel hat.

ReArMo besteht aus den Komponenten:

REPRO - für die Auswertung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsdaten auf Betriebsebene und Bilanzierung der Stickstoffsalden einschließlich der Stickstoffverluste auf Schlag-(Teilschlag)ebene,

ArcEGMO- für die deterministische Simulation der Sickerwasserbildung und des daran geknüpften Austrags von Nitrat und Ammonium aus der Bodenzone in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen und der Vegetationsentwicklung und bei Berücksichtigung der Bewirtschaftung der landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie des Eintrags von anorganischen Stickstoffkomponenten mit dem Grundwasser,

MODFLOW - für die Abbildung der zeitlichen Entwicklung und räumlichen Verteilung der Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen im Grundwasser einschließlich des Eintrages der Stickstoffverbindungen in die Randbedingungen über das Grundwasser. Dieser Modellverbund wurde für detaillierte Untersuchungen von Hotspots bzw. Schwerpunktgebieten konzipiert.

Durch den Modellverbund ReArMo werden die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Kompartimenten des Systems Atmosphäre – Vegetation – Boden – Wasserkörper (Grund- und Oberflächengewässer) deterministisch bzw. physikalisch basiert simuliert. Somit können die Auswirkungen von Klima- und Nutzungsänderung im System erfasst und abgebildet werden. Dabei werden die heute gültigen Wechselbeziehungen in die Zukunft extrapoliert. Adaptionsprozesse (z.B. neue Sorten etc.) können nur bedingt erfasst werden. In diesem Sinne wurden und werden die Einzelmodelle REPRO, ArcEGMO/ PSCN und MODFLOW, aber auch eine Modellkopplung ArcEGMO – MODFLOW bereits für Szenarioanalysen zu möglichen Klima- und Landnutzungsänderungen deutschlandweit eingesetzt.

Literatur

- Becker, A., Klöcking, B., Lahmer, W., Pfützner, B. 2002: The Hydrological Modelling System ArcEGMO. In: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology. Singh, V.P., Frevert, D.K. (eds.) Water Resources Publications, Littleton/Colorado, ISBN 1-887201-34, 321-384.
- Christen, O., Hövelmann, L., Hülsbergen, K.-J., Packeiser, M., Rimpau, J., Wagner, B. (Hrsg.) 2009: Nachhaltige landwirtschaftliche Produktion in der Wertschöpfungskette Lebensmittel. Erich Schmidt Verlag, Berlin, Initiativen zum Umweltschutz 78:187.
- McDonald, M.G., A.W. Harbaugh 1988: MODFLOW - A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model. U.S. Geological Survey.

Einfluss von Einstrahlungsintensität, Stickstoffangebot und Düngungsart auf Rohprotein, Reineiweiß, freie Aminosäuren und freies Asparagin in Sommerweizenkaryopsen

Miriam Athmann, Alicia Cortinas Vicent und Ulrich Köpke

Institut für Organischen Landbau, Universität Bonn, Bonn. E-Mail: mathmann@uni-bonn.de

Einleitung

Suboptimale Umweltbedingungen können bei Kulturpflanzen zu unerwünschten Verschiebungen der inhaltsstofflichen Zusammensetzung führen. In einem zwei-jährigen Projekt wurde vor diesem Hintergrund der Einfluss von Einstrahlungsintensität, N-Angebot und Düngungsart (organisch; mineralisch) auf die Stickstoffumlagerung in Weizenkaryopsen untersucht. Der Beitrag stellt Ergebnisse für Rohprotein, Reineiweiß, freie Aminosäuren und freies Asparagin vor.

Material und Methoden

Das Probenmaterial stammt aus einem 2009 auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut (Hennef/Sieg, 7°17'E 50°48'N, 65 m ü. NN, Jahresmittel: 10,2 °C/850 mm, Bodenart: sLU) durchgeführten Feldversuch mit den Faktoren Einstrahlungsintensität (100 % photosynthetisch aktive Strahlung PAR / 55 % PAR), N-Angebot (20 / 80 kg N/ha) sowie Düngungsart (organisch: kompostierter Rindertretmist; mineralisch: Kalkammonsalpeter, Kaliumchlorid, Triplesuperphosphat). Der Gesamtstickstoffgehalt der am 6.8.2009 geernteten Weizenkaryopsen wurde durch Elementaranalyse (Euro EA 3000, Fa. HEKAtech, Wegberg) nach Dumas/Merz bestimmt, der Rohprotein-gehalt durch Multiplikation des Gesamtstickstoffgehaltes mit dem Faktor 5,7 berechnet. Die Messung der Gehalte freier Aminosäuren sowie Ammonium erfolgte mit einem Biochrom 20 plus Aminosäureanalysator (Biochrom Ltd., Cambridge, GB). Der Reineiweißgehalt wurde näherungsweise durch Subtraktion des Gesamtgehaltes freier Aminosäuren und des Ammoniums vom Gesamt-N ermittelt. Bei allen Analysen wurden Messungen mit VK > 5 % wiederholt. Der Einfluss der Versuchsfaktoren auf die Inhaltsstoffgehalte wurde als dreifaktorielle Spaltanlage mit einer ANOVA auf Signifikanz getestet (PROC MIXED in SAS). Mittelwertvergleiche erfolgten mit dem Tukey-Test bei $\alpha = 0,05$. Für die Interpretation von Wechselwirkungen wurden die Daten auf der Stufe des untergeordneten Faktors für jede Stufe des übergeordneten Faktors separat ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Tab. 1 zeigt die Haupteffekte der drei Versuchsfaktoren auf die Gehalte der untersuchten Inhaltsstoffe. Die Auswertungen auf Basis der Kombinationsmittelwerte für die verschiedenen Wechselwirkungen sind in den Tab. 2 und 3 dargestellt. Beschattung im Vergleich zu voller Einstrahlung, hohes im Vergleich zu niedrigem N-Angebot und mineralische im Vergleich zu organischer Düngung resultierten hypothesengemäß in zum Teil signifikant höheren Rohproteingehalten, niedrigeren Reineiweißgehalten und höheren Gehalten an freien Aminosäuren und freiem Asparagin (Tab. 1-3).

Tab. 1: Inhaltsstoffgehalte in Abhängigkeit von Einstrahlungsintensität, N-Angebot und Düngungsart.

Parameter	Einstrahlung		N-Angebot		Düngungsart		Wechselwirkungen
	100 %	55 %	niedrig	hoch	org	min	
Freie Aminosäuren [mg/kg TM]	887 a	1526 b	1046 a	1367 b	1023 a	1390 b	
Freies Asparagin [mg/kg TM]	318 a	579 b	380	517	373	524	N*D
Reineiweißgehalt [%]	95,7	94,0	95,4	94,3	95,4	94,4	E*N*D
Rohproteingehalt [%]	13,1 a	15,6 b	13,7 a	14,9 b	13,7 a	15,1 b	

Werte mit verschiedenen Buchstaben innerhalb eines Versuchsfaktors unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$). N: N-Angebot, D: Düngungsart, E: Einstrahlungsintensität.

Tab. 2: Freies Asparagin auf Basis der Kombinationsmittelwerte aus N-Angebot und Düngungsart.

Parameter		N niedrig		N hoch	
Freies Asparagin	org	349 a	A	400 a	B
[mg/kg TM]	min	414 a	A	620 b	B

Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$). Kleinbuchstaben: Düngungsarten, Großbuchstaben: N-Angebotsstufen.

Tab. 3: Reineiweißgehalt auf Basis der Kombinationsmittelwerte aus Einstrahlungsintensität, N-Angebot und Düngungsart.

Parameter		100 % PAR				55 % PAR			
		N niedrig		N hoch		N niedrig		N hoch	
Reineiweißgehalt [%]	org	96,5 a	A β	96,1 b	A β	95,2 b	B α	93,7 a	A α
	min	95,9 a	B β	94,4 a	A β	94,1 a	A α	93,1 a	A α

Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$). Kleinbuchstaben: Düngungsarten; Großbuchstaben: N-Angebotsstufen; griechische Buchstaben: Einstrahlungsintensitäten.

Als Intermediärprodukte der Proteinsynthese akkumulieren freie Aminosäuren und insbesondere Asparagin als Stickstoffspeicher, wenn das N-Angebot die Proteinsynthesekapazität übersteigt (Lea et al. 2007). Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass diese Bedingungen durch reduzierte Einstrahlungsintensität herbeigeführt werden können. Erhöhung des N-Angebots von 20 auf 80 kg N/ha – ein im Vergleich zur praxisüblichen konventionellen N-Düngung noch niedriges Niveau – resultierte ebenfalls in geringerer Stoffumlagerung. Organische im Vergleich zu mineralischer Düngung konnte bei gleichem N-Angebot die negativen Effekte suboptimaler kulturpflanzlicher Umwelt mindern. Ursächlich sind hier vermutlich eine gleichmäßigere N-Freisetzung, möglicherweise auch eine ausgewogenere Zufuhr von Mikronährstoffen. Die im Vergleich zu anderen Untersuchungen insgesamt hohen Asparagingehalte sind vermutlich durch die durchweg hohen Rohproteingehalte bedingt (vgl. Weber et al. 2008). Für eine qualitätsrelevante Reduktion des freien Asparagins im Erntegut kann daher auch eine Ausrichtung der Züchtung auf verbesserte Stoffumlagerung wesentlich sein.

Literatur

- Lea, P.J., Sodek, L., Parry, M.A. et al. 2007: Asparagine in plants. *Ann. Appl. Biol.* 150:1-26.
 Weber, E.A., Graeff, S., Koller, W.-D. et al. 2008: Impact of nitrogen amount and timing on the potential of acrylamide formation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Res* 106:44-52.

Ertrag und Qualität von Zucker- und Futterrüben für den Einsatz in Biogasanlagen

Philipp Starke und Christa Hoffmann

Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-mail: starke@ifz-goettingen.de

Einleitung

Beim Anbau von Energiepflanzen für die Vergärung in Biogasanlagen sind bevorzugt Pflanzen mit einem hohen Trockenmasseertrag zu wählen. Oftmals steht dabei der Mais an vorderster Stelle. Wegen enger Fruchtfolgen, z.T. sogar Maismonokulturen, mit entsprechenden phytosanitären Problemen werden verstärkt alternative Kulturen genutzt. Es ist bekannt, dass Zucker- und Futterrüben hohe Frischmasseerträge bilden, oftmals ist der Trockenmasseertrag jedoch nicht bekannt. Daher stellt sich die Frage, ob zwischen den verschiedenen Sortentypen Unterschiede im Trockenmasseertrag vorliegen und ob dieser von der Stickstoffdüngung beeinflusst wird. Weiterhin ist ungeklärt, wie sich eine unterschiedliche Zusammensetzung der Trockenmasse verschiedener Zuckerrübensorten auf den Biogasertrag auswirkt.

Material und Methoden

In den Jahren 2009 und 2010 wurden Feldversuche an den Standorten Göttingen und Regensburg angelegt, bei denen 4 verschiedene Sorten bei 3 N-Düngungsstufen untersucht wurden. In weiteren Versuchen wurden Ertrag und Qualität von Zuckerrübensorten und einer Futterrübensorte bei 4 N-Düngungsstufen verglichen. Mit der Weender Futtermittelanalyse wurde die Zusammensetzung der Trockenmasse, in Gärversuchen im Batchverfahren die Biogasbildung untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die Versuche zeigten, dass Futterrüben mit über 110 t ha^{-1} signifikant höhere Frischmasseerträge als Zuckerrüben (89 t ha^{-1}) bilden. Aufgrund des geringeren Trockenmassegehaltes (15,7 %) war der Trockenmasseertrag der Futterrüben mit $17,4 \text{ t ha}^{-1}$ geringer als der der Zuckerrüben ($18,9 \text{ t ha}^{-1}$). Der von Buhre et al. (2010) beschriebene höhere Trockenmasseertrag der Zuckerrüben von 10 % konnte in diesen Versuchen daher bestätigt werden. Am Standort Regensburg wurden mit Zuckerrüben bis zu 28 t TM ha^{-1} geerntet. Bei Hinzunahme des Rübenblattes ließen sich Trockenmasseerträge von mehr als 35 t ha^{-1} erzielen. Die verschiedenen Sortentypen unterschieden sich im Rübentrockenmasseertrag nicht signifikant voneinander. Besteht die Möglichkeit der Entblätterung der Rüben, kann zusätzlich der Rübenkopf genutzt werden. Eine Steigerung der geernteten Rübentrockenmasse um ca. 2 t ha^{-1} ist somit möglich (Hoffmann, 2011). Überhöhte N-Düngung führte zu keiner signifikanten Erhöhung des Rübentrockenmasseertrages. Mit steigender N-Düngung nahm lediglich der Blattertrag zu (Hoffmann et al., 2011).

Die Trockenmasse der Rüben bestand zu ca. 90 % aus stickstofffreien Extraktstoffen (NfE), die auch den Zucker beinhalten und sich durch eine leichte und schnelle Umsetzung im Fermentationsprozess auszeichnen (Starke und Hoffmann, 2011). Daher war die Biogasbildung aus Zuckerrüben extrem schnell, so dass bereits nach 4 Tagen 90 % der Trockenmasse umgesetzt waren (Abb. 1). Im Verlauf der Biogasbildung und im spezifischen Biogasertrag wurden keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Zuckerrübensortentypen festgestellt. Bei den Futter-

rüben war aufgrund des geringeren Gehaltes an NfE die Biogasbildung langsamer als bei Zuckerrüben. So wurden erst nach 6 Tagen 90 % der Biogasbildung erreicht. Der spezifische Biogasertrag ($\text{NI kg}^{-1} \text{ oTS}$) unterschied sich nicht zwischen Zucker- und Futterrüben und lag bei ca. $750 \text{ NI kg}^{-1} \text{ oTS}$.

Um die Ertragsleistung von Energiepflanzen als Biogassubstrat vergleichen zu können, ist der Biogasertrag pro Hektar von Bedeutung. Zuckerrüben bildeten signifikant höhere Biogaserträge als Futterrüben (Abb. 2). Am Standort Regensburg war der Biogasertrag höher als in Göttingen, da signifikant mehr Trockenmasse gebildet wurde. Der Biogasertrag korreliert sehr eng mit dem Trockenmasseertrag, so dass die Trockenmassebildung, nicht aber die Zusammensetzung der Trockenmasse, den größten Einfluss auf den Biogasertrag hat. Als Biogassubstrat sind daher bevorzugt die Sorten mit dem höchsten Trockenmasseertrag zu wählen.

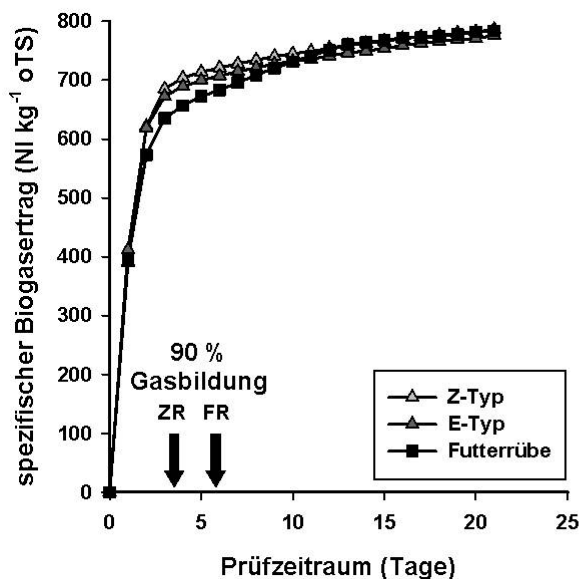


Abb. 1: Kumulierter spezifischer Biogasertrag von zwei Zuckerrübensorten (E-Typ und Z-Typ) sowie einer Futterrübe, Göttingen, Herbst 2010

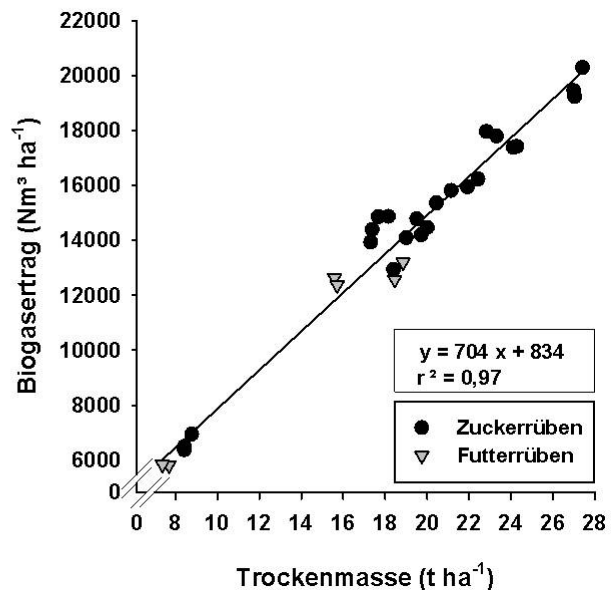


Abb. 2: Biogasertrag von 4 Zuckerrübensorten und einer Futterrübe bei unterschiedlicher N-Düngung in Abhängigkeit vom Rüben-trockenmasseertrag, Göttingen und Regensburg, August und Herbst 2009 und 2010

Literatur

- Buhre, C., E. Ladewig, B. Märländer 2010: Biomassensorten bei Zucker- und Futterrüben. Zuckerind. 59:48-51.
- Hoffmann, C. 2011: Ertrag und Qualität des Rübenkopfes sowie Blattertrag bei verschiedenen Zuckerrübensorten und einer Futterrübe. Zuckerind. (im Druck).
- Hoffmann, C., P. Starke, B. Märländer 2011: Trockenmasse- und damit Zuckerertrag als Kriterium für den Biogasertrag von Zuckerrüben. Zuckerind. (im Druck).
- Starke, P., C. Hoffmann 2011: Zuckerrüben als Substrat für die Biogaserzeugung. Zuckerind. 136:242-250.

Einfluss von Umwelt, Sorte und N-Düngung auf Ertrag und Qualität verschiedener Zuckerrübensorten auf sandigen Standorten

Jorita Krieger¹, Frank Ellmer¹, Michael Baumecker¹ und Andreas Muskolus²

¹Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Berlin; ²Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte, Berlin. E-Mail: Jorita.Krieger@agrar.hu-berlin.de

Einleitung

Zur Ermittlung der Leistung von Zuckerrüben auf sandigen Böden des Norddeutschen Tieflandes wurden in der Region Berlin-Brandenburg an drei verschiedenen Standorten Feldversuche durchgeführt. Schwerpunkt hierbei war die Quantifizierung von Ertrag und Qualität der geprüften Sorten.

Material und Methoden

Die Versuchsstandorte Berge, Berlin-Dahlem und Thyrow umfassen schwach schluffige bis anlehmgige Sandböden. Im Feldversuch (zweifaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen) wurden in den Jahren 2008 bis 2010 drei Sorten unter abgestufter N-Düngung (0, 80, 120 kg ha⁻¹) geprüft. Aufgrund von regelmäßig auftretender Vorsommertrockenheit wurden die Pflanzenbestände teilweise mehrfach beregnet (Tab. 1).

Tab. 1: Bodentextur im Oberboden (Gew.-%) und Wasserangebot (mm) am Standort

Standort	Körnungsart			Niederschlagshöhe				Beregnung		
	Sand	Schluff	Ton	ljM	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Berge	75,6	16,6	7,8	502	577	461	530	-	10	-
Berlin-Dahlem	72,1	25,0	2,9	540	533	593	576	-	-	15
Thyrow	83,1	14,2	2,7	495	468	535	619	102	100	50

Legende: ljM – langjähriges Mittel (1971– 2000)

Die Ertragsparameter und die technische Qualität wurden im Labor der Firma Syngenta Seeds (Bad Salzflen) ermittelt. Zur statistischen Datenauswertung wurde das Softwarepaket SAS[®] Version 9.2 genutzt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Umwelten als Kombination aus Standort und Jahr haben die Ertrags- und Qualitätsparameter der Zuckerrüben signifikant beeinflusst. Darüber hinaus wurden signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Umwelt und Sorte sowie Umwelt und N-Düngung festgestellt.

In allen Versuchsjahren bestätigte sich die überragende Bedeutung der N-Düngung, welche sowohl den Ertrag als auch die Qualität der Zuckerrübensorten signifikant beeinflusste. Bereits mit 80 kg ha⁻¹ N wurden sowohl beim Rübenenertrag als auch beim Bereinigten Zuckerertrag signifikante Mehrerträge von 20 bzw. 17 % erreicht. Die N-Düngung mit 120 kg ha⁻¹ bewirkte demgegenüber keine weitere Zunahme des Bereinigten Zuckerertrages.

Effekte der Sorten zeigten sich vermehrt bei den Qualitätsparametern, was mit Ergebnissen von Rother (1998) übereinstimmt. Hierbei wies die Sorte *Ruveta* (Z-Typ) konstant die höchsten Zuckergehalte auf, was mit dem vergleichsweise geringeren Rübenenertrag im Zusammenhang steht (Rother, 1998). Beim Amino-N-Gehalt wurden signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Sorte und N-Düngung festgestellt. Die N-Düngung mit 120 kg ha⁻¹ führte zu einer Verdopplung der Werte.

Die ertragsbetonte Sorte *Klarina* wies die höchsten Amino-N-Gehalte sowie die geringsten Natriumgehalte auf. Als Resultat des signifikant höheren Rübenenertrages erreichte diese Sorte höhere Werte beim Bereinigten Zuckerertrag als *Ruveta* und *Sporta*.

Auf dem schwach schluffigen Standort Thyrow wurden unter Zusatzberegnung stets die höchsten Zuckergehalte sowie die geringsten Amino-N-Gehalte ermittelt, woraus vergleichsweise geringe Werte beim Standardmelasseverlust resultierten. Der überdurchschnittlich hohe Amino-N-Gehalt der Zuckerrüben in Berge 2009 könnte eine Reaktion der Pflanzen auf Trockenstress gewesen sein (Bloch, 2006). Der Bereinigte Zuckerertrag lag auf diesem besseren lehmigen Standort in den Jahren 2009 und 2010 aufgrund von geringen Niederschlägen unter dem Mittel der Umwelten von fast 10 t ha⁻¹ (Tab. 2).

Tab. 2: Einfluss von Umwelt, Sorte und N-Düngung auf Rübenenertrag (RE), Zuckergehalt (ZG), Amino-N-Gehalt (AmN), Standardmelasseverlust (SMV) und Bereinigten Zuckerertrag (BZE) von Zuckerrüben; (Mittelwerte, Tukey, $\alpha = 0,05$)

Prüf-faktoren	Prüffaktor-stufen	RE (t ha ⁻¹)	ZG (% a. R.)	AmN (mmol 1000 g ⁻¹ R.)	SMV (% a. R.)	BZE (t ha ⁻¹)
Umwelt	Berge '08	82,09 F	18,43 B	19,53 D	1,48 C	13,40 G
	Berge '09	59,01 CD	17,75 A	35,29 E	1,79 D	9,06 BCD
	Berge '10	54,71 BC	17,99 A	6,96 A	1,15 A	8,87 ABC
	Dahlem '08	57,28 BCD	18,32 B	18,22 D	1,48 C	9,30 CDE
	Dahlem '09	62,36 DE	17,73 A	18,48 D	1,47 C	9,74 DE
	Dahlem '10	52,23 B	17,95 A	9,48 BC	1,33 B	8,35 AB
	Thyrow '08	66,07 E	19,52 D	10,82 C	1,28 B	11,64 F
	Thyrow '09	59,54 CD	18,48 B	7,71 AB	1,15 A	9,96 E
	Thyrow '10	46,81 A	19,23 C	7,05 A	1,20 A	8,11 A
Sorte	Ruveta	58,34 a	18,66 c	13,98 a	1,33 a	9,74 a
	Sporta	59,71 a	18,37 b	14,27 a	1,38 b	9,75 a
	Klarina	61,98 b	18,10 a	16,26 b	1,39 b	9,98 a
N-Düngung	0 kg ha ⁻¹ N	53,22 α	18,67 α	10,11 α	1,28 α	8,91 α
	80 kg ha ⁻¹ N	63,37 β	18,37 β	15,25 β	1,37 β	10,40 β
	120 kg ha ⁻¹ N	63,45 β	18,09 γ	19,15 γ	1,46 γ	10,16 β

Legende: A – F, a – c, α – γ gleiche Buchstaben kennzeichnen gleiche Gruppenzugehörigkeit

Die Ertragsfähigkeit dieser grundwasserfernen Standorte wird i. d. R. durch die Wasserverfügbarkeit begrenzt, weshalb hier die Beregnung zur Ertragssicherung unverzichtbar ist.

Literatur

- Bloch D. 2006: Physiological effects of drought stress in sugar beet – Yield development, technical quality, genotypic variation. Dissertation, Göttingen, Cuvillier, 63-64.
 Rother B. 1998: Die technische Qualität der Zuckerrübe unter dem Einfluss verschiedener Anbau-faktoren. Dissertation, Göttingen, Cuvillier, 45-92.

Gärprodukte aus der Biogasproduktion als Düngestoffe im Pflanzenbau: Einfluss auf die äußere und innere Qualität von Winterweizen

Gabriela Bermejo und Frank Ellmer

Fachgebiet Acker und Pflanzenbau, Humboldt-Universität zu Berlin. E-Mail: gabriela.bermejo@agrar.hu-berlin.de

Einleitung

Die Erzeugung von Biogas in landwirtschaftlichen Betrieben ist in den letzten Jahren stark ausgeweitet worden (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2010). Damit ist auch verbunden, dass die entstehenden Gärprodukte im großen Maßstab als Dünger im Ackerbau eingesetzt werden. Bisher war die Forschung dazu auf die Untersuchung der Ertragswirksamkeit ausgerichtet. Weniger Informationen liegen zur Ertragsbildung und zum Einfluss auf die Qualität pflanzlicher Produkte vor. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit die Wirkung verschiedener Gärprodukte auf den Kornertrag und die äußere und innere Qualität von Winterweizen auf einem sandigen Standort untersucht.

Material und Methoden

Der Einfluss von festen und flüssigen Gärprodukten auf den Ertrag und die äußere und innere Qualität des Winterweizens (Sorte „Discus - A“) wurde im Vergleich zu Mineral-N-Dünger Kalkammonsalpeter, Gülle, Stallmist und einer unbehandelten Kontrolle untersucht. Als Feldversuch ist eine einfaktorielle Blockanlage mit vierfacher Wiederholung gewählt worden. Am Versuchsstandort Berlin-Dahlem liegt der Bodentyp Braunerde-Fahlerde vor. Neben dem Kornertrag wurde die Ertragsstruktur bestimmt. Zur Beurteilung der Kornqualität wurden das Hektolitergewicht, der Proteingehalt (Dumas-Verfahren), der Sedimentationswert und die Fallzahl bestimmt.

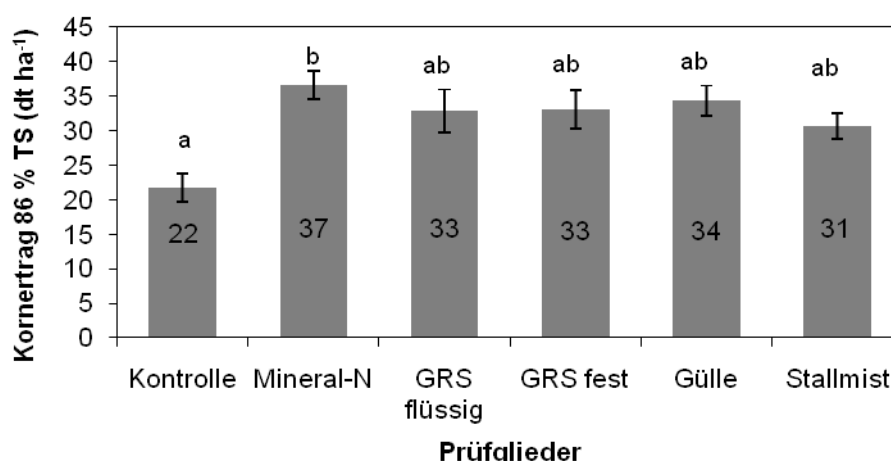


Abb. 1: Kornertrag (dt ha⁻¹ bei 86 % TS) von Winterweizen in Abhängigkeit von der Düngerart. Mittelwerte und Tukey Test α : 0,05 %. Die Mittelwerte aus der gleichen homogenen Gruppe werden durch gleiche Buchstaben markiert. GRS: Gärprodukt

Ergebnisse und Diskussion

Der Einsatz von 120 kg ha⁻¹ Mineralstickstoff in einer Gabe hatte im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle die zu erwartende signifikant positive Wirkung auf den Kornertrag. Dies ist mit der Verfügbarkeit des mineralischen Stickstoffs zu erklären.

Nach dem Einsatz der organischen Düngestoffe waren die Erträge um 3 bis 6 dt ha⁻¹ geringer. Bei gleicher N-Menge ist dies auf die N-Verfügbarkeit zurückzuführen. (Abb. 1).

Tab. 1: Ertragsstruktur und äußere Qualitätsparameter bei Winterweizen (GRS: Gärprodukt).

Prüfglieder	Ähren m ⁻²	Körner Ähre ⁻¹	TKG (g)	Hektolitergewicht (kg)
Kontrolle	243 ± 19,42 ^a	22,91 ± 1,45 ^a	38,96 ± 0,85 ^a	79,80 ± 0,25 ^a
Mineral -N	273 ± 34,04 ^a	28,94 ± 4,96 ^b	42,17 ± 1,34 ^b	80,81 ± 0,64 ^a
GRS flüssig	264 ± 33,04 ^a	33,67 ± 4,16 ^{ab}	41,48 ± 1,28 ^b	80,55 ± 0,30 ^a
GRS fest	268 ± 26,73 ^a	29,91 ± 2,49 ^b	41,33 ± 0,46 ^b	80,60 ± 0,34 ^a
Rindergülle	275 ± 10,25 ^a	29,80 ± 0,19 ^b	41,82 ± 1,27 ^b	80,50 ± 0,74 ^a
Stallmist	231 ± 16,92 ^a	32,63 ± 1,92 ^b	40,65 ± 0,61 ^{ab}	80,49 ± 0,43 ^a

Die Ertragsstruktur war deutlich durch die unterschiedlichen Düngestoffe beeinflusst. Mineral-N-Dünger und Gülle führten zu höheren Bestandesdichten. Dies hatte aufgrund innerpflanzlicher Konkurrenz eine geringere Kornzahl pro Ähre, höheres Tausendkorngewicht und Hektolitergewicht zur Folge. Dies dürfte auf die Menge an direkt verfügbarem Stickstoff in der Bestockungsphase zurückzuführen sein. Der gegenteilige Effekt wurde in der mit Stallmist gedüngten Variante beobachtet. Die niedrigere Bestandesdichte wurde durch eine höhere Kornzahl je Ähre teilweise kompensiert (Tab. 1).

Tab. 2: Innere Qualitätsparameter bei Winterweizen am Standort Dahlem (GRS: Gärprodukt).

	Proteingehalt (% TM)	Fallzahl (sec)	Sedimentation (ml)
Kontrolle	9,68 ± 0,21	310,75 ± 11,56	11,70 ± 0,29
Mineral-N	10,09 ± 0,43	322,50 ± 17,60	12,05 ± 0,24
GRS flüssig	10,58 ± 0,24	323,50 ± 19,47	11,19 ± 0,52
GRS fest	10,43 ± 0,34	327,00 ± 7,39	12,38 ± 0,44
Rindergülle	11,03 ± 1,14	336,25 ± 26,95	12,38 ± 0,89
Stallmist	10,41 ± 0,83	323,00 ± 24,67	11,99 ± 0,67

Der Einsatz von Rindergülle ergab beim Proteingehalt, der Fallzahl und dem Sedimentationswert die besten Werte. Die Gärprodukte nahmen in diesem Vergleich eine Zwischenstellung ein (Tab. 2).

Fazit

Der Einsatz von festen und flüssigen Gärprodukten aus der Biogaserzeugung hat bei Winterweizen ähnliche Effekte wie Rindergülle erbracht. Im Vergleich zu Mineral-N-Düngung war der Ertrag um 10 % niedriger. Die Qualitätsparameter waren hingegen weitgehend gleich.

Literatur

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2010). Bestandesentwicklung der Biogasanlagen in Deutschland. www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?id=2290&spalte=3

Phenolsäuregehalte und antioxidative Kapazität von *Origanum vulgare* L. – Analyse eines Genbanksortimentes

Feng Yan, Susanne Janke, Madeleine Schwarz, Stefanie Zeller und
Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität, Gießen. E-Mail:
feng.yan@agrar.uni-giessen.de

Einleitung

Der Dost (*Origanum vulgare* L.) ist eine wirtschaftlich bedeutsame Gewürzpflanze, die in Europa, Asien und Nordafrika weit verbreitet ist. Die antioxidative und antimikrobielle Wirkung von Dost geht hauptsächlich auf die phenolischen Verbindungen und auf die Komponenten des ätherischen Öls zurück. Diese Verbindungen zählen zu den natürlichen Antioxidantien, denen in der Ernährungsphysiologie eine große Bedeutung zugesprochen wird. Eine der wichtigsten Funktionen solcher Antioxidantien ist das Abfangen der reaktiven Sauerstoffspezies (ROS = reactive oxygen species), die bei der Entstehung von altersabhängigen Krankheiten wie Krebs, Arteriosklerose, Arthritis und neurodegenerativen Störungen eine Schlüsselrolle spielen. Der Gehalt an phenolischen Verbindungen wie Rosmarinsäure, und die Konzentration an ätherischem Öl sind deswegen wichtige Qualitätsmerkmale für Dost, die von verschiedenen Faktoren, wie z. B. Herkunft und Anbaubedingungen, abhängen können.

Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit der Frage nachgegangen, ob der Gehalt an Rosmarinsäure und die antioxidative Kapazität des Dostes von der Herkunft abhängig sind und wie stark die Anbaubedingungen diese Qualitätsmerkmale beeinflussen können.

Material und Methoden

Um die Variabilität der antioxidativen Kapazität zwischen den verschiedenen Akzessionen festzustellen, wurde ein Sortiment mit 39 Akzessionen von Dost (*Origanum vulgare* L.) von der Genbank Gatersleben (IPK, Gatersleben, Deutschland) bezogen. Drei weitere Akzessionen wurden von Pharmasaat (Artern, Deutschland) sowie von Syringa (Hilzingen-Binningen, Deutschland) beschafft. Die Herkunftsländer der Akzessionen sind Italien, Albanien, Spanien, USA, Ungarn, Georgien sowie Deutschland. Ein Gefäßversuch mit diesen 42 Akzessionen wurde in der Versuchsstation Rauschholzhausen der Justus-Liebig-Universität Gießen von 2007 bis 2008 durchgeführt. Die Pflanzen wurden zu Blühbeginn geerntet und auf den Gehalt an Rosmarinsäure (HPLC-Methode) und auf ihre antioxidative Kapazität mittels ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) und der Folin-Ciocalteu-Methode untersucht. Zusätzlich wurde in den Jahren 2008 und 2009 ein Feldversuch mit 8 Akzessionen durchgeführt. Die Pflanzen wurden in gleicher Weise wie beim Gefäßversuch behandelt, geerntet und analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Akzessionen des Dostes zeigten eine große Schwankung im Gehalt an Rosmarinsäure (Abb. 1) von 7 mg/g TM (Akzession 45) bis 40 mg/g TM (Akzession 31, 37). Da alle untersuchten Pflanzen unter gleichen Bedingungen angezogen wurden, kann diese Schwankung des Gehaltes an Rosmarinsäure als ein Indiz für eine genetische Variabilität angesehen werden. Diese genetische Variabilität

kann für die Selektion und Züchtung im Bezug auf die Qualität zukünftig genutzt werden.

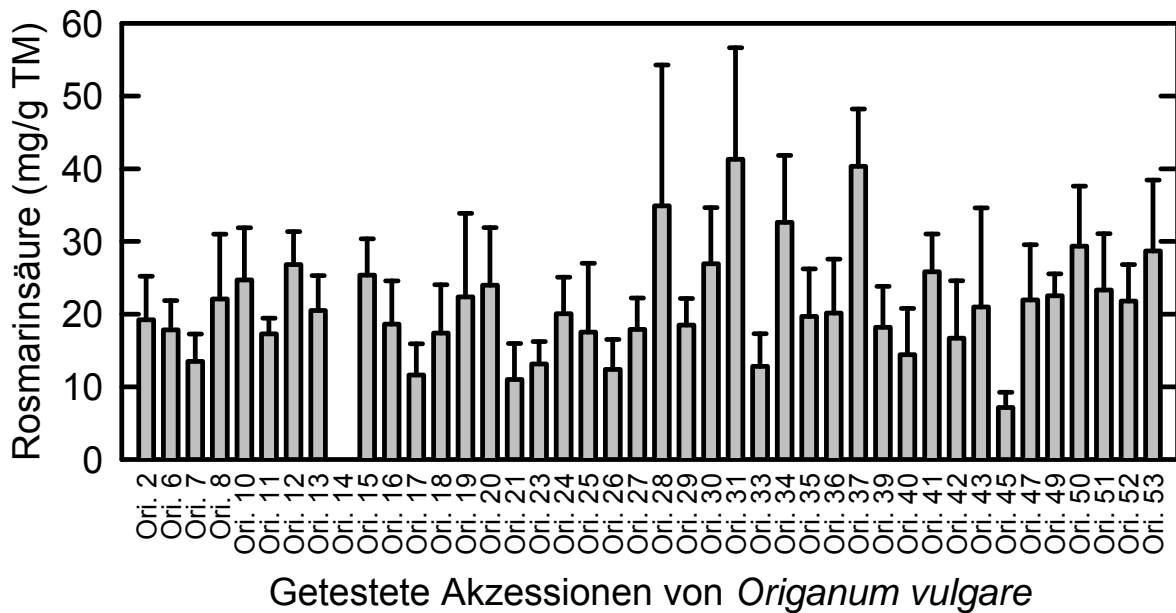


Abb. 1: Gehalt an Rosmarinsäure der im Gefäßversuch getesteten Akzessionen von Dost, dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichungen.

Die Rosmarinsäuregehalte aus dem Feldversuch waren im Vergleich mit denen aus dem Gefäßversuch deutlich höher. Im Mittel lag der Gehalt an Rosmarinsäure von den Pflanzen aus dem Feldversuch bei 35,6 mg/g TM, während die Pflanzen aus dem Gefäßversuch einen mittleren Gehalt an Rosmarinsäure von 17,6 mg/g TM aufwies. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Gehalt an Rosmarinsäure im Dost nicht nur genetisch determiniert, sondern auch durch Umweltbedingungen stark beeinflussbar ist. Unter Feldbedingungen ist die Lichtintensität etwa 30 % höher als unter Gefäßversuchsbedingungen. Es wird vermutet, dass die höhere Lichtintensität und die unterschiedliche Luft- bzw. Bodentemperatur unter Feldbedingungen zu einem höheren Rosmarinsäuregehalt der Dost-Pflanzen beigetragen haben.

Der Gehalt an Rosmarinsäure in Dost korrelierte signifikant mit dem Gesamtphenolgehalt der Pflanzen. Es bestand hingegen keine signifikante Korrelation zwischen dem Rosmarinsäuregehalt und dem ORAC-Wert. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass in Dost außer Rosmarinsäure noch andere phenolische Verbindungen wie z. B. Flavonoide für die antioxidative Kapazität des Dostes von großer Bedeutung sind.

Kornqualität und Phenolgehalte im Weizen (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum* L.) unter dem Einfluss von N-Düngung und Sorte

Bernd Honermeier, Nadine Engert, Judith Gilli, Katharina Müller und Feng Yan

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen. E-Mail: Bernd.Honermeier@agrar.uni-giessen.de

Einleitung

Die N-Düngung ist eine bedeutsame agronomische Maßnahme, mit der die Ertragsbildung und die Parameter der Backqualität des Weizens beeinflusst werden können. So verändern die Höhe und die zeitliche Verteilung der N-Gaben die Trieb- und Wurzelbildung der Pflanzen und somit auch die Konkurrenzbeziehungen und das Mikroklima im Pflanzenbestand. Eine große Bedeutung hat die N-Ernährung auch für die Kornbildung (Kornzahl/Ähre, TKM) sowie für den Proteingehalt im Erntegut. Bei der Produktion von Backweizen werden daher N-Gaben appliziert, die eine gute Kornausbildung und hohe Proteingehalte ermöglichen. Wenig untersucht ist bislang, ob eine differenzierte N-Düngung auch die Gehalte an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, wie z. B. Phenolsäuren, denen vor allem eine antioxidative Wirkung zugesprochen wird, verändern (Adom et al. 2005). Das Ziel der durchgeführten Untersuchungen bestand deshalb darin zu klären, ob durch unterschiedliche Dosis und zeitliche Verteilung der N-Gaben auch die Gehalte an phenolischen Verbindungen im Erntegut des Weizens beeinflusst werden.

Material und Methoden

Untersucht wurden die Proben aus einem Feldversuch (mehrfaktorielle Blockanlage), der im Jahr 2009 in den Versuchstationen in Gießen (schluffiger Tonboden) und in Rauschholzhausen (schluffiger Lehmboden) mit den Sorten Tommi (A-Weizen), Estevan (AGES Qualitätsgruppe 7) und Privileg (E-Weizen) durchgeführt wurde. Der Prüffaktor N-Düngung (Kalkammonsalpeter) wurde in sechs Stufen variiert: N1: 0 kg N/ha, N2: 110 kg N/ha (70+40+0), N3: 110 kg N/ha (40+0+70), N4: 110 kg N/ha (40+70+0), N5: 150 kg N/ha (70+40+40) und N6: 150 kg N/ha (40+70+70). Die zeitliche Verteilung der N-Gaben erfolgte zu Vegetationsbeginn, zu BBCH 31 (1-Knoten-Stadium) und zu BBCH 51 (Beginn Ährenschieben). Als Prüfmerkmale wurden erhoben: Ährenzahl/m², Hektolitergewicht (HLG, kg/hl), Tausendkornmasse (TKM, g), Kornertrag (dt/ha), Proteingehalt (nach DUMAS, ICC Nr. 167), Sedimentationswert nach Zeleny (ICC-Standard Nr. 116), Feuchtkleber-Gehalt (ICC-Standard Nr. 137), Gluten-Index (ICC-Standard 155), Dehnungs- und Relaxationsphase des Klebers (mit Glutograph-E der Firma Brabender) und die Gesamt-Phenole (Ganzkornmehl, Folin-Ciocalteu Assay, Messung mit Spektralphotometer, Angaben in µg Gallussäureäquivalente/g). Der Parzellenversuch wurde mit vierfacher Wiederholung angelegt. Alle Daten wurden varianzanalytisch mit PIAF-STAT verrechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Die unterschiedliche N-Düngung bewirkte erwartungsgemäß eine deutliche Beeinflussung der Ertragsstruktur des Weizens. So führte die bestockungsbetonte N-Düngung zu einer höheren Trieb- und Ährendichte der Pflanzen, während höhere N-Gaben zum Zeitpunkt des Ährenschiebens vor allem die Kornmorphologie (höhere

TKM- und HLG-Werte) verbesserte. Die Proteingehalte in den Weizenkaryopsen wurden durch eine ährenbetonte N-Düngung bei gleicher Gesamt-N-Menge von 110 kg N/ha von 11,0 % (N2) auf 12,6 % (N3) in Gießen bzw. von 12,1 % (N2) auf 13,8 % der TM (N3) in Rauschholzhausen erhöht. Auch bei einer höheren Dosis von 150 kg N/ha bewirkte eine ährenbetonte N-Düngung (N5 versus N6) eine Erhöhung der Proteingehalte von 12,6 % auf 13,2 % (Gießen) bzw. von 12,7 % auf 13,1 % der TM (Rauschholzhausen). In der Kontrolle (ohne N) lagen die Proteingehalte bei 9,3 % (Gießen) bzw. 10,6 % (Rauschholzhausen). Die Veränderung der zeitlichen Verteilung der N-Gaben hatte auch eine Verbesserung der Sedimentationswerte und der Feuchtkleberanteile zur Folge. Die E-Sorte Privileg war den Vergleichssorten nur durch einen höheren Sedimentationswert (am Standort Gießen) überlegen. Physikalische Eigenschaften des Klebers wie z. B. die Zeitdauer der Dehnungs- und Relaxationsphase (gemessen mit dem Brabender-Glutograph-E) wurden durch die ährenbetonte N-Düngung nicht signifikant verändert. Deutliche Unterschiede konnten jedoch beim Vergleich der Kontrolle (ohne N), in der die Dehnungsphase 33 sec. (Gießen) bzw. 21 sec. (Rauschholzhausen) dauerte, mit den N-Stufen (110 bzw. 150 kg N/ha) beobachtet werden, die zu einer längeren Dehnungsphase von 110 bis 133 sec. (Gießen) bzw. von 100 bis 136 sec. (Rauschholzhausen) führte.

Die Gehalte an Gesamtphenolen in den Karyopsen des Weizens variierten von minimal 2210 µg GSE/g (Gallussäure-Äquivalente) bis maximal 2592 µg GSE/g (Feldversuch Gießen 2009). Das Niveau der gemessenen Gesamtphenolgehalte entspricht den Werten, die von Adom et al. (2005) in einem Sortenversuch mit Weizen gefunden wurden. Die Veränderung der N-Dosis und der zeitlichen Verteilung der N-Gaben hatte keinen gesicherten Einfluss auf die Gesamtphenolgehalte im Vollkornmehl des Weizens. Demgegenüber war ein Sorteneffekt erkennbar. Die Sorte Privileg hatte mit 2400 µg GSE/g Mehl signifikant höhere Gesamtphenolgehalte als die Sorten Tommi und Estevan. Von genotypischen Unterschieden im Gesamtphenolgehalt des Weizens berichten auch Adom et al. (2005) und Zhou und Yu (2004). Darüber hinaus wird vermutet, dass die Gesamtphenolgehalte des Weizens auch durch die Abreife der Pflanzen sowie durch klimatische Faktoren (Lichtangebot, Wasser) beeinflusst werden (Manach et al. 2004). Diese Einflussfaktoren können durch die Bodenbedingungen und durch die Struktur eines Pflanzenbestandes (Halmlänge, Triebdichte, Blattstellung) modifiziert werden, was als Ursache für eine relativ hohe Variation der Phenolgehalte im Weizen angesehen wird.

Literatur

- Adom K.K., Sorrells, M.E., Liu, R.H. 2005: Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53:2297-2306.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., Jimenez, L. 2004: Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Society for Clinical Nutrition* 79:727-747.
- Zhou, K., Yu, L. 2004: Phytochemicals and antioxidant properties in wheat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:6108-6114.

Quantifizierung der N-Rhizodeposition im Gefäßversuch unter Freilandbedingungen

Anke Landgraf und Knut Schmidtke

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fachgebiet Ökologischer Landbau, Fakultät Landbau/Landespflege, Dresden. E-Mail: landgraf@htw-dresden.de

Einleitung

Die N-Rhizodeposition von Pflanzen ist die Stickstoffabgabe über die Wurzel in den Boden während des Wachstums der Pflanze. Bei der Betrachtung der N-Versorgung in Fruchtfolgen mit Leguminosen ist die dadurch entstandene Anreicherung des Bodens mit Stickstoff von Bedeutung. Messungen zur N-Rhizodeposition von Leguminosen wurden in der Regel (Høgh-Jensen und Schjoerring 2001) in Gefäßversuchen unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus durchgeführt, da eine isotopengestützte Messung unter Freilandbedingungen sehr hohe Anforderungen an die Methodik zur Quantifizierung der N-Rhizodeposition stellt. Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war es zu prüfen, ob unter Freilandbedingungen durch Bestandesabfall oder Auswaschung sprossbürtiger, ^{15}N -angereicherter Stickstoff in den Boden gelangt, der Einfluss auf die Erfassung der N-Rhizodeposition hat.

Material und Methoden

In einem Gefäßversuch auf einer Feldversuchsfläche der Fakultät Landbau/Landespflege der HTW Dresden in Dresden-Pillnitz wurde die Höhe der N-Rhizodeposition unter Freilandbedingungen bei den Leguminosenarten Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Erbse (*Pisum sativum* L.) ermittelt. Mittels split-root technique konnte eine kontinuierliche Anreicherung der Leguminosen mit ^{15}N erreicht werden (Schmidtke 2005), wobei im Feld die Gefäße mit einer Haube überdeckt wurden, so dass kein mit ^{15}N angereicherter Stickstoff aus der Pflanze über Auswaschung aus dem Spross oder Blattfall in das Gefäß mit Boden gelangen konnte. Der Gefäßversuch unter Freilandbedingungen war als Blockanlage mit fünf Wiederholungen angelegt. Als Referenzfrucht wurde Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.) in einem Gefäß mit dem Versuchsboden ohne ein geteiltes Wurzelsystem verwendet. Alle Pflanzenarten wurden sowohl unter Verwendung einer Abdeckhaube als auch in einer nicht abgedeckten Variante getestet. Der erste Schnitt- und Erntetermin (ca. 70 Tage nach dem Pflanzen der Leguminosen) erfolgte zur Blüte des Rotklee und zur Druschreife der Erbse. Der zweite Erntetermin bei Rotklee erfolgte nach weiteren 45 Tagen Anreicherung zu dessen Blüte.

Ergebnisse und Diskussion

Zum ersten Erntetermin Ende Juli 2010 waren signifikante Unterschiede zwischen Erbse und Rotklee in der Höhe des ^{15}N -Anreicherungsgrades des Bodens und der Leguminosenwurzel im Bodengefäß sowie der Gesamt-Wurzel-TM erkennbar. Der Einfluss einer Überdeckung der Pflanzgefäße mit einer Abdeckhaube war zu diesem Zeitpunkt nicht erkennbar (Tab. 1).

Zum zweiten Erntetermin Anfang September 2010 konnte ein signifikant höherer ^{15}N -Anreicherungsgrad im Bodengefäß in nicht abgedeckter Variante nachgewiesen werden.

Tab. 1: ^{15}N -Anreicherungsgrad von Boden und Wurzel der mit ^{15}N gedüngten Leguminosen, Höhe der N-Rhizodeposition und Wurzel-TM zum ersten Erntetermin (Ende Juli 2010)

	^{15}N -Anreicherungsgrad des Bodens ²⁾ [at. % ^{15}N]	^{15}N -Anreicherungsgrad der Wurzel ^{1) 2)} [at. % ^{15}N]	Gesamt N-Rhizodeposition der Pflanze [in % von Nt]	Gesamt-Wurzel-TM [g]
Rotklee	0.4117 a	1.0951 b	27 a	27.2 a
Erbse	0.3974 b	1.8963 a	22 a	4.7 b
mit Abdeckung	0.4046 a	1.4904 a	24 a	17.3 a
ohne Abdeckung	0.4045 a	1.5010 a	26 a	14.6 a

gleiche Buchstaben kennzeichnen nicht signifikante Unterschiede, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$

Wechselwirkung Art x Abdeckung: n.s., Nt = Summe N in Spross und Wurzel

¹⁾ ^{15}N -Anreicherungsgrad der Wurzel im Bodengefäß [at. % ^{15}N]

²⁾Zum Zeitpunkt der Ernte

Die Gesamt-Wurzel-TM wies in den Pflanzgefäßen mit nicht abgedecktem Bodengefäß einen signifikant höheren Wert auf als in den Gefäßen unter Verwendung einer Abdeckhaube (Tab. 2).

Tab. 2: ^{15}N -Anreicherungsgrad von Boden und Wurzel der mit ^{15}N -Dünger behandelten Leguminosen, Höhe der N-Rhizodeposition und Wurzel-TM zum zweiten Erntetermin (Anfang September 2010)

	^{15}N -Anreicherungsgrad des Bodens ²⁾ [at. % ^{15}N]	^{15}N -Anreicherungsgrad der Wurzel ^{1) 2)} [at. % ^{15}N]	Gesamt N-Rhizodeposition der Pflanze [in % von Nt]	Gesamt-Wurzel-TM [g]
mit Abdeckung	0.4648 b	1.1213 a	0.36 a	51.4 b
ohne Abdeckung	0.4821 a	1.2185 a	0.30 a	96.9 a

gleiche Buchstaben kennzeichnen nicht signifikante Unterschiede – Tukey-Test $\alpha=0,05$, Nt = Summe N in Spross und Wurzel

¹⁾ ^{15}N -Anreicherungsgrad der Wurzel im Bodengefäß [at. % ^{15}N]

²⁾Zum Zeitpunkt der Ernte

Der höhere Anreicherungsgrad der Bodengefäße in den nicht abgedeckten Gefäßen bei Rotklee zum zweiten Erntetermin könnte durch ^{15}N -Auswaschung aus Spross und Blättern durch Niederschlagswasser sowie abgeworfene Blüten und Blätter auf die Bodenoberfläche entstanden sein. In der Versuchsreihe wurden keine signifikanten Unterschiede in der Höhe der N-Rhizodeposition zwischen den beiden untersuchten Leguminosenarten sowie mit und ohne Verwendung einer Abdeckhaube gefunden.

Literatur

Høgh-Jensen, H., J.K. Schjoerring 2001: Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biology and Biochemistry* 33:439-448.

Schmidtke, K. 2005: How to calculate nitrogen rhizodeposition: a case study in estimating N rhizodeposition in the pea (*Pisum sativum* L.) and grasspea (*Lathyrus sativus* L.) using a continuous ^{15}N labelling split-root technique. *Soil Biology and Biochemistry* 37:1893-1897.

Comparative analysis of spatio-temporal patterns of carbon and water fluxes in production fields of winter wheat and sugar beet

Moritz Kupisch¹, Matthias Langensiepen¹, Mark van Wijk², Anja Stadler¹ and Frank Ewert¹

¹Crop Science Group, Institute of Crop Science and Resource Protection, Faculty of Agriculture, University of Bonn; ²Plant Production Systems Group, Wageningen University. E-Mail: mkupisch@uni-bonn.de

Introduction

Assimilation and transpiration are important processes affecting crop growth and yield. Modelling growth and water transport at the field scale should therefore consider the spatio-temporal variability of these processes.

Up-scaling gas-exchange from leaf to field is a particular challenge, because heterogeneities in soil and microclimate invoke distinctive regulation mechanisms that become apparent at the canopy level causing heterogeneities in gas fluxes. The purpose of this study was to analyze gas exchange at the point scale in a winter-wheat and sugar beet crop, both at leaf and canopy levels, and to use spatial integration to characterize assimilation and transpiration at the field level.

Material and Methods

Measurements were carried out between May and October 2010 near Selhausen (50.868° N, 6.451° E), located in the Rur-catchment of North-Rhine-Westphalia. The wheat and sugar beet fields have each a gradient of two meters in the direction SE – NW, with sandy loam in the upper part and clayey silt in the lower part. Three measuring locations were chosen in each field which represent ranges including the extremes of soil properties and topography. Transpiration and CO₂-assimilation were measured alternately at leaf and canopy level with a LI-6400 XT gas exchange analyzer (Licor Biosciences). Leaf-level measurements were carried out in the regular open path chamber cuvette mode. Canopy gas-exchange was measured with a closed Plexiglas chamber on a 1 × 1 m ground area with height adapters and using a custom protocol to monitor concentration changes with the sample IRGA at one second intervals. Gas-exchange was derived by fitting quadratic and saturation functions to measured trends in gas concentration changes of CO₂ and H₂O, respectively, and taking the slope of these functions at t=0 seconds for calculating flux rates. Determination of leaf area index was conducted by using a PAR-ceptometer (AccuPAR LP-80). Carbon and nitrogen contents of sunlit and shaded leaves were also measured.

Results and Discussion

Temporal and spatial variabilities were small for leaf photosynthesis and transpiration in both crops. Distinct daily patterns were not observed, except during severe hot and dry days when rates declined in the afternoon. Leaf nitrogen content in wheat was equal at all locations until the end of flowering, ranging from 4 to 5%. Increasing differences in leaf nitrogen between stressed (1%) and unstressed (3%) plants were observed towards the end of the season. In beet leaves, the differences in the field were higher at the beginning (values between 3 and 5%) but decreased until the end (all around 5%).

In contrast to leaf measurements, canopy measurements of carbon assimilation and transpiration were highly variable across the fields (Fig. 1). Initial analyses suggest that the observed spatial and seasonal variability was mainly caused by the heterogeneity in leaf area indexes and less by gas exchange rates per unit leaf area. However, both crops differed in their reaction to drought stress: while wheat responded mainly through irreversible reduction in green leaf area, the canopy assimilation rates of sugar beets decreased only temporarily with no observed effects of LAI. The rationale is temporal stomatal closure due to high temperatures and high vapour pressure deficit in beets. In wheat, a combination of heat and drought stress as well as resulting decrease in nitrogen uptake lead to a smaller green leaf area and an earlier senescence.

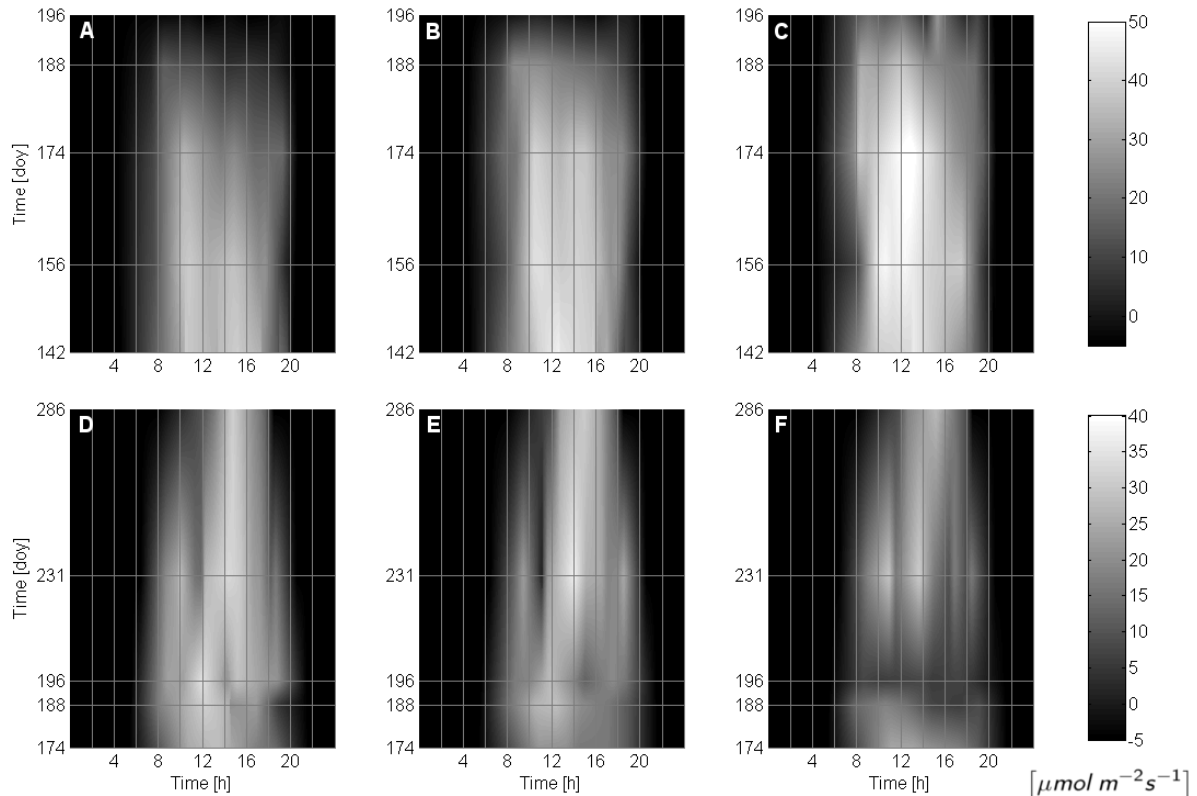


Fig. 1: Daily canopy CO₂-assimilation during the growing season of three plots in winter wheat (A – C) and sugar beet (D – F) fields.

The results of flux measurements revealed that canopy resistance is highly variable within a field and during the growing season. These dynamics have to be considered in modelling soil-vegetation-atmosphere processes in agricultural landscapes.

Acknowledgements

This work has been funded by the DFG under the SFB TR32 (Patterns in Soil-Vegetation-Atmosphere-Systems) (TRR 32/1 2010, TRR 32/2).

Analyse von Wachstum und N-Aufnahme vor Winter mit einem dynamischen Winterrapsmodell

Ulf Böttcher und Henning Kage

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

Einleitung

Winterraps kann abhängig von Aussattermin und Witterung im Herbst bereits vor dem Winter beträchtliche Mengen an Stickstoff aufnehmen. Eine Quantifizierung der aufgenommenen N-Menge ist einerseits zur Bemessung der N-Düngung im Frühjahr hilfreich (Henke et al. 2009), andererseits bestimmt sie auch die im Boden verbleibende und im Winter potenziell auswaschungsgefährdete Menge an mineralischem Stickstoff.

Material und Methoden

Auf dem Versuchsgut Hohenschulen bei Kiel wurde in den Versuchsjahren 2009/10 und 2010/11 Winterraps zu vier verschiedenen Aussatterminen von Anfang August bis Ende September ausgesät und jeweils im Herbst mit vier verschiedenen N-Mengen von 0 bis 90 kg N / ha gedüngt. Bis zum Vegetationsende vor Winter wurden zu drei Terminen Pflanzenproben genommen und auf Blattfläche, Trockenmasse und N-Mengen in den verschiedenen Pflanzenorganen untersucht.

Ein bestehendes dynamisches Modell für das vegetative Wachstum von Winterraps (Müller 2009), basierend auf dem Konzept der Strahlungsaufnahme und Lichtnutzungseffizienz, wurde anhand dieser Daten neu parametrisiert und zur Beschreibung des Herbstwachstums modifiziert. Das Modell wurde mit einem potenzialbasierten Bodenwasser- und Stickstoffhaushaltsmodell gekoppelt, das eine Simulation der N-Aufnahme des Bestandes und des mineralischen N im Boden erlaubt.

In Simulationsrechnungen wurde anhand der Witterungsverläufe unterschiedlicher Jahre berechnet, wie sich das Zusammenspiel aus angenommener Herbst-N-Düngung und N-Aufnahme des Pflanzenbestandes bei unterschiedlicher Jahreswitterung auf die N-Auswaschung über Winter auswirkt.

Ergebnisse und Diskussion

Das Modell ist in der Lage, den Verlauf der potenziellen N-Aufnahme für die verschiedenen Saatzeiten gut abzubilden (Abb. 1), wobei zu berücksichtigen ist, dass die Messdaten der einzelnen Wiederholungen eine große Variation aufweisen. Eine Reduktion des Wachstums durch N-Mangel kann ebenfalls im Modell nachvollzogen werden, auch wenn eine etwas schlechtere Abbildungsgüte darauf schließen lässt, dass möglicherweise die Wirkmechanismen des N-Mangels im Modell noch nicht ausreichend abgebildet sind. Für eine gute Parametrisierung dieser Mechanismen (z. B. Veränderung des Spross-Wurzel-Verhältnisses oder der spezifischen Blattfläche) ist allerdings die Datengrundlage nicht ausreichend, so dass im Modell ausschließlich eine direkte Wirkung des N-Mangels auf die Trockenmassebildung angenommen und parametrisiert wurde.

Da das Modell den zeitlichen Verlauf der N-Aufnahme anhand der Witterungsdaten abbilden kann, erlaubt es auch eine Extrapolation von gemessenen Daten

früherer Termine bis zum für Düngeempfehlungen relevanten Vegetationsende, wenn die Messbedingungen für die nicht-destruktive Erfassung der N-Aufnahme über Reflexionsspektren häufig ungünstig sind.

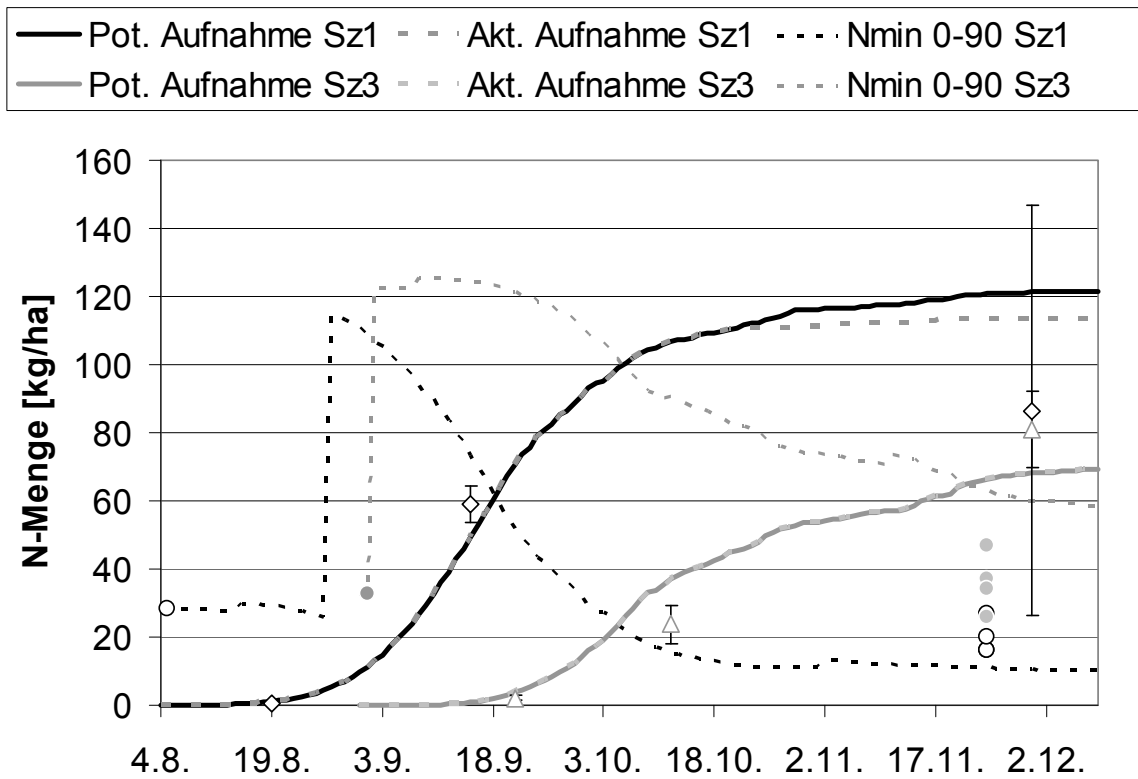


Abb. 1: Simulierter zeitlicher Verlauf der potenziellen und aktuellen N-Aufnahme der höchsten Düngestufe für die erste (Sz1) und dritte (Sz3) Saatzeit sowie N_{\min} für 0 bis 90 cm Bodentiefe. Messdaten der aktuellen Aufnahme (Sz1: Rauten, Sz3: Dreiecke) mit Fehlerbalken sowie Einzelparzellenwerte der N_{\min} -Messungen zur Aussaat und zu Vegetationsende vor Winter (Sz1: offene Kreise, Sz3: gefüllte graue Kreise) sind enthalten.

Die Simulationsrechnungen zeigen, dass eine N-Düngung im Herbst in einigen Jahren bei guten Wachstumsbedingungen vor Winter oder bei milder Witterung auch noch während des Winters aufgenommen werden kann, in anderen Jahren bei kalter, trockener Witterung in oberen Bodenschichten verbleibt und im folgenden Frühjahr noch vom Pflanzenbestand aufgenommen werden kann, in niederschlagsreichen Wintern insbesondere nach kühlem Herbst jedoch ein großer Teil einer Herbst-N-Düngung ausgewaschen werden kann. Das Modell kann hier mittels Witterungsszenarien auch bereits im Herbst zeigen, in welchen Situationen eine zusätzliche N-Düngung vom Bestand nicht mehr aufgenommen werden kann.

Literatur

Henke, J., Sieling, K., Saueremann, W., Kage, H. 2009: Analysing soil and canopy factors affecting optimum nitrogen fertilization rates of oilseed rape (*Brassica napus*). *J. of Agricultural Science* 147:1-8.

Müller, K. 2009: Remote sensing and simulation modelling as tools for improving nitrogen efficiency for winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel.

Aufnahme von Nährstoffen durch Blattoberflächen – von Mythen, Dogmen und Legenden

Thomas Eichert

Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Pflanzenernährung, Universität Bonn.
E-mail: t.eichert@uni-bonn.de

Einleitung

Unter bestimmten Bedingungen ist es vorteilhaft, Pflanzen anstatt über die Wurzeln durch Düngung über das Blatt mit Nährstoffen zu versorgen. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die Versorgung mit dem jeweiligen Nährelement durch Immobilisierung im Boden limitiert ist (zum Beispiel Eisen in Kalkböden) oder wenn die Pflanzen durch Trockenheit zu wenige Nährstoffe über die Wurzeln aufnehmen können. Mit Ausnahme von Bor (in der Form von Borsäure) und Harnstoff liegen alle Nährelemente i. d. R. als Ionen vor. Die Blattoberfläche ist von der Cuticula, einer lipoiden Hülle bedeckt, die eine effektive Barriere gegen den Transport von polaren Stoffen, insbesondere von Ionen darstellt.

Auf welchem Wege die ausgebrachten Nährstoffe ins Blatt eindringen, war lange Zeit umstritten. Es herrschte die Annahme vor, dass die Aufnahme gelöster Stoffe nur durch die Cuticula erfolgen kann, während Stomata als undurchdringbar angesehen wurden. Da somit alle denkbaren Transportwege für Nährstoffe ins Blattinnere als nicht (Stomata) oder fast nicht (Cuticula) verfügbar galten, war es lange unklar, wie die Blattdüngung überhaupt funktionieren kann.

Folgende morphologische Besonderheiten bzw. Mechanismen wurden oder werden als Erklärungsansätze für die Aufnahme von Nährstoffen durch Blattoberflächen genannt: „*Ectodesmata*“ sollten als symplastische Auswüchse die Cuticula durchsetzen und die Aufnahme erleichtern. Die Cuticula sollte in der Umgebung der Stomata, in der „*peristomatären*“ Region, durchlässiger sein als in den anderen Regionen. Durch das „*Schwellen*“ der Cuticula bei Kontakt mit Wasser soll die Durchlässigkeit für polare Substanzen erhöht werden. „*Polare Poren*“ sollen sich durch Adsorption von Wasser in der Cuticula bilden und als Transportweg für polare Substanzen fungieren. Es werden Ergebnisse vorgestellt, die zeigen, dass einige dieser bisher weit verbreiteten Ansichten revidiert werden müssen.

Material und Methoden

Die Hypothese, dass gelöste Stoffe durch Stomata in Blätter eindringen können, wurde durch die Applikation von fluoreszierenden Tracern untersucht. Dazu wurden gelöste (Na-Fluorescein) oder partikuläre Tracer („Nanospheres“ mit Durchmessern von 42 oder 1000 nm) auf intakte Blätter oder isolierte Epidermen appliziert und die Aufnahme mit fluoreszenzmikroskopischen Methoden verfolgt. Details sind in Eichert et al. (2008) beschrieben.

Quantitative Untersuchungen wurden mit ^{15}N -markierten Ammonium- und Nitratsalzen sowie mit Harnstoff durchgeführt. Diese Stoffe wurden zusammen mit ^{13}C -markierter Saccharose auf die Oberflächen intakter Blätter (mit oder ohne Stomata) appliziert. Die in Eichert und Goldbach (2008) im Detail beschriebene Analyse der unterschiedlichen Aufnahmeraten von ^{15}N - und ^{13}C -markierten Stoffen ermöglichte die Berechnung der Durchmesser der verwendeten Aufnahmewege.

Die Untersuchungen wurden mit verschiedenen Pflanzenarten durchgeführt. Verwendet wurden unter anderem *Allium porrum*, *Coffea arabica*, *Commelina communis*, *Prunus cerasifera*, *Prunus cerasus* und *Vicia faba*. Um eine artifizielle Infiltration der Stomata zu vermeiden, wurden den verwendeten Applikationslösungen keine oberflächenaktiven Stoffe zugesetzt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Versuche mit den verschiedenen Tracern zeigten, dass die Aufnahme gelöster Stoffe oder Partikel mit einem Durchmesser von bis zu 42 nm durch Stomata möglich ist. Dabei gab es in keinem Experiment Hinweise auf eine bevorzugte Aufnahme der Stoffe durch die Cuticula der peristomatären Region, also der Umgebung der Stomata. Die fluoreszierenden Partikel bedeckten vielmehr die Oberfläche der stomatären Poren, was eine Wanderung der Partikel durch Diffusion anzeigt.

Die quantitative Analyse der Aufnahme von ¹⁵N-markierten Stoffen ergab, dass diese durch einen Aufnahmepfad erfolgte, der bei den meisten Blattoberflächen mit Stomata einen äquivalenten Durchmesser von >40 nm besaß. Bei Blattoberflächen ohne Stomata betrug dieser Durchmesser 4,0-4,8 nm, was deutlich größer ist als bisherige Schätzungen von ca. 1 nm und darunter.

Die Aufnahmeraten gelöster Stoffe waren sehr stark von der relativen Luftfeuchte (rF) abhängig. Eine Analyse eigener und veröffentlichter Daten zeigte, dass diese Wirkung der rF durch die Kombination von Effekten auf die Permeabilität der Blattoberfläche und auf die wirksame Konzentration der applizierten Substanzen auf der Blattoberfläche erklärt werden kann (Fernández und Eichert 2009). Während die Permeabilität der Blattoberfläche in der Regel mit steigender rF zunimmt, nimmt die Konzentration eines blattapplizierten Stoffes oberhalb seines sog. Deliqueszenzpunktes mit steigender rF ab. Die Permeabilität der Cuticula erwies sich als wesentlich stärker abhängig von der rF als die der Stomata, da sie offenbar sehr stark von der Menge des in der Cuticula absorbierten Wassers abhängt. Dieser Effekt, der ursprünglich als „Schwellen“ der Cuticula bezeichnet wurde, wird heute durch das in seinen Grundzügen äquivalente Modell der „polaren Poren“ erklärt.

Diese Ergebnisse zeigen, dass Stomata bei der Aufnahme gelöster Stoffe durch Blattoberflächen eine große Rolle spielen können. Untersuchungen, die mit stomatafreien isolierten Cuticeln durchgeführt werden, können daher die in der Realität stattfindenden Prozesse nur unvollständig erklären. Die Erkenntnisse über die entgegengesetzte Wirkung der rF auf die Permeabilität der Blattoberfläche und die Konzentration der gelösten Stoffe bilden die Grundlage für ein vertieftes Verständnis der Prozesse bei der Blattdüngung.

Literatur

- Eichert T., H.E. Goldbach 2008: Equivalent pore radii of hydrophilic foliar uptake routes in stomatous and astomatous leaf surfaces – further evidence for a stomatal pathway. *Physiologia Plantarum* 132:491-502.
- Eichert T., A. Kurtz, U. Steiner, H.E. Goldbach 2008: Size exclusion limits and lateral heterogeneity of the stomatal foliar uptake pathway for aqueous solutes and water-suspended nanoparticles. *Physiologia Plantarum* 134:151-160.
- Fernández V., T. Eichert 2009: Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences* 28:36-68.

Auxin-mediated ammonium toxicity in Arabidopsis roots

Huaiyu Yang, Jenny von der Fecht-Bartenbach and Uwe Ludewig

Institute of Crop Science, Nutritional Crop Physiology, University of Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: u.ludewig@uni-hohenheim.de

Introduction

Most plant species prefer the combined nutrition of NO_3^- and NH_4^+ , and suffer when ammonium (the sum of NH_4^+ and NH_3) is the predominant or exclusive mineral nitrogen (N) source. Stunted root and shoot growth, reduced photosynthetic activity, and in extreme cases chlorosis of leaves, are typical visible symptoms of so-called ammonium toxicity. Reduced cation uptake results in mineral nutrient deficiencies of K^+ , Mg_2^+ and Ca_2^+ and leads to a lowered osmotic potential and finally reduced water uptake. High K^+ alleviated toxicity by inhibition of NH_4^+ uptake and stimulated carbon and nitrogen assimilation in the roots. Plants can detoxify excess ammonium at least to some extent metabolically, e.g. by glutamine synthetase (GS) or endogenous glutamate dehydrogenase (GDH). With ammonium nutrition, excess protons need to be excreted into the soil, which acidifies the rhizosphere and reduces root expansion, a phenotype that can partially be suppressed by buffering the root medium.

Nutritional and cellular imbalances are integrated via plant hormones, such as auxin and cytokinin, and the growth regulation by these hormones ultimately shape roots and shoots. Auxin synthesis and distribution within the plant is mediated by a complex transport network; the decrease in auxin at the root tips altered cell growth and elongation. Previous reports identified connections of the root development with its nitrate status, which may be integrated with the auxin concentration in the roots. The root growth inhibition of maize by high nitrate involved reduced endogenous auxin and enhanced cytokinin in root tips.

To investigate the growth defects associated with ammonium nutrition, a transcriptome analysis and genetic approach was carried out with Arabidopsis seedlings. This analysis confirmed many well-known physiological changes associated with ammonium nutrition and identified novel links to cell wall metabolism and suggest an altered control of root growth by auxin in ammonium stress that can be partially overcome by mutants in the auxin distribution.

Material and Methods

Arabidopsis thaliana was grown with buffered 3 mM NH_4SO_4 , 6 mM KNO_3 or 1.5 mM NH_4NO_3 as the nitrogen forms, RNA was isolated and microarray analysis with ATH1 chips was done. The expression estimates and statistical analysis used the rank product method and the mapman software. Mutant seeds included the auxin-related mutants *rcn1*, *35S::PID*, *DR5::GUS*, *aux1* and *pin2*.

Results and Discussion

As expected from the similar plant growth, there were only minor differences in the transcriptome of plants grown on NH_4NO_3 and NO_3^- . The cluster analysis suggested that the primary and secondary metabolism, protein biosynthesis and degradation pathways slightly differed between these conditions. These minor changes were in accordance with the moderately altered amino acid profile and the different ammonium content. By contrast, the ammonium content, amino acid and transcriptional profile were markedly changed with pure NH_4^+ nutrition. A Rank

Product analysis with 15% false detection rate revealed that 370 genes were up-regulated in NH_4^+ (compared to NH_4NO_3) and 421 genes were down-regulated. A similar amount of genes significantly differed between NH_4^+ and NO_3^- conditions.

According to the cluster analysis of gene categories, the down-regulation of genes involved in photosynthesis was most significant, although the individual magnitude of the expression level differences was rather small. In accordance with that, reduced photosynthesis rates had been associated with NH_4^+ nutrition in many species, including *Arabidopsis*. In addition, a correlated increase in the expression of mitochondrial transport/ATP synthesis and in tricarboxylic acid (TCA) cycle genes was observed, consistent with the lack of carboxylic acids. Furthermore, the expression of many genes coding for cell wall biosynthesis and modification was low in NH_4^+ . Arabinogalactans, cellulose biosynthesis genes and expansins, which are involved in cell wall loosening during cell expansion, were collectively down-regulated.

The cluster analysis identified an impressive co-regulation of auxin-responsive genes, whereas other hormone-regulated genes, such as cytokinin biosynthesis genes, were clearly less consistently regulated.

Most notably, a correlated down-regulation of auxin-responsive genes, transcriptional regulators (AUX/IAA genes) and genes encoding auxin-efflux facilitators of the PIN-type was found. The down-regulation of genes involved only a few auxin biosynthesis, modification or degradation enzymes, while a larger number of auxin-responsive genes were regulated.

A disturbed auxin homeostasis commonly leads to short primary roots and may be induced by metabolic imbalances caused by the continuous growth on ammonium. The involvement of the auxin pathway was tested using the auxin-responsive reporter *DR5::GUS*. In accordance with the transcriptional data, the auxin response on ammonium was reduced. Qualitatively, the auxin-dependence was similar at acidic (pH 6.0) and alkaline pH 8.0. The exogenous application of auxin was not capable to rescue the growth defect on ammonium, but partial rescue was observed in mutants with altered auxin levels and distribution. In mutants with reduced auxin in the tip (*rcn1*, *35S::PID*) the short roots were unaffected by the ammonium nutrition. Mutants with moderately increased auxin levels (*aux1* and *pin2*) also displayed shorter roots in NH_4NO_3 control conditions, but both mutants grew longer roots than *Col-0* on NH_4^+ . This NH_4^+ -resistant root elongation is likely to result from the genetically inhibited auxin transport from the tip to the elongation zone, in combination with reduction of auxin levels by NH_4^+ . Both effects apparently added up to intermediate, optimal auxin levels that promoted root growth. This effect was similar the presence and absence of sugar, suggesting that hormonal control is a major factor controlling primary root growth.

In summary, the pleiotropic effects on plant growth are well reflected in the transcriptomic adjustments that include genes involved in photosynthesis, mitochondrial and cell wall metabolism. A major effector on growth with ammonium is the plant hormone auxin.

Beziehungen zwischen organischer Bodensubstanz und bodenphysikalischen Parametern auf einem leicht schluffigen Sandboden

Thomas Gäbert, Frank Ellmer und Michael Baumecker

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Berlin. E-Mail: thomas.gaebert@agrar.hu-berlin.de

Einleitung

Nach 74 Jahren differenzierter organisch-mineralischer Düngung hat sich in einem Dauerfeldversuch ein deutlich abgestufter Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden eingestellt. Neben bodenchemischen und -biologischen Effekten sind damit Veränderungen bodenphysikalischer Parameter verbunden. Dazu werden Untersuchungen zu Parametern des Bodenwasserhaushalts durchgeführt, woraus erste Ergebnisse vorliegen.

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden in fünf ausgewählten Prüfgliedern (Kontrolle, Stallmistdüngung, NPK + Kalk + Stallmistdüngung, NPK + Kalk und NPK) im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow (einfaktorielle Blockanlage mit acht Prüfgliedern und vierfacher Wiederholung) durchgeführt. Zur Ermittlung der bodenchemischen Parameter (C_t , C_{org} , C_{hwl} , N_t , N_{hwl} und pH-Wert) wurden gestörte Bodenproben aus 12 cm Tiefe in der Parzellenmitte entnommen. Für die bodenphysikalischen Parameter Trockenrohddichte, Porenvolumen und Porengrößenklassen sowie die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit wurden ungestörte Stechzylinderproben (100 cm^3) in der gleichen Tiefe und Lage entnommen. Die Probenahme erfolgte im Frühjahr 2011. Die Porengrößenklassen wurden mit den Geräten „Sandkasten“, „Sand/-Kaolinkasten“ und der „Membranpresse“ von Eijkelkamp und die hydraulische Leitfähigkeit mit einem Haubenpermeameter der Firma UGT ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Als Ergebnis der langjährig differenzierten Düngung haben sich in den Prüfgliedern unterschiedliche Gehalte an organischem Kohlenstoff eingestellt (Tab. 1).

Tab. 1: Mittelwerte ausgewählter bodenchemischer und -physikalischer Parameter

Prüfglied	C_{org} <i>mg 100 g⁻¹</i>	Trockenroh- dichte* <i>g cm⁻³</i>	Gesamtporen- volumen* <i>%</i>	k_f -Wert <i>cm d⁻¹</i>
Kontrolle	305	1,50	37,7	59
Stallmist	601	1,41	39,6	91
NPK, Kalk, Stallmist	776	1,36	41,1	124
NPK, Kalk	332	1,47	37,5	57
NPK	379	1,48	38,4	39

Legende: *Mittelwert aus 2 Wiederholungen

Deutlichen Einfluss hat die Stallmistdüngung, welche im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle zu einer Verdopplung des C_{org} -Gehaltes führte. Bei zusätzlicher Mineraldüngung lag der C_{org} -Gehalt nochmals um ein Drittel höher. Die rein

mineralisch gedüngten Varianten zeigten im Vergleich zur Kontrolle nur geringfügige Differenzen. Die Ergebnisse der C_{hwl} -Untersuchungen zeigen ein ähnliches Bild, jedoch ohne die Differenzierung zwischen organischer und organisch-mineralischer Düngung.

Bei der Trockenrohdichte konnten Werte zwischen $1,36$ und $1,50 \text{ g cm}^{-3}$ festgestellt werden. Die Werte der organisch gedüngten Prüfglieder haben nach Kartieranleitung (AG Boden, 1994) eine geringe, alle anderen eine mittlere Lagerungsdichte. Alle Werte liegen für die am Standort vorliegende Bodenart in einem optimalen Bereich. In Abhängigkeit von der Trockenrohdichte variiert das Gesamtporenvolumen zwischen $37,5$ und $41,1 \text{ Vol.-%}$. So wird ein im Vergleich zur Kontrolle um 2 bzw. $3,5 \text{ Vol.-%}$ höheres Porenvolumen bei organischer bzw. organisch-mineralischer Düngung erreicht, während die anderen Varianten nur geringfügige Veränderungen aufweisen. Demnach steigt mit zunehmendem Gehalt an organischem Kohlenstoff das Gesamtporenvolumen an. Dieser Zusammenhang lässt sich im Wesentlichen mit der Verringerung der Trockenrohdichte infolge der durch den steigenden C_{org} -Gehalt verbesserten Gefügeentwicklung und der Sperrigkeit der Teilchen der organischen Bodensubstanz etc. erklären (Riek et al., 1995).

Die Werte der hydraulischen Leitfähigkeit (k_f -Wert) liegen zwischen 39 und 124 cm d^{-1} . Die Abstufung folgt wie bei den anderen Parametern der Variation der C_{org} -Gehalte. Allerdings wurde der niedrigste Wert nicht in der Kontrolle, sondern im Prüfglied mit NPK-Düngung festgestellt.

Die Ergebnisse belegen die große Bedeutung der organischen Bodensubstanz für das Gefüge von leichten Sandböden und für den damit verbundenen Wasserhaushalt.

Literatur

- Arbeitsgruppe Boden 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., Schweizerbart, Hannover.
Riek, W., Wessolek, G., Renger, M., Vetterlein, E. 1995: Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität von Substrat-Horizontgruppen - eine statistische Auswertung von Labordatenbanken. Z. Pflanzenernähr. und Bodenk. 158:485-491.

Vergleich von flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung beim Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer

Annkathrin Gronle und Herwart Böhm

vTI, Institut für Ökologischen Landbau, Westerau. E-Mail: annkathrin.gronle@vti.bund.de

Einleitung

Die Grundbodenbearbeitung beeinflusst biologische, chemische und physikalische Bodeneigenschaften und hat daher eine große Bedeutung für die Erhaltung der Leistungsfähigkeit des ökologischen Pflanzenbaus. Eine Integration von reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren ist auch hier aufgrund der boden- und ressourcenschonenden Eigenschaften von besonderem Interesse. Ziel ist es daher, die Auswirkungen einer flach- und tiefwendenden Bodenbearbeitung bei einem zentralen Fruchtfolgeglied, dem Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge, zu untersuchen.

Material und Methoden

Auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsbetrieb Trenthorst (Parabraunerde-Pseudogley, sL, 53 Bodenpunkte, 740 mm Niederschlag, 8,7 °C) wurden in den Jahren 2009 und 2010 Feldversuche in 4-facher Wiederholung im Split-Plot-Design zum Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer bei kurzfristig variiertem Intensität der Bodenbearbeitung durchgeführt. Als Kulturen wurden neben einer Sommererbsen-Reinsaat (Sorte Santana, 80 Körner m⁻²), eine Hafer-Reinsaat (Sorte Dominik, 300 Körner m⁻²) und ein Sommererbsen-Hafer-Gemenge (80 Körner Erbsen + 60 Körner Hafer m⁻²) angebaut. Für den Versuchsfaktor Bodenbearbeitung wurde eine tiefwendende Bearbeitung (Pflug [P], 25-27 cm) mit einer flachwendenden Bearbeitung (Stoppelhobel [SH]) verglichen, wobei diese jeweils im Herbst erfolgte. In der Stoppelhobel-Variante wurde zunächst in einem ersten Arbeitsgang eine flache Bearbeitung mit einer Bearbeitungstiefe von 4-6 cm durchgeführt. Nach 14 Tagen wurde der Boden in einem zweiten Arbeitsgang bis in eine Tiefe von 8-12 cm bearbeitet. Vor der Pflug-Bearbeitung erfolgte eine Stoppelbearbeitung mit dem Grubber (8-10 cm). Als Parameter wurden der N_{min}-Gehalt nach Saat und Ernte (0-30, 30-60, 60-90 cm), der Eindringwiderstand (0-80 cm Tiefe, vier Wochen nach der Saat), die Aktivität der Bodenenzyme Dehydrogenase und Protease (0-20 cm Tiefe, nach der Ernte), die Unkrautmasse zur Ernte (1 m² pro Parzelle) und die Ertragsleistung der Reinsaaten und des Gemenges ermittelt. Die Daten wurden varianzanalytisch mit der Prozedur MIXED und nachfolgenden Mittelwertvergleichen mit SAS 9.1 ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Höhe der N_{min}-Gehalte im Boden kurz nach der Saat unterschied sich lediglich im Tiefenbereich 0-30 cm im Jahr 2009 (P: 21,9 kg ha⁻¹, SH: 18,5 kg ha⁻¹) signifikant zwischen den beiden Bodenbearbeitungsvarianten. Nach der Ernte ergaben sich in beiden Versuchsjahren in keinem der drei Tiefenbereiche signifikante Unterschiede zwischen den Bearbeitungsverfahren. In beiden Jahren zeigte sich nach der Ernte in der Erbsen-Reinsaat der höchste und in der Hafer-Reinsaat der niedrigste N_{min}-Gehalt im Boden. Die Messung des Eindringwiderstandes ergab bis zu einer Bodentiefe von 10 cm (2009) und 15 cm (2010) keine Unterschiede zwischen den

Bodenbearbeitungen, was auf die in diesem Tiefenbereich durchgeführte Saatbettbereitung zurückgeführt werden kann. In dem Tiefenbereich 10-30 cm (2009) bzw. 15-40 cm (2010) lag der Eindringwiderstand des Bodens dagegen in der flachwendenden Variante signifikant über dem Wert der tiefwendenden Variante. Die nicht bearbeitete Unterkrume in der Stoppelhobel-Variante wies somit ein kompakteres Bodengefüge mit erhöhten Eindringwiderständen auf. Ein signifikanter Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Aktivität der untersuchten Bodenenzyme Dehydrogenase und Protease ergab sich in beiden Jahren nicht. Dennoch zeigte insbesondere die Dehydrogenase-Aktivität höhere Werte in der flachwendenden Bearbeitung, was auf einen höheren mikrobiellen Umsatz schließen lässt.

Hinsichtlich des Unkrautauflommens war 2009 die Wechselwirkung zwischen Bodenbearbeitung und Kultur signifikant. Demzufolge waren in der Erbsen-Reinsaat und im Gemenge im Gegensatz zur Hafer-Reinsaat signifikant höhere Unkrautmassen zur Ernte bei der flachwendenden Bodenbearbeitung im Vergleich zur Pflug-Bearbeitung vorhanden. Im Jahr 2010 ergaben sich in keiner der Kulturen signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen (P: 7,7 dt ha⁻¹ TM; SH: 11,4 dt ha⁻¹ TM). In beiden Versuchsjahren war die Unkraut unterdrückende Wirkung von Sommererbsen-Hafer-Gemengen im Vergleich zu Sommererbsen-Reinsaaten vorhanden, wie sie in anderen Untersuchungen bereits nachgewiesen wurde (Kimpel-Freund et al. 1998).

Im Jahr 2009 lag die Ertragsleistung der Sommererbse in der Variante mit Pflug-Bearbeitung bei 12,9 dt ha⁻¹ TM und in der flachwendenden Bearbeitungsvariante bei 11,5 dt ha⁻¹ TM (Abb. 1). Damit lagen, wie auch bei der Ertragsleistung des Hafers (P: 26,7 dt ha⁻¹ TM, SH: 26,4 dt ha⁻¹ TM), keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Bodenbearbeitungen vor. Auch im Jahr 2010 hatte die Bodenbearbeitung keinen gesicherten Einfluss auf die Höhe der Erbsen- und Hafer-Erträge. Die schlechte Ertragsleistung des Hafers im Jahr 2010, die insbesondere nach Pflug-Bearbeitung vorhanden war, ist auf einen schlechten Aufgang und eine geringe Bestockung zurückzuführen.

Die kurzfristige Reduzierung der Bearbeitungstiefe im Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge hat zu geringen Veränderungen von biologischen, chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften sowie des Unkrautauflommens geführt. Dies hat sich jedoch nicht auf die Ertragsleistung ausgewirkt.

Literatur

Kimpel-Freund, H., K. Schmidtke, R. Rauber 1998: Einfluss von Erbsen (*Pisum sativum* L.) mit unterschiedlichen morphologischen Merkmalen in Reinsaat und Gemenge mit Hafer (*Avena sativa* L.) auf die Konkurrenz gegenüber Unkräutern. Pflanzenbauwissenschaften 2:25-36.

Die Untersuchungen werden durch das BÖLN gefördert (FKZ 08OE009)

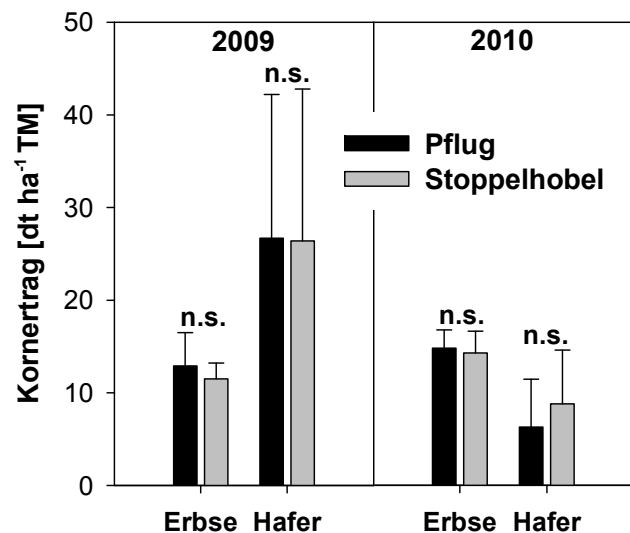


Abb. 1: Kornerträge in Abhängigkeit des Hauptfaktors Bodenbearbeitung (n.s. = nicht signifikant)

Wirkungen mechanischer Bodenbelastung nach unterschiedlicher Intensität der Bodenbearbeitung auf Sprossertrag, N-Ertrag und symbiotische N₂-Fixierleistung von Körnererbsen

Guido Lux und Knut Schmidtke

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau/Landespflege, Fachgebiet Ökologischer Landbau. E-Mail: luxg@htw-dresden.de

Einleitung

Die Struktur und damit verbunden der Luft- und Wasserhaushalt eines Bodens wird als ein wichtiger Einflussfaktor - insbesondere beim Anbau von Körnererbsen - auf das Wachstum und den Ertrag dieser Leguminosen angesehen. Überfahrten bei feuchtem Bodenzustand können eine Kompaktierung des Bodens bzw. eine Verringerung des Porenvolumens verursachen. Verstärkt wird diese Wirkung durch hohe Einzelradlasten der eingesetzten Maschinen verbunden mit hohem Reifeninnendruck und dauerhaft intensiver Bodenbearbeitung. In einem zweijährigen Feldversuch wurde eine mechanische Beanspruchung des Bodens durch Überfahrt unmittelbar nach erfolgter Grundbodenbearbeitung im Frühjahr simuliert, um Wachstum, Ertrag und N₂-Fixierleistung von Körnererbsen in Abhängigkeit der belastungsbedingten Kompaktierung des Bodens zu quantifizieren. Unterschieden wurde bei der Bodenbearbeitung zwischen flach und tief wendend, um mögliche Vorteile auch bei kurzfristiger Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität hinsichtlich der mechanischen Belastbarkeit des Bodens aufzuzeigen. Ziel des Beitrages ist es, Veränderungen im Bodengefüge aufgrund der vorgenommenen Bearbeitung sowie deren Auswirkungen auf die Ertragsleistung der Erbsen darzustellen. Die Versuche wurden im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geförderten Projektes (06OE186) durchgeführt.

Material und Methoden

Die Versuchsdurchführung erfolgte auf den langjährig ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen des Lehr- und Versuchsgutes Köllitsch (Nordsachsen). Die mittlere Jahrestemperatur beträgt am Standort 8,9 °C, der Jahresniederschlag liegt im Mittel bei 550 mm. Der Boden wird als Braunerde in Auenlage mit den Bodenarten SI3 im Ap-Horizont, SI2 im Bv-Horizont und Ss im C-Horizont charakterisiert. Die effektive Durchwurzelungstiefe beträgt 115 cm. Der Versuch wurde als 3-faktorielle Spaltanlage mit den Faktoren Bodenbearbeitung, Belastungsstufe und Kulturform (Reinsaat Erbse und Gemenge mit Hafer) angelegt. Die Bodenbearbeitung im Frühjahr erfolgte flach wendend mit einem Stoppelhobel (Tiefe ~ 10 cm) bzw. tief wendend mit dem Pflug (Tiefe ~ 28 cm). Unmittelbar nach der Bodenbearbeitung erfolgte eine einmalige parzellengenaue Überführung des Bodens in drei Abstufungen: keine Überführung = Radlast 0 t, Radlast 2,6 t (Reifeninnendruck 0,5 bar) und Radlast 4,6 t (Reifeninnendruck 1,5 bar). Nach anschließender Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge (Tiefe ~ 7 cm) erfolgte die Aussaat der Erbsen (Sorte Santana) mit 80 keimfähigen Körnern m⁻² am 17.04.2009 bzw. am 04.04.2010. Zur Ermittlung der Porengrößenverteilung wurden ungestörte Bodenproben mittels Stechzylinder in einer Tiefe von 12 cm entnommen. Die Beerntung wurde am 27.07.2009 bzw. am 20.07.2010 durchgeführt. Nach der Saat bis zur Ernte erfolgte keine Unkraut-

regulierung. Die symbiotische N₂-Fixierleistung der Erbsen wurde mittels einfacher Differenzmethode geschätzt (Referenzfrucht Hafer).

Ergebnisse und Diskussion

Die Wirkung der steigenden Bodenbelastung auf das Porenvolumen im Boden zeigt aufgrund jeweils unterschiedlicher Ausgangsbedingungen in beiden Versuchsjahren einen deutlichen Jahreseinfluss (Tab. 1).

Tab. 1: Porengrößenverteilung im Boden, Sprossertrag, N-Ertrag und symbiotische N₂-Fixierleistung von Körnererbsen in Abhängigkeit von mechanischer Bodenbelastung nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung zur Saat (Pflug vs. Stoppelhobel, SH)

		Gesamt-porenvolumen [Vol.-%]	Luftkapazität [Vol.-%]	Sprossertrag (TM) [dt ha ⁻¹]	N-Ertrag Spross [kg ha ⁻¹]	N ₂ -Fixierung [kg N ha ⁻¹]
2009	0 t	41,5 ns.	13,6 ns.	48 ns.	120 ns.	59 ns.
	2,6 t	39,8 ns.	12,4 ns.	49 ns.	140 ns.	71 ns.
	4,6 t	38,4 ns.	11,6 ns.	49 ns.	123 ns.	58 ns.
	SH	38,3 ns.	11,0 b	49 ns.	127 ns.	60 ns.
	Pflug	41,5 ns.	14,2 a*	48 ns.	128 ns.	65 ns.
2010	0 t	40,3 ns.	9,5 ns.	39 ns.	85 a	53 a
	2,6 t	39,7 ns.	7,0 ns.	27 ns.	62 ab	57 a
	4,6 t	39,0 ns.	5,0 ns.	26 ns.	56 b**	23 b*
	SH	40,1 ns.	8,9 ns.	32 ns.	70 ns.	49 ns.
	Pflug	39,4 ns.	5,4 ns.	30 ns.	65 ns.	40 ns.

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, * $P < 0,05$; ns. = nicht signifikant, Wechselwirkung Bodenbearbeitung × Belastung: n.s.

Im Jahr 2009 lag der Bodenwassergehalt zum Bearbeitungszeitpunkt mit 17 Vol.-% bei etwa 60 % der Feldkapazität des Bodens, im Jahr 2010 mit 22,5 Vol.-% bei etwa 70 %. Dies zeigt sich insbesondere durch eine nur geringe Abnahme des Anteils an Poren > 50 µm im Jahr 2009 und eine sehr deutliche Abnahme dieser Poren mit zunehmender Belastungsstufe im Jahr 2010 (Tab. 1). Ein Zusammenhang zwischen dem Luft- und Wasserhaushalt des Bodens und der Ertragsentwicklung der Erbsen lässt sich besonders im Jahr 2010 erkennen, wonach der Ertrag an Sprossmasse, der N-Ertrag und die symbiotische N₂-Fixierleistung der Erbse mit steigender Bodenbelastung abnahm. Ein Jahreseffekt wird auch bei einem Vergleich der Bodenbearbeitung deutlich. Bei trockneren Bedingungen zur Bodenbearbeitung im Jahr 2009 führte die Pflugbearbeitung zu einem höheren Gesamtporenvolumen und einer signifikant höheren Luftkapazität im Bereich der Oberkrume gegenüber der flachen Bearbeitung mit dem Stoppelhobel. Bei höherer Bodenfeuchte zur Bodenbearbeitung im Jahr 2010 wurde in der Pflugvariante die Luftkapazität deutlich geringer, was offenbar auf eine geringere Gefügestabilität des Bodens gegenüber der flachen Bearbeitung mit dem Stoppelhobel zurückzuführen ist. Eine Ertragswirksamkeit dieser bodenphysikalischen Unterschiede ist in beiden Jahren jedoch nur tendenziell zu erkennen. Aus den dargestellten Ergebnissen lässt sich allerdings ableiten, dass bei feuchten Bedingungen sich hinsichtlich der Stabilität der Bodenstruktur durch reduzierte Bodenbearbeitung bereits bei der Erbse kurzfristig Vorteile ergeben können.

Einfluss von Zwischenfruchturzeln auf hydraulische Bodeneigenschaften

Peter Scholl¹, Gernot Bodner¹, Willibald Loiskandl² und Hans-Peter Kaul¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität für Bodenkultur, Wien; ²Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur, Wien. E-Mail: peter.scholl@boku.ac.at

Einleitung

Die hydraulischen Bodeneigenschaften sind eine entscheidende Standorteigenschaft für Pflanzenproduktion und Umwelt. Sie stellen eine dynamische Größe dar, die durch das landwirtschaftliche Management sowie zahlreiche Umwelteinflüsse sowohl zeitlich als auch räumlich verändert wird. Zwischenfruchtbelegungen sind eine verbreitete Agrarumweltmaßnahme für den Boden- und Grundwasserschutz in der Landwirtschaft. Für die zwischenfruchtbedingte Stabilisierung und Verbesserung der Bodenstruktur ist deren Wurzelsystem entscheidend. In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss von zwei Zwischenfruchtarten mit unterschiedlichen Wurzelsystemen (Senf-Pfahlwurzel; Roggen-Büschelwurzel) im Vergleich zu einer Brache-Variante auf die hydraulischen Bodeneigenschaften untersucht.

Material und Methoden

Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse von Tensionsinfiltrationsmessungen an der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf (Niederösterreich) aus zwei aufeinanderfolgenden Vegetationsperioden (2009/10 und 2010/11) präsentiert. Diese dienen zur Charakterisierung des Einflusses unterschiedlicher Wurzelsysteme auf die bodenhydraulischen Eigenschaften (u. a. hydraulische Leitfähigkeit, flussgewichteter Porenradius und Makroporosität) speziell im nahgesättigten Bereich der Makroporen. Das Infiltrationsverhalten wurde bei vier Wasserspannungsstufen (-10 cm, -4 cm, -1 cm, 0 cm) erhoben (Reynolds und Elrik, 1991). Im Anschluss daran erfolgte die Bestimmung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit K_h mittels Wooding-Methode (Wooding, 1968). Der Bodenwasseranteil wird kontinuierlich über kapazitive CProbe-Sonden in 5, 15, 25, 60 und 90 cm Bodentiefe erfasst.

Der Boden am Versuchsstandort ist ein Tschernosem auf schottrigem Untergrund mit der Bodenart schluffiger Lehm (23 % S, 57 % U und 20 % T). Eine Direktsaatparzelle (> 10 Jahre) wird jährlich mit zwei unterschiedlichen Zwischenfrüchten (Senf, Grünroggen) in jeweils dreifacher Wiederholung bepflanzt. Eine Brache-Variante dient als Referenz.

Ergebnisse und Diskussion

Nachfolgend wird eine Auswahl der bisher gewonnenen Daten im Vegetationsverlauf vorgestellt (Abb. 1). Der obere Teil der Grafik zeigt die Tageswerte von Lufttemperatur und Niederschlag der Wetterstation am Versuchsstandort. Im unteren Teil der Abbildung ist die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit K_h für die Tensionsstufen $t = -0,5$ cm und $t = 0$ cm für sämtliche Messtermine dargestellt (September 2009 bis Juni 2011). Auf eine Präsentation der übrigen Tensionsstufen ($t = -2,5$ cm; -7 cm; -10 cm) wird an dieser Stelle zu Gunsten der Übersichtlichkeit verzichtet.

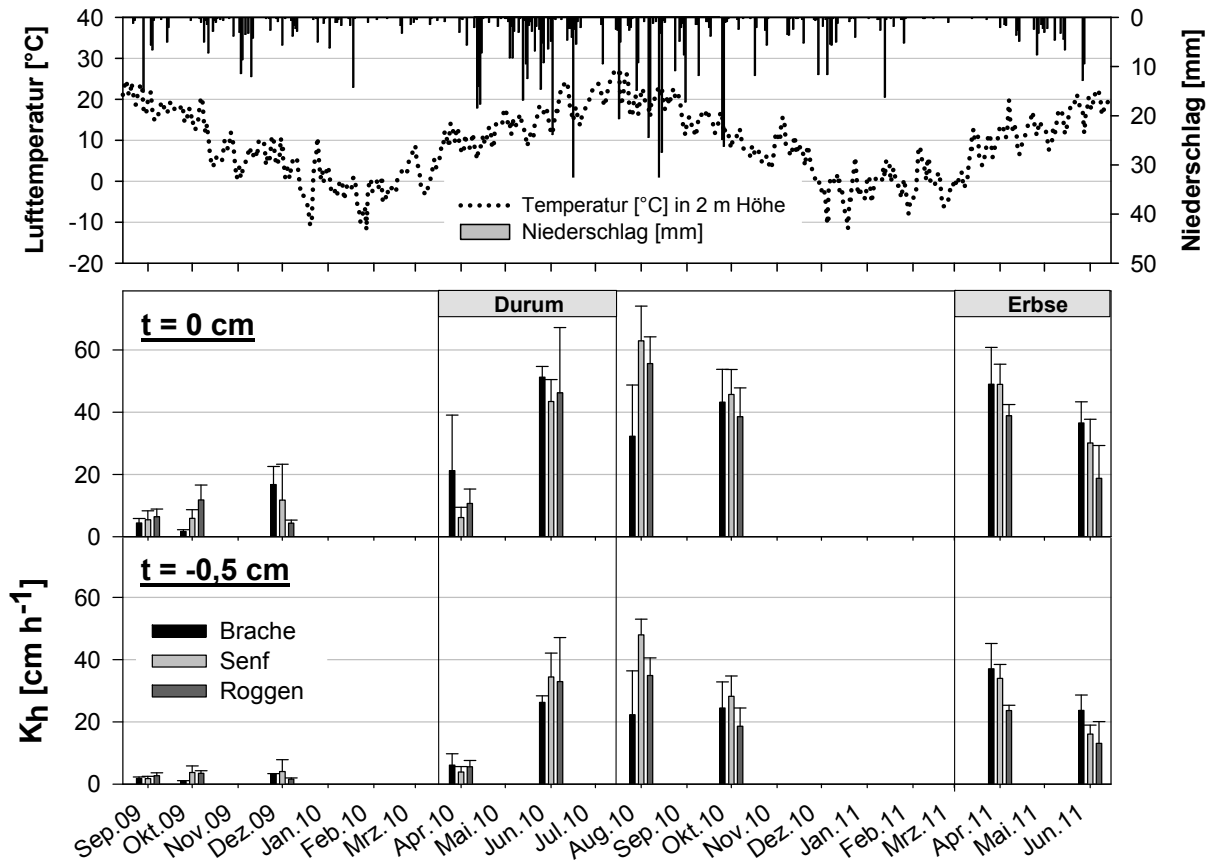


Abb. 1: Übersicht über die ermittelten hydraulischen Leitfähigkeiten K_h der ZF-Varianten Senf und Grünroggen sowie der Brache-Vergleichsflächen bei zwei Tensionsstufen ($t = 0 \text{ cm}$; $-0,5 \text{ cm}$) im Vegetationszeitraum Sep. 2009 bis Juni 2011. Ebenfalls angeführt sind die Tageswerte für Niederschlag und Lufttemperatur.

Die Ergebnisse der Infiltrationsmessungen während der Zwischenfrucht zeigen im Vergleich zur Brache vor allem bei Senf eine Erhöhung von K_h . Roggen scheint aufgrund der Ausprägung seines Wurzelsystems die Struktur des Bodens deutlich weniger zu beeinflussen. Die Verbesserung der Infiltrationseigenschaften des Bodens infolge der Begrünung führt zu einer Erhöhung des im Boden gespeicherten Wassers. Dies bestätigten auch die Ergebnisse der Bodenwasseranteilmessungen (nicht dargestellt). Während der Hauptfrucht kommen offenbar verstärkt weitere Einflüsse zum Tragen, so dass sich das Bild der Daten für K_h (oberflächennahe Messung) ändert. Die Wasseranteilmessungen (Tiefe $\geq 5 \text{ cm}$) weisen jedoch weiterhin eine höhere Bodenfeuchte für die Zwischenfruchtvarianten auf.

Es ist zu betonen, dass im Spätsommer 2009 erstmalig eine Begrünung auf der Versuchsfläche durchgeführt wurde. Entsprechend zeigen sich bereits im Herbst 2009 erste Tendenzen, jedoch lassen sich statistisch signifikante Effekte ($\alpha = 0,05$) erst für die nachfolgende Zwischenfruchtperiode (Herbst/ Winter 2010) erkennen.

Literatur

Reynolds, W.D., D.E. Elrik 1991: Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. Soil Sci Soc Am J 55:633-639.

Wooding, R.A. 1968: Steady infiltration from a shallow circular pond. Water Resour. Res. 4:1259-1273.

Einfluss einer differenzierten Grundbodenbearbeitung auf die Ertragsbildung im Fruchtfolgeglied Erbse - Winterweizen

Jette Stieber und Knut Schmidtke

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau/Landespflege E-Mail: stieber@htw-dresden.de

Einleitung

Die im ökologischen Landbau zur Regulierung der Unkräuter häufig durchgeführte Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug birgt ein erhöhtes Risiko der Bodenerosion und der Bodenverdichtung im Wurzelbereich der Kulturpflanze (Schaller et al. 2006). Außerdem bedarf das Pflügen eines erhöhten Energie- und Kostenaufwandes gegenüber einer nicht wendenden Bodenbearbeitung (Kloepfer 2007). Die durchgeführte Feldversuchsserie widmet sich dem Anbau von Körnererbse und Winterweizen im ökologischen Landbau in Mulch- und Direktsaat, um eine Alternative zur wendenden Bodenbearbeitung zu entwickeln.

Material und Methoden

Der Feldversuch wurde in Pinkowitz bei Dresden (Parabraunerde aus Löss) in einer 2- (Erbse) bzw. 3-faktoriellen (Weizen, Tab. 1) Spaltanlage nach einer Zwischenfrucht aus Hafer und Sonnenblume in den Jahren 2009 und 2010 angelegt. Die Körnererbse (cv. Santana, 90 kf. Körner m⁻²) wurde am 19.04.09 bzw. 08.04.10 nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug oder dem Grubber mittels einer Parzellendrillmaschine (Hege 80) oder in Direktsaat eingesät. Eine Woche nach Einsaat der Erbse wurde eine Untersaat mit Erdklee (cv. Dalkeith, 2000 kf. Körner m⁻²) eingebracht. Am 26.10.09 bzw. 23.10.10 wurde der Winterweizen (cv. Achat, 300 kf. Körner m⁻²) analog zu den Saatsystemen zur Körnererbse (Pflug/Grubber/-Direktsaat), jedoch quer zur Einsaat der Erbse, eingesät. In beiden Kulturen erfolgten: 2 Zwischenernten zur Bestimmung der Sprosstrockenmasse der Kulturpflanzen und der Unkräuter und eine Handernte auf 3 bzw. 2 m² zur Erfassung der Ertragsstruktur und ein Kernparzellendrusch. Des Weiteren wurden an mehreren Terminen Bodenproben zur Erfassung des N-min-Vorrates im Boden entnommen.

Tab. 1: Prüffaktoren und Faktorstufen

Prüffaktor	Faktorstufen
Bodenbearbeitung Erbse	Pflug, 25 cm tief, Kreiselegge Grubber, 25 cm tief, Kreiselegge Direktsaat
Untersaat	ohne Untersaat Erdklee mit Untersaat Erdklee
Bodenbearbeitung Winterweizen	Pflug, 25 cm tief, Kreiselegge Grubber, 25 cm tief, Kreiselegge Direktsaat

Ergebnisse und Diskussion

Es wurde in beiden Jahren und bei allen Ernten ein signifikant höherer Trockenmasseertrag der Erbse nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug gegenüber der Direktsaat festgestellt. Ein gesicherter Effekt der Untersaat auf die

Ertragsbildung der Erbse konnte nicht verzeichnet werden, sie wirkte aber in allen Systemen der Bodenbearbeitung der Unkrautentwicklung entgegen. Zur Druschreife der Erbse konnte in beiden Jahren eine Wirkung der Bodenbearbeitung, 2010 auch der Untersaat, auf die Korn- und Stroherträge festgestellt werden (Tab. 2). Zur Erntereife der Körnererbse wurden zusätzlich Daten zur Ertragsstruktur der Erbse erfasst. Hierbei wurde deutlich, dass die Erbse in Direktsaat eine erhöhte Anzahl Hülsen je Pflanze und Körner je Hülse sowie ein erhöhtes Tausendkorngewicht aufwies. Ein negativer Effekt der Direktsaat auf die N₂-Fixierleistung konnte nicht festgestellt werden. Hier wies die Erbse in Direktsaat einen höheren Stickstoffgehalt im Spross auf als Erbsen nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug oder dem Grubber auf.

Tab. 2: Kornerträge [dt ha⁻¹] der Körnererbse 2009 und 2010 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und einer Untersaat (US) mit Erdklee

Versuchsjahr	Pflug	Grubber	Direktsaat	ohne US	mit US
2009	33,5 A	28,5 AB	24,8 B	30,9 A	27,7 A
2010	24,8 A	24,6 A	15,3 B	23,6 A	19,5 B

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen innerhalb eines Jahres, Tukey-Test $\alpha=0,05$, Wechselwirkung Bodenbearbeitung x Untersaat: n.s.

Die Kornerträge des Winterweizens lagen 2010 nach Direktsaat deutlich unter den Erträgen in Pflug und Grubber. (Tab. 3). Dieser Effekt zeigte sich, wenn im Frühjahr die Körnererbse in Direktsaat eingebracht und im Anschluss gepflügt oder gegrubbert wurde als auch bei Direktsaat zu Weizen. Ein Einfluss der Untersaat Erdklee auf das Auflaufen sowie den Ertrag des Winterweizens war nicht zu verzeichnen.

Tab. 3: Kornertrag [dt ha⁻¹] des Winterweizens 2010 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung zur Körnererbse und zum Winterweizen und einer Untersaat mit Erdklee

	Pflug	Grubber	Direktsaat
Bodenbearbeitung Erbse	18,0 A	15,1 AB	12,2 B
Bodenbearbeitung Weizen	22,9 A	19,2 A	3,3 B

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen, Tukey-Test $\alpha = 0,05$; Wechselwirkungen n.s.

Die Ertragsbildung der Körnererbse wurde durch das Einbringen in Direktsaat negativ beeinflusst, da der Feldaufgang gering war. Dadurch waren die Kornerträge der Erbse in Direktsaat niedriger als nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug oder dem Grubber. Das ungünstige Auflaufen und Wachstum der Erbse in Direktsaat konnte hinsichtlich der N₂-Fixierleistung kompensiert werden. Direktsaat zu Weizen wirkte sich durch stark erhöhtes Unkrautauflaufen sehr negativ auf das Wachstum des Winterweizens aus.

Literatur

- Schaller, B., Nemecek, T., Streit, B., Ziehlmann, U. 2006: Vergleichsökobilanz bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung* 13:482-487.
 Kloepper, F. 2007: Grundboden- und Stoppelbearbeitung im ökologischen Landbau, Darmstadt: KTBL

Teilflächenspezifische Abschätzung des potentiellen Stickstoffaustrags aus landwirtschaftlichen Nutzflächen

Arnd Kielhorn¹, Hubertus von Dressler², Stefan Hinck², Phillip Kues², Klaus Mueller², Verona Stillger² und Dieter Trautz²

¹FARMsystem Hinck & Kielhorn, Osnabrück; ²Hochschule Osnabrück. E-Mail: anfrage@farmssystem.de

Einleitung

In der nachhaltigen Pflanzenproduktion ist die notwendige Düngermenge an das aktuelle Pflanzenwachstum anzupassen, um Stoffausträge aus dem Boden zu vermeiden. Dazu sind sinnvollerweise Daten über die Nährstoffversorgung als auch Informationen über den Boden notwendig. Um für eine umweltgerechte Ausrichtung der Düngung eine praxisgerechte Abschätzung des Austragsrisikos vorzunehmen, können vorliegende Bodeninformationen, die Rückschlüsse auf auswaschungsgefährdete Böden zulassen, in die Düngeplanungen einbezogen werden. Nachfolgend wird eine Lösung vorgestellt, wie dies in der Praxis umgesetzt werden kann.

Material und Methoden

Für die teilflächenspezifische Abschätzung des potentiellen Austragsrisikos wurden zwei Verfahren miteinander kombiniert. Nach DIN 19732 wird das Verlagerungsrisiko von Stoffen im Boden aus Menge und Verlagerungsgeschwindigkeit des Sickerwassers abgeleitet und abschließend klassifiziert. Die dazu erforderliche Größe der Sickerwasserrate wird zuvor nach einer modifizierten Variante (Arbeitsgruppe PIROL 2009) des von Wessolek et al. (2004) vorgestellten TUB-BGR-Verfahren ermittelt. Die Modifikationen beruhen auf einer Verkürzung der Eingangsdaten, da mit der hier vorgestellten Abschätzungsmethode lediglich grundwasserferne (>1,5 m Tiefe bis Grundwasseroberfläche) Ackerstandorte bearbeitet werden. Nachfolgend sind die für das modifizierte TUB-BGR-Verfahren notwendigen Eingangsparameter aufgeführt (s. Tab. 1). Die bodenkundlichen Parameter werden anhand von Bodenschätzungsdaten nach HLUK (2008) abgeleitet, während die klimatologischen Daten von amtlichen Klimadiensten bezogen werden können.

Tab. 1: Notwendige Eingangsparameter für die Ermittlung der Sickerwasserrate nach dem modifizierten TUB-BGR-Verfahren

Bodenkundliche Parameter:	Klimatologische Parameter:
- nutzbare Feldkapazität	- Mittlere jährliche Niederschlagshöhe
- nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum	- Mittlere jährliche Niederschlagshöhe im Sommerhalbjahr
	- Mittlerer Oberflächenabfluss im Sommerhalbjahr
	- Mittlere potentielle Verdunstungshöhe als FAO-Referenzverdunstung

Für die Berechnung der tatsächlich austragsgefährdeten Stickstoffmenge wird die N-Bilanz auf Basis von Teilflächen berechnet. Anhand bereinigter Ertragsdaten der Ertragskartierung wird der Entzug des exportierten Ernteprodukts berechnet und der

örtlich ausgebrachten Düngemenge gegenübergestellt. Berechnungen und Visualisierungen wurden für einzelne Ackerflächen sowie für verschiedene Landschaftsausschnitte durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen eines Projektes an der Hochschule Osnabrück wurde für das Geographische Informationssystem OpenJUMP eine softwaretechnische Lösung entwickelt, die das modifizierte TUB-BGR-Verfahren mit dem DIN-Verfahren kombiniert. Die Kombination der beiden genannten Verfahren führt zu qualitativen Aussagen über das kleinräumige Austragsrisiko grundwasserferner Ackerflächen (>1,5 m Tiefe bis Grundwasseroberfläche). Die anschließende GIS-gestützte Verschneidung mit der teilflächenspezifischen N-Bilanz erlaubt zudem eine quantitative Aussage über eine potentiell betroffene Stickstoffmenge.

Da es sich nicht um Messwerte, sondern um eine Abschätzungsmethode handelt, sind die Ergebnisse als Trend zu verstehen. Die Ergebnisse solcher Abschätzungen können für den Landwirt jedoch trotzdem eine wertvolle Informationsquelle für die Optimierung der pflanzenbaulichen Produktion darstellen.

Durch die bewusste Verwendung von flächendeckend vorliegenden Boden- und Klimadaten sowie Bewirtschaftungsdaten ergibt sich eine realistische Möglichkeit für eine praxisgerechte Umsetzung dieser Methode. Damit kann ein wertvoller Beitrag zur Verminderung des Stickstoffaustrags aus der pflanzenbaulichen Produktion geleistet werden. Neben einer möglichen Reduktion von Austragsrisiken kann sich dies möglicherweise auch ökonomisch niederschlagen.

Literatur

- Arbeitsgruppe PIROL (Hrsg.) 2009: PIROL – Precision Farming als Instrument der interdisziplinären potentialorientierten Landnutzung. Osnabrück.
- HLUG 2008: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.): Großmaßstäbige Bodeninformationen für Hessen und Rheinland-Pfalz. Selbstverlag des HLUG, Wiesbaden.
- Wessolek, G., Duijnsveld, W.H.M., Trinks, S. 2004: Ein neues Verfahren zur Berechnung der Sickerwasserrate aus dem Boden, das TUB-BGR-Verfahren. In BLA-GEO (2004) (Hrsg.): Empfehlungen für die Charakterisierung und Parametrisierung des Transportpfades Boden - Grundwasser als Grundlage für die Sickerwasserprognose. Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung (BLA-GEO), Version 1, Dresden.

Verbrennung von Biomasse extensiven Grünlands: Korrosions- und Emissionsrisiken in Abhängigkeit der Diversität und der funktionellen Gruppen

Jan Harndorf¹, Thomas Fricke¹, Wolfgang W. Weisser², Alexandra Weigelt³ und
Michael Wachendorf¹

¹Universität Kassel, Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Witzenhausen; ²Technische Universität München, Terrestrische Ökologie, München; ³Universität Leipzig, Spezielle Botanik und funktionelle Biodiversität, Leipzig. E-Mail: j.harndorf@uni-kassel.de

Einleitung

Die Verwertung von extensiver Grünlandbiomasse zur Energiegewinnung kann als Alternative dort genutzt werden, wo sich Weidewirtschaft ökonomisch nicht mehr lohnt. Hiermit können Artenvielfalt und wichtige Ökosystemfunktionen des Dauergrünlands erhalten werden. Die Verbrennung, als ein Wandlungsweg von Biomasse zu Energie, benötigt hinreichende Qualitätseigenschaften des Brennstoffs, um Korrosions-, Emissions- und Verschlackungsproblemen vorbeugen zu können. Die Konzentrationen von Stickstoff (N), Chlor (Cl) und Schwefel (S) in der Biomasse haben einen direkten Einfluss auf Korrosions- und Emissionseigenschaften und sollten empfohlenen Grenzwerten entsprechen. In dieser Studie wurden die Sommer- und Herbstaufwüchse des Jena-Experiments aus den Jahren 2008 und 2009 auf ihre N-, Cl-, S-Gehalte untersucht und in Relation gesetzt zu den dort angelegten Biodiversitätsgradienten und verschiedenen funktionellen Gruppen.

Material und Methoden

Pflanzenbestände aus dem Artenpool der Glatthaferwiesen wurden mit steigender Artenzahl (1-60 Arten) auf einer Fläche nahe dem Saale-Ufer bei Jena im Jahr 2002 etabliert. Im Vorfeld wurden die 60 Arten in vier funktionelle Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) unterteilt. Der Versuchsaufbau basiert auf einer vollständig randomisierten Blockanlage mit 82 Parzellen der Größe 20 x 20 m. Auf diesen Parzellen wurden (in 4-facher Wiederholung) alle möglichen Kombinationen von Artenzahl x Anzahl funktioneller Gruppen realisiert. Zum Erhalt der Zielbestände wurden die Parzellen regelmäßig gejätet. Eine Düngung fand nicht statt (detailliertes Versuchsdesign siehe Roscher et al. 2004). Von allen 82 Parzellen wurden in den Jahren 2008 und 2009 von den Sommer- als auch von den Herbstaufwüchsen 300-g Frischmasseproben (Stoppelhöhe 5 cm) aus einem repräsentativen Bereich in der Kernzone der Parzelle genommen. Die geerntete Biomasse wurde bei 70 °C 48 Stunden getrocknet. Mittels der Röntgenfluoreszenzanalyse wurden die Konzentrationen von S und Cl bestimmt, während N-Konzentrationen durch Elementaranalyse (vario MAX CHN, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Deutschland) bestimmt wurden.

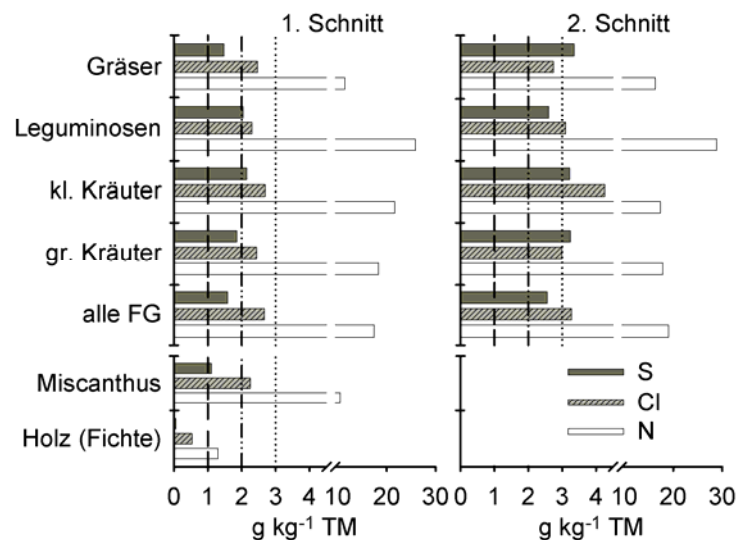
Ergebnisse und Diskussion

Der N-Gehalt reichte von 9-39 g kg⁻¹ TM (Mittelwert $\mu=19$ g kg⁻¹ TM), Cl von 1-9 g kg⁻¹ TM ($\mu=3$ g kg⁻¹ TM) und S von 1-5 g kg⁻¹ TM ($\mu=2$ g kg⁻¹ TM). N war signifikant positiv beeinflusst durch das Vorkommen von Leguminosen in der Biomasse (1. Schnitt: $p<0.001$; 2. Schnitt: $p<0.001$) und negativ durch Gräser (1. Schnitt: $p<0.001$; 2. Schnitt: $p=0.005$). S war signifikant negativ beeinflusst durch Gräser (1. Schnitt: $p<0.001$), kleine Kräuter (1. Schnitt: $p=0.009$) und Leguminosen

(2. Schnitt: $p < 0.001$), jedoch waren die Signifikanzen stark abhängig vom Schnittzeitpunkt. N und S waren signifikant negativ durch die Artenzahl beeinflusst (alle $p < 0.001$; außer N, 1. Schnitt: $p = 0.037$) und nahmen von 1 zu 60 Arten in beiden Schnitten ab (bei N um 14 % im 1. Schnitt und 18 % im 2. Schnitt; bei S um 23 % und 16 %). Während der Diversitätseffekt bei N abhängig war vom Vorkommen von Gräsern, war er für S gänzlich unabhängig von anderen Variablen.

Abb. 1: S-, Cl- und N-Konzentrationen in den Funktionelle-Gruppen-Monokulturen und den Alle-Funktionelle-Gruppen-Mischungen (alle FG) zu beiden Schnittzeitpunkten. Außerdem sind dargestellt der 1 g kg^{-1} TM-Grenzwert (-----), relevant für Korrosion durch S und Cl, der 2 g kg^{-1} TM-Grenzwert (-----), relevant für SO_x -Emissionen und der 3 g kg^{-1} TM-Grenzwert (-----), relevant für PCDD/F-Emissionen

bedingt durch Cl. Zum Vergleich wurden Werte für Holz (Fichte, als Hackschnitzel) und Miscanthus aufgeführt (van Loo und Koppejan 2008).



In van Loo und Koppejan (2008) werden Grenzwerte zur Minimierung von Korrosions- und Emissionsrisiken bei der Verbrennung von Biomasse vorgeschlagen. Dabei sollen S und Cl unter $1 \text{ g kg}^{-1}\text{TM}$ liegen, um Korrosion, und im Falle von Cl auch HCl-Emissionen, einzuschränken. Liegt S unter $2 \text{ g kg}^{-1}\text{TM}$, werden nur noch unwesentliche Mengen SO_x emittiert. Bei Cl-Werten unter $3 \text{ g kg}^{-1}\text{TM}$ ist mit keinen problematischen Emissionen von polychlorierten Dibenzodioxinen oder Dibenzofuranen (PCDD/F) zu rechnen. Liegt N unter $6 \text{ g kg}^{-1}\text{TM}$, findet nur eine geringe Emission von NO_x statt. Wie in Abb. 1 deutlich wird, waren die Mengen an S und Cl in den Funktionelle-Gruppen-Monokulturen und den Alle-Funktionelle-Gruppen-Mischungen zu hoch, um Korrosionsrisiken ausschließen zu können. Dafür kann bei der Biomasse aus dem ersten Schnitt ausgeschlossen werden, dass es zu PCDD/F-Emissionen kommen wird. Die N-Werte waren in allen Fällen so hoch, dass starke NO_x -Emissionen zu erwarten sind. Nur bei den Leguminosen und den kleinen Kräutern ist im ersten Schnitt mit SO_x -Emissionen zu rechnen, wobei im zweiten Schnitt alle Werte über dem Grenzwert von $2 \text{ g kg}^{-1}\text{TM}$ lagen.

Literatur

- Loo van, S., J. Koppejan 2008: The handbook of biomass combustion and co-firing. Earthscan, London.
- Roscher, C., J. Schumacher, J. Baade, W. Wilcke, G. Gleixner, W.W. Weisser, B. Schmid, E.-D. Schulze 2004: The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic Appl. Ecol.* 5:107-121.

Verbesserung der Brennstoffeigenschaften von Grünlandbrennstoffen durch Maischung und mechanische Entwässerung

Frank Hensgen¹, Lutz Bühle¹, Iain Donnison², Kathrin Heinsoo³ und
Michael Wachendorf¹

¹Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Witzenhausen;
²Institute of Biological, Environmental and Rural Sciences, Gogerddan, Aberystwyth, UK; ³Estonian
University of Life Sciences, Tartu, Estland. E-Mail: hensgen@uni-kassel.de

Einleitung

Extensiv genutzte Grünlandbiotope sind ein Brennpunkt der Biodiversität. Regelmäßiger und später Schnitt ist eine notwendige Voraussetzung für den Erhalt der Artenvielfalt. Der Einsatz von Biomassen dieser Flächen in der Landwirtschaft ist zunehmend unwirtschaftlich, ihr Nährwert ist bedingt durch den späten Schnittzeitpunkt gering. Der hohe Lignin- und Faseranteil verhindert auch den effizienten Einsatz in Biogasanlagen, da er zu einer erhöhten Verweilzeit im Fermenter und geringen Methanerträgen führt. Einer Verbrennung des Materials stehen erhöhte Mineralstoffgehalte entgegen, die zu Emissionen, Korrosion und Ascheerweichung führen (Obernberger et al. 2006). Mittels des von der Universität Kassel entwickelten IFBB-Verfahrens (Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse) können diese Mineralstoffe durch eine hydrothermale Konditionierung und anschließende mechanische Entwässerung mittels Schneckenpresse größtenteils aus dem Brennstoff entfernt werden, welcher dadurch eine erhebliche Verbesserung seiner Brennstoffeigenschaften erfährt.

Material und Methoden

In drei europäischen Grünland dominierten Regionen in Deutschland, Wales und Estland wurden jeweils sechs Flächen in dreifacher Wiederholung beprobt. Die Flächen wurden mit einem Balkenmäher geerntet, die Biomasse anschließend mit einem Trommelhäcksler auf max. 5 cm Länge gehäckselt und in 60L-Polyethylen-Fässern über einen Zeitraum von mindestens sechs Wochen siliert. Das Material wurde einer 30-minütigen hydrothermalen Konditionierung bei 25 °C ausgesetzt und durch eine Schneckenpresse mit einer Steigung von 1:6 und einer Siebkorbblockung von 1,5 mm abgepresst. Die Silage und der Presskuchen wurden untersucht auf Trockenmasse-(TM) und Aschegehalte sowie auf den Gehalt für die Verbrennungseigenschaften wichtiger Elemente (C, H, N, K, Ca, Mg, S, Cl). C, H, N wurden untersucht mittels Elementar Analysator (EA 1106, Carlo Erba Ltd., Rodano, Italy), K, Ca, Mg, S, Cl mittels Röntgen-Fluoreszenz-Analyse. Der Ascheschmelzpunkt wurde berechnet nach der Formel von Hartmann (2009), basierend auf den Konzentrationen von K, Ca und Mg. Der Brennwert für Silage und Presskuchen wurde nach der Formel von Friedl et al. (2005) berechnet, basierend auf den Konzentrationen von C, H und N.

Ergebnisse und Diskussion

Durch das IFBB-Verfahren konnte die Trockenmasse zu 20 % in den Presssaft überführt werden (Abb.1). Der Massenfluss der Asche war höher (43 %), was zu der erwünschten Verbesserung der Verbrennungseigenschaften beiträgt. Die emissions-

und korrosionsrelevanten Elemente N und S wurden in geringem Ausmaß (34 bzw. 47 %) in den Presssaft überführt. Dagegen wurden für K und Cl hohe Massenflüsse in den Presssaft erreicht mit 78 % bzw. 84 %, dies kann durch die höhere Mobilität dieser Nährstoffe in der Pflanze erklärt werden. Die Auswaschung von Chlor und Kalium trägt wesentlich zur Verringerung der Korrosionsgefahr und Verbesserung des Ascheerweichungsverhaltens bei.

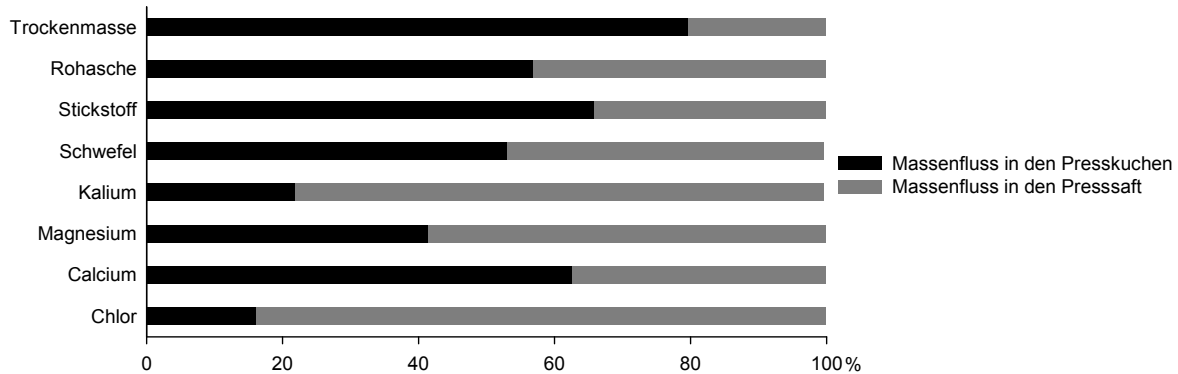


Abb. 1: Mittelwerte der Massenflüsse von Trockenmasse, Rohasche, N, S, K, Mg, Ca und Cl in Presskuchen und Presssaft

Die Qualität des Brennstoffes wird maßgeblich beeinflusst durch den Gehalt an Mineralstoffen. Im Mittel aller Standorte konnte vor allem der Chlor- und Kaliumgehalt in der Trockenmasse (TM) deutlich gesenkt werden. Der Presskuchen enthielt 73 % weniger Kalium in der TM und 80 % weniger Chlor als die Silage. Es wurden Gehalte von 0,29 % K und 0,07 % Cl d. TM im Presskuchen erreicht. Magnesium und Schwefel konnten im Brennstoff um 48 % bzw. 33 % reduziert werden. Die Gehalte im Brennstoff lagen hier bei 0,12 bzw. 0,10 % d. TM. Nur geringe Reduktionen erfolgten für Ca und N mit 21 % bzw. 18 %, sodass die N-Gehalte im Presskuchen bei 1,27 % d. TM lagen. Die Ascherweichungstemperatur konnte, vor allem durch die Auswaschung des Kaliums, von 1085 °C für die Silage auf 1186 °C für den Presskuchen erhöht werden. Der Brennwert konnte von 18,7 auf 19,0 MJ kg⁻¹ TM leicht gesteigert werden. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die hydrothermale Konditionierung und anschließende mechanische Separierung zu einer deutlichen Reduktion der Konzentration einiger schädlicher Elemente im Brennstoff führt und damit eine Verbesserung der Qualität des Brennstoffes ermöglicht.

Literatur

- Friedl A., E. Padouvas, H. Rotter, K. Varmuza 2005: Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. *Analytica Chimica Acta* 544:191-198.
- Hartmann, H. 2009: Brennstoffzusammensetzung und -eigenschaften In: Kaltschmitt, M., Hartmann, H., Hofbauer, H. (eds.) *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer-Verlag, Berlin, 333-374.
- Obernberger, I., T. Brunner, G. Bärnthaler 2006: Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. *Biomass and Bioenergy* 30:973-982.

Technische und ökologische Aspekte der Produktion und Verwertung von Festbrennstoff aus Biomasse von Extensivgrünland

Lutz Bühle¹, Arnd Urban², Frank Hensgen¹, Iain Donnison³, Katrin Heinsoo⁴ und Michael Wachendorf¹

¹Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Witzenhausen; ²Universität Kassel, Fachgebiet Abfalltechnik, Kassel; ³Institute of Biological, Environmental and Rural Sciences, Aberystwyth, UK; ⁴Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estland. E-Mail: buehle@uni-kassel.de

Einleitung

Für die Bewirtschaftung naturschutzfachlich wertvoller Grünlandflächen gewinnt aufgrund agrarökonomischer Rahmenbedingungen die Erzeugung biogener Energieträger zunehmend an Relevanz. Diese Studie bewertet die Verwertung des Aufwuchses als Festbrennstoff unter Gesichtspunkten der technischen Machbarkeit, insbesondere der Verbrennungstechnik, sowie dem Einsparpotenzial von Treibhausgasen. Die Herstellung des Brennstoffs erfolgt gemäß dem Verfahren der „Integrierten Festbrennstoff- und Biogaserzeugung aus Biomasse“ (IFBB), das eine mechanische Auftrennung mittels Schneckenpresse der zuvor gemischten Biomasse in eine Feststofffraktion für die thermische Verwertung und eine Flüssigfraktion für die Biogaserzeugung vorsieht (Wachendorf et al. 2009). Das wesentliche Ziel des Verfahrens ist die brennstofftechnische Aufwertung der Grünlandbiomasse durch eine weitgehende Extraktion ascheerweichender sowie korrosions- und emissionsrelevanter Mineralstoffe.

Material und Methoden

Die Erzeugung des IFBB-Brennstoffs erfolgte durch eine 30-minütige Maischung (Perkolationsverfahren mit Wasser) der als Silage konservierten Grünlandbiomasse mit anschließender mechanischer Entwässerung (Schneckenpresse, Verdichtung: 1:6, Sieblochung: 1,5 mm) und Lufttrocknung. Es wurden 2 IFBB-Brennstoffe von Grünlandflächen vom NATURA 2000 Lebensraumtyp „Magere Flachland-Mähwiese“ (Bühle et al. 2010) in unkompakterter Form sowie ein rindenreicher und ein rindenfreier Hackschnitzeltyp untersucht. Die Verbrennungsversuche wurden in einer Rostfeuerungsanlage (30 kW) mit Ölstützfeuerung durchgeführt. Die Messung der Rauchgaskonzentrationen von CO, NO_x und SO₂ wurden mit dem Rauchgasanalysator 350 XL der Firma Testo vorgenommen. Die Bestimmung des Ascheschmelzverhaltens wurde in Anlehnung an DIN 51730 anhand eines zylindrischen Probekörpers der Brennstoffaschen in einem Hochtemperaturofen untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die Aschegehalte der IFBB-Brennstoffe liegen deutlich über denen der Holzhackschnitzel (Tab. 1). Hinsichtlich der Emissionen unterscheiden sich die IFBB-Brennstoffe hauptsächlich in den CO-Emissionen. Die höheren Werte für die Grünlandbrennstoffe sind im Wesentlichen in der unkompaktierten Brennstoffkonfektionierung und dem damit verbundenen schlechteren Ausbrand zu sehen. Nach Pelletierung konnten diese Werte auf ein Zehntel abgesenkt werden (Ergebnisse nicht dargestellt). Die NO-Emissionen liegen aufgrund der gestuften Verbrennung trotz der erhöhten N-Gehalte im IFBB-Brennstoff auf einem niedrigen

Niveau. Mit Ausnahme des IFBB-Brennstoffs I konnten keine SO₂-Emissionen festgestellt werden. Die Reduktion Schlacke fördernder Mineralien durch die hydrothermale Konditionierung und anschließender Entwässerung (Richter et al. 2010) führt zu einem Ascheschmelzverhalten, das auf dem Niveau von Hackschnitzeln liegt.

Tab. 1: CO-, NO- und SO₂-Emissionen bei der Verbrennung von 2 hydrothermal vorbehandelten und entwässerten Grünlandsilagen und 2 Hackschnitzeltypen (rindenreich und rindenfrei) sowie Ascheerweichungstemperatur A, Halbkugeltemperatur B, Fließtemperatur C der Brennstoffaschen

Brennstoff	TS-Gehalt [%]	Aschegehalt [%]	Emissionen			Ascheschmelzverhalten		
			CO	NO [mg/m ³]	SO ₂	A	B °C	C
IFBB-Brennstoff I	84	6	4162	178	0,45	1130	1240	1330
IFBB-Brennstoff II	88	10	4181	189	0,00	1140	1340	1430
Hackschnitzel I (rindenreich)	86	4	992	137	0,00	1170	1250	1360
Hackschnitzel II (rindenfrei)	93	2	1691	117	0,00	1050	1170	1200

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die wesentlichen Brennstoffparameter der IFBB-Brennstoffe auf dem Niveau der Holzbrennstoffe liegen, und deuten damit auf eine technische Machbarkeit der thermischen Nutzung hin und bieten demzufolge eine vielversprechende Alternative zu herkömmlichen Verwertungstechniken wie der anaeroben Ganzpflanzenvergärung oder Heuverbrennung. Hinsichtlich der ökologischen Vorteilhaftigkeit würde eine direkte thermische Nutzung nach Feldtrocknung eine höhere Energieeffizienz und ein höheres Einsparpotenzial an Treibhausgasen aufweisen (Richter et al. 2010), jedoch konnte die Heuverbrennung aufgrund der inhaltsstofflichen Zusammensetzung der unbehandelten Halmgutbrennstoffe bisher nicht großflächig in die Praxis umgesetzt werden.

Literatur

- Bühle, L., I. Donnison, K. Heinsoo, K.-H. Südekum, M. Wachendorf 2010: PROGRASS - Erhalt von Naturschutzgrünland durch eine dezentrale energetische Verwertung. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 22:275-276.
- Richter, F., T. Fricke, M. Wachendorf 2010: Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. III. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on solid fuel properties and on energy and greenhouse gas balances. Grass and forage science 65:185-199.
- Wachendorf, M., F. Richter, T. Fricke, R. Graß, R. Neff 2009: Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. I. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. Grass and forage science 64:132-143.

Führen funktionale Merkmale zu einem besseren Verständnis der Pflanze-Umwelt-Beziehungen?

Jürgen Schellberg¹ und Johannes Isselstein²

¹Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn; ²Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität Göttingen. E-Mail: J.Schellberg@uni-bonn.de

Einleitung

Zur Beschreibung und Analyse von Mustern und Prozessen in Pflanzenbeständen werden in der ökologischen Forschung verstärkt funktionale Eigenschaften von Pflanzen herangezogen (functional traits - FT). Die funktionale Diversität einer Pflanzengemeinschaft ergibt sich aus dem Umfang und der Verteilung solcher funktionaler Eigenschaften der jeweils vorkommenden Pflanzenarten. Eine Gruppe von Pflanzen mit gleichartiger 'Ausstattung' an funktionalen Merkmalen unabhängig von Verwandtschaftsgrad und Phylogenie der Arten wird als funktionale Pflanzengruppe (plant functional type - PFT) bezeichnet. FT von Pflanzen sind solche physikalischen, physiologischen und phänologischen Eigenschaften, die unmittelbar Einfluss haben auf deren Fitness, nämlich durch ihre Wirkung auf das vegetative und reproduktive Wachstum und die Persistenz (Violle et al., 2007). Das Vorhandensein und die Ausprägung der Merkmale sind entscheidend für die individuelle Leistungsfähigkeit einer Pflanze und ihre Konkurrenzkraft im Artengefüge.

Der funktionale Ansatz lässt die Artenzusammensetzung in einer Pflanzengemeinschaft weitgehend unberücksichtigt und sucht stattdessen nach den Beziehungen zwischen Form (FT) und deren Funktion im Ökosystem. Graslandgesellschaften sind geprägt von Artenvielfalt. Jede dieser Arten beeinflusst das Ökosystem („effect trait“), beispielsweise über die produzierte Biomasse sowie deren Abbaubarkeit und die dadurch bedingte Nährstoffrückführung. Gleichzeitig reagiert jede Art aber auch auf die vorherrschenden, von Boden, Witterung und Nachbarpflanzen bestimmten Wachstumsbedingungen („response traits“). Im Grasland sind Nutzungsart und -häufigkeit, Wasserversorgung und Düngung die wichtigsten Faktoren, die das Artengefüge und die Ausstattung mit FT beeinflussen („environmental filter“). In die pflanzenbauliche bzw. Grünland bezogene Forschung hat das Konzept der funktionalen Eigenschaften bisher wenig Eingang gefunden. Jüngere Untersuchungen zeigen aber, dass die Analyse funktionaler Merkmale und funktionaler Diversität auch aus der Sicht des Managements und der Nutzung von Pflanzenbeständen neue Perspektiven für Forschung und Praxis eröffnen (z.B. Ansquer et al. 2009). Ziel des vorliegenden Beitrages ist es, Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten des Konzeptes der funktionalen Merkmale darzustellen.

Material und Methoden

Untersuchungen zur Reaktion von Pflanzen und deren FT-Ausstattung („trait syndrome“) stützen sich in der Regel auf Beprobungen im Feld, seltener auf Gefäßversuche unter kontrollierten Bedingungen. Ein ausführliches Protokoll zur Messung von FT findet sich in Cornelissen et al. (2003). Kategorische als auch numerische FT sind in Datenbanken abgelegt (z.B. LEDA, BIOLFLOR). Mit ihrer Hilfe können floristische Aufnahmen in eine Matrix übersetzt werden, die sowohl die Artenanteile als auch Umweltbedingungen, Managementfaktoren und die nach Artenanteil gewichteten FT enthalten. Schließlich können die Pflanze-Umwelt-

beziehungen multi-variabel statistisch analysiert und synthetische Achsen der Spezialisierung von FT identifiziert werden. Solche Verfahren wurden auf verschiedenen räumlichen Skalen sehr erfolgreich durchgeführt (Diaz et al. 2007). Die Auswahl der FT ist abhängig von der Fragestellung und beruht auf Expertenwissen und Literaturstudium. Dabei ist eine größere Auswahl von FT in der Regel besser geeignet als einzelne FT, die häufig hoch korreliert sind und in aggregierter Form einen hohen Erklärungsbeitrag zu Ökosystemprozessen liefern können.

Ergebnisse und Diskussion

Funktionale Merkmale können unterschiedliche Strategien von Pflanzen gut erklären. Anpassungen an Nährstoff- und Wassermangel lassen sich anhand eines hohen spezifischen Blattgewichts, längerer Blattlebensdauer, effizientem Recycling von Photosyntheseprodukten und höheren Investitionen in strukturelle Biomasse belegen. Auf eutrophen und gut mit Wasser versorgten Standorten herrschen dagegen hohe Blatterscheinungs- und Blattwachstumsraten vor sowie kurze Blattlebensdauer und geringere spezifische Blattgewichte. Solche kompetitiven Pflanzen haben einen höheren Bedarf an Ressourcen, vor allem Licht, Wasser und Nährstoffe. Sie investieren in schnell wachsende photosynthetisch aktive Blattgewebe und Stängel und erschließen dadurch obere Bestandesschichten, um Beschattung zu reduzieren und den Lichtgenuss zu maximieren. Das oligotrophe Grasland ist meist artenreicher und weist in der Regel eine höhere Diversität an FT auf, wobei sich zu den Extremen der Trophiestufen das Spektrum der FT einengt. Ähnliches gilt für Gradienten der Wasserversorgung. Intensive Nutzung oder gar Übernutzung befördert die Ausprägung von Pflanzenbeständen, die sich durch zahlreiche bodennahe Knospen unterhalb der Schnitt- und Verbisesebene, rasches Regenerationsvermögen, Monokarpie und Entwicklung aus Samen auszeichnen.

Der besondere Vorteil der Nutzung von FT liegt in der engen Kopplung der pflanzlichen Form mit der Funktion. Pflanze-Umwelt-Beziehungen lassen sich bei alleiniger Betrachtung der Pflanzenarten nur frei formulierend beschreiben. FT lassen sich dagegen numerisch darstellen und – ohne syntaxonomische Zuordnung („taxon-free“) – statistisch auswerten und schließlich den Umweltgradienten auf unterschiedlichen Skalen zuordnen.

Literatur

- Ansquer P., Duru M., Theau J.P., Cruz P. 2009: Functional traits as indicators of fodder provision over a short time scale in species-rich grasslands. *Annals of Botany* 103:117-126.
- Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E., Poorter, H. 2003: A handbook of protocols for standardized and easy measurements of plant functional traits worldwide. *Annals of Botany* 51:335-380.
- Diaz S., Lavorel S., de Bello F., Quétier F., Grigulis K., Robson T.M. 2007: Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *PNAS* 104:20684-20689.
- Violle C., Navas M.L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I., Garnier E. 2007: Let the concept be functional! *Oikos* 116:882-892.

Einfluss des NIRS-Verfahrens auf die Kalibrationsgüte von Stickstoff-, NDF- und Aschegehalten in Heu

Björn Reddersen, Thomas Fricke und Michael Wachendorf

Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Witzenhausen.
E-Mail: b.reddersen@uni-kassel.de

Einleitung

Voraussetzung für eine effektive Prozesssteuerung in der bioenergetischen Verwertung von Biomassen ist eine frühzeitige Bestimmung von Qualitätsmerkmalen. Nahinfrarotspektrometrische Methoden sind in der Futtermittelanalytik Standardverfahren zur Quantifizierung relevanter Inhaltsstoffe der Weender Rohnährstofffraktionen und den Strukturkohlehydraten, welche wiederum in direkter Beziehung zu bioenergetischen Eigenschaften wie dem Brennwert und der Methanbildung stehen. Arbeitsintensive Probenaufbereitung in Vorbereitung der NIRS-Messungen setzen der Probenanzahl jedoch Grenzen und verzögern die Verfügbarkeit von Informationen. Steigende Standardisierung des Messverfahrens infolge sukzessiver Probenaufbereitung und Optimierung der Messbedingungen resultiert nicht zwangsläufig in einer Verbesserung der Aussagegenauigkeit. So erreichten zum Beispiel Terhoeven-Urselmans et al. (2007) eine höhere Kalibrationsgüte mit frischem Chinakohl als mit getrocknetem. Für Heu von Grünlandbeständen unterschiedlicher Diversitätsstrukturen existieren solche Versuche noch nicht. Daher wurden über eine Sequenz von vier Verfahren, die eine zunehmende Standardisierung der Probenaufbereitung und der Messmethodik umfassen, Kalibrationsgüten für Stickstoff-, Asche- und NDF-Gehalte als elementare Parameter der bioenergetischen Verwertung verglichen.

Material und Methoden

Als Ausgangsmaterial für die Kalibrationen dienen Proben aus dem zweischürigen Jena-Experiment der Jahre 2008 und 2009. Es beinhaltet einen Artenpool von 1 bis 60 Pflanzenarten der in Zentraleuropa verbreiteten extensiven Glatthaferwiesen (*Arrhenatereten*). In den 82 Parzellen des Hauptexperiments wurde der Bestand auf einer Fläche von 3x3 m in 5 cm Höhe über dem Boden beerntet. Das frische Probenmaterial wurde bei 65 °C für 72 h getrocknet. Die Spektren wurden über vier Verfahren erfasst, die sich in Probenaufbereitung und Messtechnik unterscheiden.

Als unterste Stufe einer Verfahrensstandardisierung wurde auf 10 cm Länge zerkleinertes Heu mit einem Feldspektrometer (Fieldspec 3, ASD Inc., USA) aus einer Distanz von 67 cm über dem Probenmaterial gemessen (FD). Die Messung erfolgte in einer 70x60x60 cm großen abgedunkelten Messkammer mit dem Probenmaterial ausgebreitet in einem 35x35x10 cm großen, oben offenen Behälter. Die sich aus der Distanz des Sensors ergebende Messfläche umfasste 0.07 m² im Zentrum des Probenbehälters. Als Lichtquelle dienten drei 50 Watt Wolfram-Halogenlampen. Zur Bestimmung des Probenspektrums wurden drei Messungen mit je vier Wiederholungen gemittelt. Um die Heterogenität des Materials in den Probenspektren abzubilden, wurde die Probe nach jeder Messung durchmischt. Im zweiten Messverfahren wurden bei gleicher Anordnung des Probenmaterials die Spektren mit einer Plant-Probe-Foreoptic des Fieldspec 3 in Kontakt mit dem Probenmaterial erfasst (FN). Die Aufnahme der Spektren erfolgte über ein Mittel aus

20 Messpositionen mit je vier Wiederholungen, die gleichmäßig über die Grundfläche des Probenbehälters verteilt wurden. Im dritten Messverfahren kam ein Foss XDS Rapid-Content-Analyzer (Hillerød, Dänemark) mit einer Messzelle für inhomogene Feststoffe zum Einsatz (LG). Zur Probenvorbereitung wurde das Material mit einer Retsch Schneidmühle (SM 100, Haan, Deutschland, Siebdurchmesser 6 mm) zerkleinert. Als höchste Standardisierungsstufe wurde das Heu mit einer FOSS Labormühle (Cyclotec™ 1093; Haan, Deutschland) auf 1 mm Korngröße zermahlen. Die Messung erfolgte im FOSS XDS mit dem Quarz-Küvetteneinsatz (LK).

Die Kalibrierung der Spektren erfolgte mit WinISI 1.63. Referenzwerte für Stickstoff (N) wurden über einen Elementar Analysator (vario MAX CHN) bestimmt. Referenzwerte für NDF entstammten einer erweiterten Weender-Analyse. Spektrale Ausreißer wurden eliminiert und der Datensatz mittels Kreuzvalidierung über die erste Ableitung des gesamten aufgenommenen Spektrums analysiert, wozu eine modifizierte Partial Least Square-Methode verwendet wurde.

Ergebnisse und Diskussion

Als Parameter für die Güte der Kalibrierung wurde das multiple Bestimmtheitsmaß der Kalibration (r^2) und das Verhältnis aus den Standardabweichungen der Kreuzvalidierung und der Referenzwerte (RSC) bestimmt. Nach Chang et al. (2001) ist eine Kalibrierung mit einem $RSC \geq 2$ und $r^2 \geq 0,9$ erfolgreich, bei $2 \geq RSC \geq 1,4$ und $0,9 \geq r^2 \geq 0,8$ gilt sie als mäßig erfolgreich und bei $RSC < 1,4$ und $r^2 \leq 0,8$ als nicht erfolgreich. Die RSC-Werte für N lagen bei allen Verfahren über 2 (Tab.1). Asche- und NDF-Gehalte konnten mit den laborspektrometrischen Verfahren LK und LG ebenfalls erfolgreich kalibriert werden ($RSC \geq 2$). Bei den feldspektrometrischen Verfahren FD und FN wurde jedoch nur eine ausreichende Kalibrationsgüte erreicht. Zusammen mit einem Bestimmtheitsmaß von $<0,8$ kann bei FD nicht mehr von einer zuverlässigen Vorhersagegüte ausgegangen werden.

Tab. 1: Qualitätsparameter der NIRS-Verfahren für N-, Asche- und NDF-Gehalte

Verfahren	N [% TM]		Asche [% TM]		NDF [% TM]	
	RSC	r^2	RSC	r^2	RSC	r^2
FD	2.40	0.88	1.68	0.74	1.90	0.75
FN	2.18	0.82	1.83	0.80	2.08	0.80
LG	2.53	0.87	2.73	0.90	2.58	0.87
LK	5.58	0.98	3.07	0.93	3.42	0.92

Die Kalibrationsgüte steigt mit zunehmender Verfahrensstandardisierung (FD<FN<LG<LK). Allerdings unterscheiden sich die Güteparameter und damit die Verwendungsoptionen der Kalibrationen in Abhängigkeit der Inhaltsstoffe. Während bei N-Gehalten mit dem vorliegenden Probenmaterial auch noch mit FD eine gute Vorhersagegüte erreicht werden kann, ist für Asche- und NDF-Gehalte hier ein laborspektrometrisches Verfahren zu empfehlen.

Literatur

- Chang, C.W., Laird, D.A., Mausbach, M.J., Hurburgh Jr., C.R. 2001: Nearinfrared reflectance spectroscopy - principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 65:480-490.
- Terhoeven-Urselmanns, T., Bruns, C., Schmilewski, G., Ludwig, B. 2007: Quality assessment of growing media with near-infrared spectroscopy: chemical characteristics and plant assays. *European Journal of Horticultural Science* 73(1):28-36.

Ertragsbildung und N-Bedarf von GPS-Getreide an einem Lehmstandort Schleswig-Holsteins

Achim Seidel, Andreas Pacholski, Klaus Sieling und Henning Kage

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

Einleitung

Der Anbau von Feldfrüchten zur Erzeugung von Biogasgärs substraten hat in den letzten Jahren bedeutend zugenommen. So erreichte die Anbaufläche im Jahr 2010 in Deutschland einen Umfang von 650.000 ha (FNR 2010). Mais ist bisher die bedeutendste Kulturpflanze zur Vergärung in deutschen Biogasanlagen, mit einem Massenanteil von 48 % des Gärsubstrates aus Energiepflanzen. Als Alternative dazu sollte der Anbau von Wintergetreide zur GPS-Nutzung unter norddeutschen Verhältnissen untersucht werden, da dieses auch beträchtliches Ertragspotential in Schleswig-Holstein aufweist, aber bisher lediglich mit einem Massenanteil von 6 % in Biogasanlagen eingesetzt wird (Weiland 2009). Als Zielgröße sollte ein möglichst hoher Biomasseertrag erreicht werden.

Material und Methoden

Um die Ertragsbildung und die optimale N-Versorgung für GPS-Getreide zu untersuchen, wurde auf dem Versuchsgut Hohenschulen der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel ein dreijähriger Feldversuch von 2008 bis 2010 durchgeführt. Hierbei handelt es sich um einen schweren Lehmstandort des östlichen Hügellandes mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 8,8 °C und einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 760 mm. Es wurden die Biomasse betonten Sorten „Mulan“ und „Winnetou“ für Winterweizen, „Inpetto“ und „Amato“ für Wintertriticale und „Balistic“ (nur 2008), „Palazzo“ (2009 und 2010) und „Amato“ für Winterroggen verwendet. Die N-Düngung wurde in Stufen von 0, 80, 160 und 240 kg N ha⁻¹ (KAS) vorgenommen. Die Varianten wurden vierfach wiederholt.

Destruktive Biomassebeprobungen fanden zu den in der Praxis relevanten Erntezeitpunkten zum Ende des Ährenschiebens (EC 59), Mitte der Milchreife (EC 75) und zur Teigreife (EC 85) statt. Die Pflanzen wurden fraktioniert in Blatt, Stängel und Ähren. Die Oberflächen der drei Fraktionen wurden mit einem Blattflächenscanner (LI-COR, Nebraska, USA) bestimmt. Nicht-destruktiv wurde die Blattfläche mit einem LAI 2000 (LI-COR, Nebraska, USA) gemessen. Um Unterschiede bei den Erträgen erklären zu können, wurden Extinktionskoeffizienten und Lichtnutzungseffizienzen (LUE) berechnet. Bodenproben zur N_{min}-Untersuchung wurden im Frühjahr, nach der Ernte und vor der Saat durchgeführt. Zur Ermittlung von ökonomisch optimalen N-Düngungshöhen wurde ein Preis von 0,70 € (kg N)⁻¹ und ein Substratpreis von 90 € (t TS)⁻¹ angenommen. Aus einer quadratischen Gleichung der Form $Y = a + bx + cx^2$ wurde der maximale N-kostenfreie Erlös ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Zur Teigreife wurden bei einer Düngung mit 160 kg N ha⁻¹ folgende Erträge ermittelt: Im Jahr 2008 wurden für Roggen, Triticale und Weizen 23,8 t ha⁻¹, 23,1 t ha⁻¹ und 23,1 t ha⁻¹ gemessen. Im Jahr 2009 wurden 20,0 t ha⁻¹, 21,6 t ha⁻¹ und 17,8 t ha⁻¹ ermittelt und im letzten Versuchsjahr 21,6 t ha⁻¹, 21,5 t ha⁻¹ und 17,5 t ha⁻¹. Dabei

überwogen Sortenunterschiede die Unterschiede zwischen den Kulturen. Die optimalen N-Düngungshöhen unterschieden sich abhängig von Kulturart und Versuchsjahr. Für Roggen, Triticale und Weizen entsprach das im Jahr 2008 jeweils 158, 166 und 166 kg N ha⁻¹. Im Jahr 2009 lag die optimale N-Düngungshöhe bei 201, 213 und 234 kg N ha⁻¹. In 2010 lagen die Optima bei 165, 174 und 181 kg N ha⁻¹.

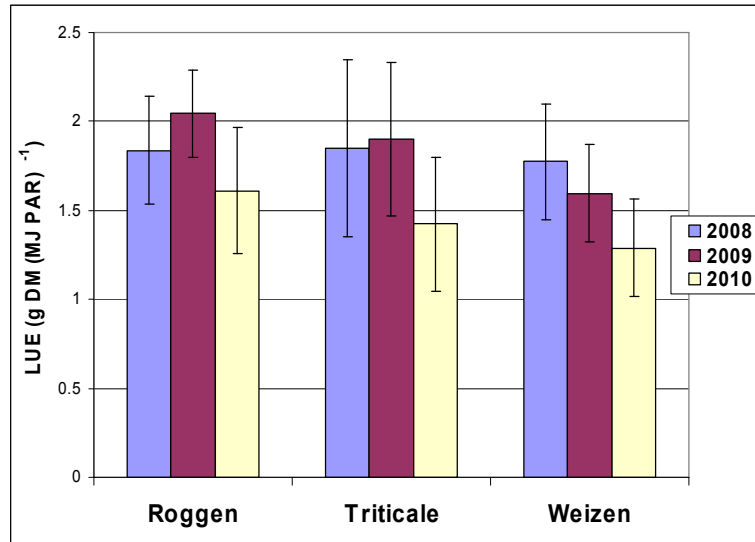


Abb. 1: Lichtnutzungseffizienz zur Teigreife (EC 85)

Aus den LAI 2000-Messdaten ergab sich ein Extinktionskoeffizient für Roggen und Triticale von 0,73 und für Weizen von 0,70. Dabei bestehen für die LUE signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen und den Jahren. Insgesamt sind die hier ermittelten Lichtnutzungseffizienzen (siehe Abb. 1) geringer, als in der Literatur angegeben wird. Eine mögliche Begründung ist Stress für die Pflanzen durch Umwelteinflüsse wie Trockenheit sowie eine Überschätzung der Strahlungsaufnahme über Winter und durch hohe Blattflächenwerte.

Im Feldversuch stellte Triticale, gefolgt von Roggen die ertragsstärkste Kultur zur Produktion von Biomasse dar. Entsprechende Erträge konnte auch der Roggen realisieren, wobei dieser die geringeren N-Optima aufwies und eine um etwa zwei Wochen frühere Ernte ermöglichte. Weizen erreichte z.T. signifikant geringere Erträge, wobei Weizen eine höhere N-Düngung als Roggen und Triticale benötigte, um maximale Erträge zu realisieren.

Für den praktischen Anbau als Gärsubstrat könnten sich sowohl Roggen als auch Triticale eignen, da diese für den Standort Hohenschulen hohe TM-Erträge von über 20 t TM ha⁻¹ erbracht haben, die über den im selben Jahr in anderen Parzellenversuchen am selben Standort ermittelten TM-Erträgen für Mais lagen. Zur Ermittlung von realistischen Praxiserträgen sollten diese Parzellenerträge mit Handernte um ca. 10-15 % reduziert werden.

Literatur

Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) 2010: Entwicklung des Anbaus von Rohstoffpflanzen. www.fnr.de (28.06.2011).

Weiland, P. 2009: Plenarvortrag in Gülzower Fachgespräche. Tagungsband „Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven“, Band 32:15-25.

Biomasseerträge und Biogasausbeute von Sorghum (*Sorghum* sp.) – Ergebnisse aus Sortenversuchen

Michael Gaudchau und Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Gießen. E-Mail: Michael.Gaudchau@agrار.uni-giessen.de

Einleitung

Für die Produktion von Biogas kommt potenziell auch Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Frage. Unter den Bedingungen in Deutschland scheinen vor allem die Hybriden *Sorghum bicolor* \times *bicolor* als auch *S. bicolor* \times *sudanense* und *S. bicolor* \times *saccharatum* eine potenzielle Eignung zu besitzen. Als wichtigste Kriterien für die Biogasproduktion werden der TS-Gehalt, die TM-Erträge und die Vergärbarkeit der Biomasse (Biogas- bzw. Methanausbeute) angesehen. Das Ziel besteht darin, hohe TM-Erträge bei einem TS-Gehalt von mindestens 28 % zu erreichen. Darüber hinaus sollte beim Anbau von Sorghum, dessen Aussaat auf den meisten Standorten erst Anfang Juni möglich ist, die physiologische Reife der Pflanzen gegen Ende September abgeschlossen sein. Zur Klärung der Eignung von Sorghum für die Biogasproduktion wurde daher an zwei klimatisch unterschiedlichen Standorten in Hessen ein Feldversuch durchgeführt, in dem ein Sortiment mit unterschiedlichen Sorghum-Hybriden bzw. -Sorten hinsichtlich TM-Ertrag und Biogasausbeute evaluiert wurde.

Material und Methoden

Es wurden zwei Feldversuche (einfaktorielle Blockanlagen, 19 Prüfglieder, 4 Wiederholungen) an den Standorten Groß-Gerau (IS, AZ 25, 600 mm, 10,8 °C, mit Beregnung) und Gießen (sL, AZ 65, 650 mm, 9,4 °C, ohne Beregnung) durchgeführt. Geprüft wurden 11 Sorten des Typs *S. bicolor* \times *bicolor*, 5 Sorten des Typs *S. bicolor* \times *sudanense*, 2 Sorten des Typs *S. bicolor* \times *saccharatum* sowie 1 Maissorte. Während der Vegetationsperiode und vor der Ernte erfolgten Messungen der Pflanzenlänge und Bonituren zur Standfestigkeit. Die Ernte erfolgte mit einem Parzellen-Häcksler. Zum Zeitpunkt der Ernte wurden Pflanzenproben zur TS-Bestimmung und zur Analyse der Biogasbildung entnommen. Die Untersuchung der Biogasbildung erfolgte mit vorher eingefrorenen Proben in einem Laborfermenter (Gülle, mesophil, Volumen: 20 l, Fermentationsdauer: 21 Tage).

Ergebnisse und Diskussion

Die größte Pflanzenlänge (≥ 350 cm) zur Ernte, gemessen als Bestandeshöhe, erreichten am Standort Groß-Gerau die Sorten Wotan, Zerberus, Maja, Goliath, Freya und Bulldozer. Am Standort Gießen waren die Pflanzenlängen zur Ernte etwas geringer ausgeprägt. Die größten Pflanzenlängen (≥ 350 cm) wurden von den Sorten Goliath, Herkules, Wotan und Bulldozer erreicht. Die TS-Gehalte der geprüften Sorghum-Sorten variierten in Gießen von minimal 17,2 % (Jumbo) bis maximal 29,4 % (Herkules). Sechs Sorten lagen in Gießen im TS-Gehalt bei < 20 %, während fünf Sorten einen TS-Gehalt von mind. 25 % erreichten (Lussi, Superdolce, Maja, GK 12-09 A, Freya). Bedingt durch eine höhere Wärmesumme während der Pflanzenentwicklung erreichte Sorghum am Standort Groß-Gerau etwas höhere TS-Gehalte mit > 30 % bei Lussi und > 25 % bei den Sorten Maja, Freya, Zerberus und GK 12-09

A. Die Maissorte Deco erreichte einen TS-Gehalt von 26,6 % (Standort Groß-Gerau) bzw. von 23,5 % (Standort Gießen).

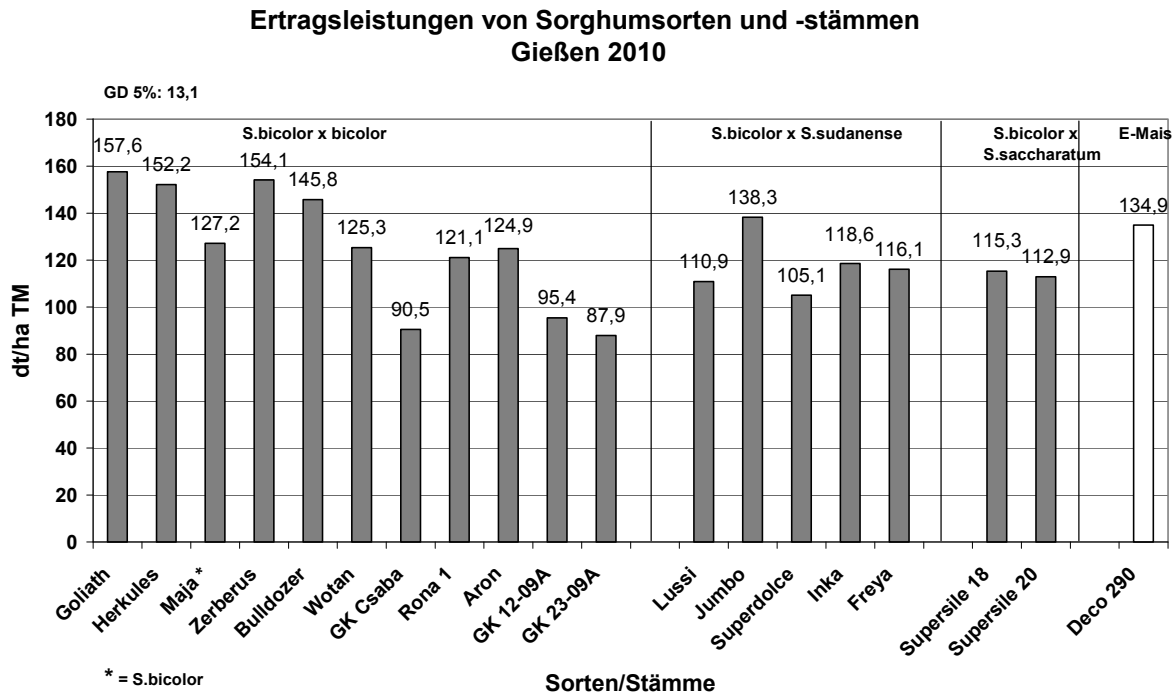


Abb. 1: TM-Erträge verschiedener Sorghum-Sortentypen, Gießen 2010

Im Jahr 2010 wurde bei einigen Sorten ein ausgeprägtes Lager beobachtet, das die Abreife und Ernte der Pflanzen erschwerte. Am stärksten waren die Lagererscheinungen am Standort Groß-Gerau bei den Sorten BMR 201MH (Boniturnote 8,5), Aron (8,2), Rona1 (7,2) und Herkules (6,2) ausgeprägt. Eine sehr gute Standfestigkeit hatten dagegen die Sorten Supersile 18, Supersile 20 und Lussi (alle Boniturnote 1), die mit der guten Standfestigkeit der Maissorte Deco (Boniturnote 1) vergleichbar waren. Die höchsten TM-Erträge von > 150 dt TM/ha erreichten am Standort Gießen die Sorghum-Sorten Goliath, Zerberus und Herkules (Abb. 1). Diese Sorten des Typs *S. bicolor x bicolor* waren allen anderen Sorten, inkl. *S. bicolor x sudanense* und *S. bicolor x saccharatum*, deutlich überlegen.

Die Biogasausbeute der in Gießen geprüften Sorten variierte von minimal 446 nL/kg TS (Supersile 18) bis maximal 669 nL/kg TS (Wotan). Mit den Maisproben (Sorte Deco) wurde eine Biogasausbeute von 553 nL/kg TS erzielt. Relativ hohe Biogasausbeuten von ≥ 570 nL/kg TS wurden mit den Sorten Wotan, Rona1, Jumbo, Goliath, Aron, GK Csaba, GK 23-09 A, Lussi und Inka erzielt.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass nur bei wenigen Sorten eine günstige Kombination eines hohen TM-Ertrags mit einer relativ hohen Biogasausbeute vorhanden ist, was vor allem auf die Sorte Goliath zutrifft. Auch mit Zerberus (154,1 dt TM/ha, 559 nL Biogas/kg TS) kann eine hohe Produktivität erreicht werden. Die Sorten des Typ *S. bicolor x sudanense* weisen gute Biogasausbeuten, jedoch vergleichsweise geringere TM-Erträge auf. Diese Typen sind in Hauptfruchtstellung gegenwärtig den besten Sorten des Typs *S. bicolor x bicolor* sowie dem Mais unterlegen.

Hochdurchsatzerfassung agronomisch wichtiger Parameter von Maissorten im vegetativen Stadium

Loïc Winterhalter¹, Bodo Mistele¹, Sansern Jampatong² und Urs Schmidhalter¹

¹Department of Plant Sciences, Chair of Plant Nutrition, Technische Universität München, Freising, Deutschland; ²Kasetsart University, National Corn & Sorghum Research Center, Farm Suwan, Pakchong 30320, Nakhon Ratchasima, Thailand. E-Mail: winterhalter@wzw.tum.de

Einleitung

Zukünftige Klimaerwärmungen und Wasserknappheit erfordern angepasste, trockenstressresistentere Maispflanzen und einen optimierten Einsatz knapper Wasserressourcen. Zielsetzung des Forschungsvorhabens ist die nicht-destruktive Erfassung der Biomasse und der Stickstoffaufnahme sowie der Bestandeswassermenge und -temperatur tropischer Maissorten unter verschiedenen Trockenstressszenarien. Bessere Kenntnisse auf diesem Gebiet können zur Optimierung von Managemententscheidungen beitragen, beispielsweise in der standortangepassten Bewässerung und Düngung, aber auch in der Selektion trockenstressresistenter Sorten eingesetzt werden.

Material und Methoden

Die Versuche wurden während der Trockenzeit auf der Versuchsstation des National Corn and Sorghum Research Center in Thailand durchgeführt. Regelmäßige Sensormessungen wurden während der Vegetationsperiode auf dem Feld durchgeführt sowie begleitende Biomasseernten zur Erfassung der Bestandeswassermenge, der Biomasse und der Stickstoffaufnahme. Die nicht-destruktiv erfassten spektralen Informationen wurden mit den analytischen Untersuchungsergebnissen der destruktiven Messungen korreliert. Spektralsensorische Experimente wurden ebenfalls auf der Versuchsstation Dürnast der Technischen Universität München durchgeführt, in denen die Blattflächenverteilung, die Biomasse und die Stickstoffaufnahme der einzelnen Blattetagen vertikal entlang der Maispflanzen ermittelt wurden.

Ergebnisse und Diskussion

Ausgewählte Spektralindizes sowie die IR-Temperatur wiesen eine hohe Korrelation mit der Bestandeswassermenge tropischer Maishybriden auf und es konnte gleichzeitig die Biomasse und die Stickstoffaufnahme durch Spektralindizes verlässlich erfasst werden, wobei Kontroll- und Trockenstressvarianten differenziert werden konnten. Die optische Sensortechnologie, die auf einem Trägerfahrzeug angebracht war und mit GPS-Daten kombiniert wurde, differenzierte deutlich verschiedene Stresslevels und ermöglichte eine Hochdurchsatzerfassung der Bestandeswassermenge und -temperatur sowie der Biomasse und der N-Aufnahme verschiedener Maishybriden. Die tropischen Maishybriden konnten sowohl mittels nicht-destruktiven Sensormessungen als auch basierend auf destruktiven Erhebungen konsistent in drei Gruppen eingeteilt werden (über-, unter- und durchschnittliche Bestandeswassermenge) und besaßen ein konsistentes Ranking in der Biomasse und in der Stickstoffaufnahme bei den Kontroll- und Trockenstressvarianten. Die Versuche auf der Versuchsstation Dürnast zeigten, dass die neu entwickelte Sensorik die Biomasse und die Stickstoffaufnahme verschiedener Maissorten bis zu den untersten Blattetagen erfassen konnte, ebenfalls bei

unterschiedlichen Düngungsstufen. Die schräge und vierfache Anordnung der Sensorgeometrie ermöglichte es, einen großen „Fußabdruck“ der einzelnen Parzellen zu erhalten und gleichzeitig den Bodeneinfluss auf die Sensormessungen zu reduzieren. Für die Blattflächenverteilung, die Biomasse und die Stickstoffaufnahme der Blätter entlang der Maispflanzen wurde eine vertikale, glockenförmige Verteilung bei den verschiedenen Sorten und Düngungsstufen ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, phänotypische und physiologische Bestandesmerkmale von Maissorten im Feldversuchswesen mit Hochdurchsatzsystemen zu erfassen.

Literatur

- Winterhalter, L., Mistele, B., Jampatong, S., Schmidhalter, U. 2011: High throughput sensing of aerial biomass and above ground nitrogen uptake in the vegetative stage of well-watered and drought stressed tropical maize hybrids. *Crop Science* 51:479-489.
- Winterhalter, L., Mistele, B., Jampatong, S., Schmidhalter, U. 2011: High throughput phenotyping of canopy water mass and canopy temperature in well-watered and drought stressed tropical maize hybrids in the vegetative stage. *European Journal of Agronomy* 35:22-32.
- Winterhalter, L., Mistele, B., Schmidhalter, U. 2011: Vertical footprint of reflectance measurements in maize canopies detecting nitrogen uptake for precision phenotyping. (submitted in July 2011).

Einfluss der Einzelpflanzengröße auf die Winterhärte von Winterrüben (*Beta vulgaris*)

Eric Reinsdorf und Heinz-Josef Koch

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

Einleitung

Die Zuckerrübe ist unter mitteleuropäischen Bedingungen eine ideale Hochleistungspflanze, die einen wesentlichen Beitrag zum steigenden Bedarf an Bioenergie leisten kann (Hoffmann et al., 2008).

Der Anbau von Zuckerrüben mit Aussaat im Sommer und Überwinterung der Kultur im Feld (Winterrübe) könnte einen Beitrag zur möglichst vollständigen Nutzung des standortspezifischen Angebots der Wachstumsfaktoren Einstrahlung und Wasser leisten und die Erzielung hoher, sehr früh in der Vegetationsperiode erntefähiger Biomasseerträge mit günstigen Vergärungseigenschaften in der Biogasanlage ermöglichen (Kluge-Severin und Hoffmann, 2009). Eine ausreichend hohe Winterhärte (insbes. Frosthärte) unter deutschen Klimabedingungen ist die wesentliche Voraussetzung für den Winterrübenanbau.

Erfahrungen aus dem Vermehrungsanbau mit Stecklingen deuten darauf hin, dass die Winterhärte maßgeblich von der Größe des Rübenkörpers abhängt. Die höchste Frosttoleranz weisen Zuckerrüben mit einem maximalen Rübendurchmesser von etwa 2 cm auf (Kockelmann und Meyer, 2006). Ziel dieses BMBF-geförderten Projektes ist die Untersuchung des Einflusses der Einzelpflanzengröße auf die Winterhärte der Zuckerrübe.

Material und Methoden

In den Jahren 2009/2010 und 2010/2011 wurde in Feldversuchen an den Standorten Kiel (Schleswig-Holstein, maritimes Klima) und Göttingen (Niedersachsen, Kontinentalklima) mittels unterschiedlichem Anbaumanagement (Aussaattermin: April, Juni, August; Bestandesdichte: 103, 148, 246, 370 tausend Pflanzen ha⁻¹) eine hohe Variabilität der Einzelpflanzengröße erzeugt und deren Einfluss auf die Winterhärte untersucht. Die Versuche wurden als Spaltanlage mit 4 Wiederholungen angelegt. Ernten wurden vor Winter (Nov./Dez.) sowie im April und Mai/Juni durchgeführt. Es erfolgte die Bestimmung der Überlebensraten im März/April sowie die Charakterisierung von Spross und Rübenkörper (Scheitelhöhe, Maximaldurchmesser) zu jedem Erntetermin. Des Weiteren wurde im Zeitraum Oktober bis März die Temperatur über dem Bestand sowie im Rübenkopf in jeweils einer Parzelle der Aussaattermine April, Juni und August in der Bestandesdichte 246 tausend Pflanzen ha⁻¹ erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Während am Standort Göttingen im Versuchsjahr 2009/2010 aufgrund des frostbedingten Totalausfalls der Versuchspflanzen keine Differenzierung ermittelt werden konnte, war am Standort Kiel eine Zunahme der Überlebensraten (ÜR) von Zuckerrüben mit abnehmendem max. Rübendurchmesser - hervorgerufen durch spätere Aussaat sowie zunehmende Bestandesdichte - zu beobachten. Dies bestätigte sich im Versuchsjahr 2010/2011 an beiden Standorten. Es stellte sich heraus, dass August-gesäte Zuckerrüben mit mittleren max. Rübendurchmessern bis

~ 3 cm die höchsten Überlebensraten (~ 80 bis > 90 %) aufwiesen und Zuckerrüben mit größeren Rübindurchmessern unzureichend winterhart waren (ÜR 6-43 %).

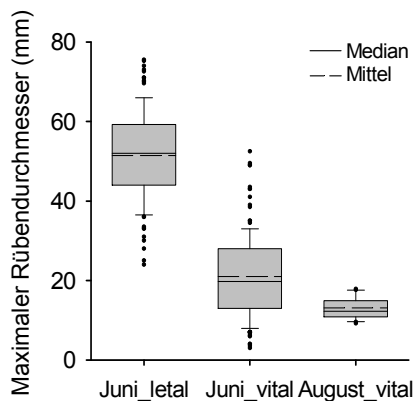


Abb. 1: Boxplot maximaler Rübindurchmesser letaler und vitaler Zuckerrüben gesät im Juni und August 2010 am Versuchsstandort Kiel.

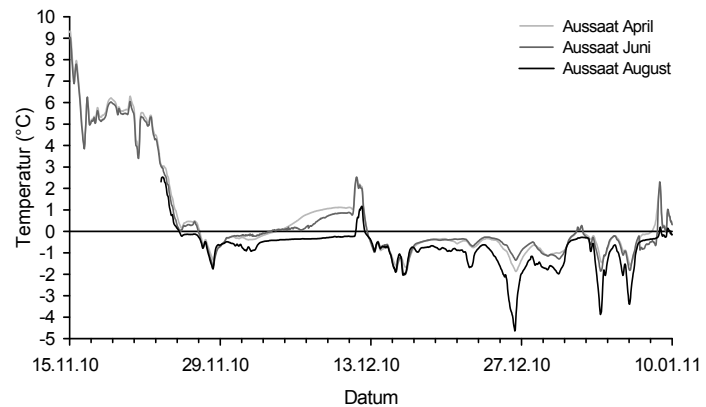


Abb. 2: Temperatur im Rübenkopf bei unterschiedlichem Aussaattermin gemessen in der Bestandesdichte 246 tsd. Pfl. ha⁻¹ im Winter 2010/2011 am Versuchsstandort Kiel.

Während sämtliche untersuchten Zuckerrüben mit max. Rübindurchmessern von 1,5 bis ~ 2 cm den Winter überlebten, waren im Bereich 2 bis 5 cm max. Rübindurchmesser sowohl vitale als auch letale Zuckerrüben vorhanden (Abb. 1). Dies deutet darauf hin, dass in diesem Größenbereich die Frosthärte deutlich abnimmt und Rüben mit max. Durchmessern > 5 cm stark frostanfällig sind.

Neben geringen Rübindurchmessern zeichneten sich die im August gedrillten Zuckerrüben im Vergleich zu früher gesäten Zuckerrüben durch besonders niedrige Scheitelhöhen von etwa 1,5 bis 3 cm aus, was die hohen Überlebensraten jedoch nicht erklären konnte. So stellte sich bei den Messungen der Temperaturen im Rübenkopf heraus, dass die August-gesäten Zuckerrüben ein Absinken der Temperatur des pflanzlichen Gewebes auf bis < -4,5 °C tolerierten, während die im April und Juni gedrillten Zuckerrüben ein weniger starkes Absinken der Temperatur im Rübenkopf auf -1,5 bis knapp -2 °C zu einem Großteil nicht überlebten (Abb. 2).

Insgesamt bestätigten die Feldversuche das Vorhandensein einer Abhängigkeit der Winterhärte vom max. Rübindurchmesser. Dabei sind Zuckerrüben mit kleinen Durchmessern offenbar nicht durch einen flacheren Sitz im Boden (niedrige Scheitelhöhe) gegen ein zu tiefes Absinken der Temperatur des Pflanzengewebes geschützt, sondern scheinen dieses im Gegensatz zu Zuckerrüben mit zu großem Durchmesser zu tolerieren. In einem weiteren Versuchsjahr 2011/2012 sowie weiteren Arbeiten der Abteilung Physiologie des IfZ wird versucht, die Mechanismen der Winterhärte von Zuckerrüben zu erfassen.

Literatur

- Hoffmann, C., B. Märländer, J.-M. Greef, F. Höppner, L. Hüther 2008: Bioenergie aus Zuckerrüben – Schosser geben Gas! Zuckerrübe 57(6):320-323.
 Kluge-Severin S., C. Hoffmann 2009: Bessere Lichtnutzung durch Winterrüben! Zuckerrübe 58:79-81.
 Kockelmann, A., U. Meyer 2006: Seed production and quality. In: Sugar beet. Draycott, A.P. (ed.) Oxford, UK, Blackwell Publishing, 89-113.

Trockenmasseerträge und Biogasausbeute von Sommerzwischenfrüchten der *Brassicaceae*

Bettina Leschhorn und Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Gießen. E-Mail: Bettina.Leschhorn@agrar.uni-giessen.de

Einleitung

Glukosinolate finden sich u. a. in Zwischenfrüchten der *Brassicaceae*. In Abhängigkeit von der Pflanzenart weisen sie in der Sprossmasse eine unterschiedliche Konzentration und Zusammensetzung auf. Werden Zellen dieser Pflanzen zerstört, gelangt das Enzym Myrosinase in Kontakt zu den Glukosinolaten und spaltet diese in Abhängigkeit vom pH-Wert in Nitrile und Isothiocyanate (ITC) (Fenwick und Heaney, 1983). ITC-Verbindungen werden zum Teil als antimikrobiell bewertet, weshalb ein inhibierender Effekt auf die Methanogenese nicht ausgeschlossen werden kann. Das Ziel der Untersuchungen bestand deshalb darin, die TM-Erträge und Biogasausbeuten in der Praxis häufig genutzter Sommerzwischenfrüchte zu evaluieren.

Material und Methoden

In den Jahren 2009 und 2010 wurden am Standort Groß-Gerau (SI, AZ 20-25) zwei Feldversuche mit den Zwischenfruchtarten Sommerraps (SR), Winterraps (WR), Winterrübsen (WiRü), Ölrettich (Ölr), Weißer Senf (WS), Sareptasenf (SS), Chinakohlrübsen (Chr) und Wasserrübe (WaRü) à 2 Sorten in Kombination mit zwei Aussatterminen bzw. mit zwei Düngungsstufen (40 kg bzw. 80 kg N) in vierfacher Wiederholung durchgeführt (64 Prüfglieder). Geerntet wurde nach 11 Wochen. Von jeder Parzelle (12,5 m²) wurden Proben der Sprosssteile bzw. der gesamten Pflanze (Wasserrübe) entnommen. Die Proben wurden gehäckselt und bei -20 °C gelagert. In einem Batchversuch mit Laborfermentern (16 kg Rindergülle) wurden die Pflanzenproben (300 g FM je Gefäß) als Koferment geprüft. Die organische Trockenmasse (oTM) der Proben variierte von 7,3-16,0 %. Zusätzlich wurden die Gemische (50:50) Mais + Ölrettich (cv. Bento) sowie Mais + Winterraps (cv. Molino) mit vier Wiederholungen und die Kontrolle 100 % Mais (40,7 % oTM) mit zwei Wiederholungen sowie 100 % Gülle mit vier Wiederholungen geprüft. Die Behälter standen im Wasserbad bei 35 °C und wurden alle 15 min. automatisch gerührt. Gemessen wurde die gesamte Biogasbildung in Liter mit einem Gasometer sowie der Methan- und der Schwefelwasserstoffgehalt mit den Analysegeräten GS IRM 100 bzw. GS 2900 M nach 1, 3, 5, 8 und 14 Tagen ab Versuchsbeginn. Verrechnet wurden die Daten mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse. Zudem wurde die Grenzdifferenz bei $\alpha = 5\%$ berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Zwischenfrüchte waren durch TM-Gehalte gekennzeichnet, die im Jahr 2009 in der Spanne von 9,1 % (Ölr) bis 21,9 % (WS) und im Jahr 2010 von 10,3 % (WaRü) bis 21,5 % (WS) variierten. Durch hohe Frischmasseerträge erreichte die Wasserrübe trotz des geringen TS-Gehaltes von 9,9-12,4 % (2009) bzw. 10,2-13,3 % (2010) die höchsten TM-Erträge der beiden Feldversuche von bis zu 54,5 dt TM/ha im Jahr 2009 und 34,6 dt TM/ha im Jahr 2010. Sowohl bezüglich des TS-Gehaltes als auch bezüglich des TM-Ertrages bestanden zwischen den Sorten in allen Varianten

signifikante Unterschiede. Die frühe Aussaat bewirkte im Jahr 2009 signifikant höhere TM-Erträge als die spätere Aussaat. Die Interaktion zwischen Aussattermin und N-Düngung war in beiden Jahren hochsignifikant, während zwischen den Faktoren Sorte und Aussattermin nur im Jahr 2010 eine signifikante Wechselwirkung bestand. Zwischen den Prüffaktoren Sorte und N-Düngung konnte dagegen keine Wechselwirkung beobachtet werden.

Im Batchversuch wurden Biogaserträge von minimal 168 L_n / kg oTM (Weißer Senf, cv. Tango) bis maximal 1067 L_n/kg oTM (Ölrettich, cv. Bento) gemessen. Mit 738 L_n/kg oTM produzierte die Kontrollvariante mit 100 % Mais eine für diesen Versuch nur mittelmäßige Ausbeute. Ebenso konnten mit den Mischungen Mais + Winterraps sowie Mais + Ölrettich nur mittlere Biogaserträge erzielt werden. Den höchsten Methananteil erreichten die beiden Wasserrübensorten Civasto und Agressa mit 57,9 Vol.-% bzw. 58,3 Vol.-%, gefolgt vom Mais mit 57,4 Vol.-% und den Mais-Mischungen mit 57,1 Vol.-% (Ölrettich cv. Bento + Mais) bzw. 56,2 Vol.-% (Winterraps cv. Molino + Mais). Methangehalte von über 50 Vol.-% CH₄ wurden außerdem mit Ölrettich, Sareptasenf und Chinakohlrüben erzielt. Die geringsten Methangehalte von 39,8 Vol.-% wurden beim Weißem Senf (cv. Sirtaki) gemessen. Der Schwefelwasserstoffgehalt (H₂S) erreichte zu keinem Zeitpunkt der durchgeführten Messungen einen für das System gefährlichen Grenzwert (0,5 Vol.-%). Erwartungsgemäß wiesen die Maisvarianten die geringste H₂S-Konzentration auf (z. B.: Ölrettich cv. Bento + Mais = 0,0161 Vol.-%).

Aus den durchgeführten Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass auch Sommerzwischenfrüchte der *Brassicaceae* prinzipiell als Koferment in Biogasanlagen verwendet werden können. Mit der Biomasse dieser Pflanzen können zum Teil ähnlich gute Werte erreicht werden wie mit Mais. Die Biogasausbeuten bzw. -erträge sind jedoch von der Pflanzenart und der Sorte abhängig. Das bei *Brassicaceae* freigesetzte Gas H₂S und die von diesen Pflanzen gebildeten Spaltprodukte der Glukosinolate sollten jedoch bei der Dosierung von *Brassicaceae* in Biogasanlagen dennoch berücksichtigt werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei höherer Dosierung von diesen Substraten negative Effekte auf die Biogasbildung ausgehen. Befunde, die diese These unterstützen, wurden in einem Modellversuch mit der methanogenen Spezies *Methanosarcina barkeri* (Reich *Archaeae*) gewonnen (Richter 2010). So wurden unter Laborbedingungen deutliche Hemmeffekte durch Applikation von einzelnen ITC beobachtet. Möglicherweise wird dieser Hemmeffekt in einer Biogasanlage in den der Methanogenese vorangehenden Prozessen vermindert. Zudem findet eine Verdünnung durch den hohen Wassergehalt der Proben statt. Weitere Untersuchungen sind daher erforderlich, um diese Zusammenhänge aufzuklären.

Literatur

- Fenwick G.R., R.K. Heaney 1983: Glucosinolates and their Breakdown Products in Cruciferous Crops, Foods and Feedingstuffs. *Food Chemistry* 11:249-271.
- Richter C. 2010: Einfluss von Isothiocyanaten (ITC) auf die Methanbildung von *Methanosarcina barkeri*. Masterarbeit Justus-Liebig-Universität Gießen.

Anpassung der Pflanzenmorphologie in Beständen

Katrin Kahlen, Dirk Wiechers und Hartmut Stützel

Institut für Biologische Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover. E-Mail: kahlen@gem.uni-hannover.de

Einleitung

Pflanzen verfügen über eine Vielzahl von Mechanismen, um sich an lokale Umweltbedingungen anpassen zu können. Moderne Produktionssysteme sind oftmals von einer relativ hohen Pflanzendichte und einer heterogenen Verteilung der Pflanzen in Reihen geprägt. Diese induzieren zusätzliche morphologische Anpassungsreaktionen auf der Ebene der individuellen Organe, wie zum Beispiel eine verstärkte Streckung der Internodien und auch eine Blattbewegung aus dem Schatten heraus ins Licht. Die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der funktionell-strukturellen Modellierung ermöglichen es, Interaktionen zwischen Morphologie und Physiologie auf der Ebene des Bestandes besser verstehen zu können. Das Ziel dieses Beitrags war es daher, basierend auf funktionell-strukturellen Modellen Anpassungen der Pflanzenmorphologie in Beständen zu analysieren und zu diskutieren.

Material und Methoden

Es wurden drei Versuche mit Gurkenpflanzen (*Cucumis sativus* L. cv. Aramon) in den Gewächshäusern des Instituts für Biologische Produktionssysteme der Leibniz Universität Hannover durchgeführt. Alle Versuche waren zweifaktoriell mit drei Wiederholungen. Die Faktoren waren Pflanzdichte (1 und 2 Pflanzen m⁻²) und Verteilung der Pflanzen im Raum (Reihenbestand und isometrischer Bestand). Die Pflanzen wurden senkrecht aufgeleitet bis zu einer Höhe von 2 m. In den sechs Wochen nach Pflanzung wurde die dreidimensionale Pflanzenarchitektur von je drei Pflanzen pro Parzelle mittels Digitalisierung wöchentlich erfasst. Es wurde ein dynamisches Temperatursummen basiertes Modell, das die Pflanzenarchitektur ohne Konkurrenzinflüsse durch Nachbarpflanzen realistisch darstellt, mit einem Lichtmodell kombiniert. Das gekoppelte Modell bestimmt Lichtquantität und -qualität auf Organebene. Darüber hinaus wurden lichtabhängige Wirkungsfunktionen für horizontale Blattbewegung und Internodienstreckung aufgestellt, parametrisiert und in das funktionell-strukturelle Modell integriert. Alternativ wurde der Einfluss der Lichtqualitätssignale auf die Internodienstreckung über die Blattflächen geschätzt. Simulationsläufe mit und ohne Anpassung der Morphologie wurden mit den in den Versuchen gemessenen globalen Strahlungsdaten und den etablierten Standraumformen als Modellinput durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Simulationen zeigten realistische Darstellungen der Blatorientierungen für alle Kombinationen der Bestandesdichte und Standraumform. Aus den alternativen Simulationen mit und ohne Anpassung der Pflanzenmorphologie ließ sich zudem ableiten, dass die Blattbewegung auch auf Bestandesebene zu einer Erhöhung der aufgenommenen Strahlung führt.

Das Lichtquantität-sensitive Submodell simulierte Trends für finale Internodienlängen entlang der Sprossachse, die mit den gemessenen Trends übereinstimmten. Allerdings wurden generell die Längen an den höheren Rängen unterschätzt. Die Schätzungen der Längen, die sowohl lokale Lichtquantität als auch Lichtqualität

berücksichtigten, wiesen keinen Bias mehr auf. Letzteres galt für unterschiedliche Lichtbedingungen und Bestandesarchitekturen. Nur die Berücksichtigung beider Lichtsignale erlaubt demnach eine präzise Schätzung der Internodienlängen (Kahlen und Stützel, 2011a).

Blattflächendaten können lokale Lichtqualitätsdaten bei der Schätzung von Internodienlängen ersetzen. Die Simulationsergebnisse lassen den Schluss zu, dass in einem vertikalen Bestand, in dem weitere Stressfaktoren auftreten, die obersten zehn Blätter die entscheidenden Signalquellen sind (Kahlen und Stützel, 2011b).

Ein von Wiechers et al. (2011) weiterentwickeltes funktionell-strukturelles Modell für Wachstum und Entwicklung von Gurkenpflanzen kombiniert ein Modell für die Pflanzenarchitektur, ein biochemisches Modell für Photosynthese und ein Modell für die Partitionierung der Assimilate. Dabei wird das Einzelfruchtwachstum modelliert und es werden Dominanzeffekte und Fruchtabwurf berücksichtigt. Die finalen Internodienlängen werden hier als Inputparameter eingelesen. Simulationen auf der Ebene des Bestandes für unterschiedliche Pflanzdichten zeigen, dass dieses Modell sowohl Gesamttrockenmassen als auch Fruchtwachstum in Bezug auf Dauer und Abwurfraten akkurat schätzen kann. Daher eignet sich dieses Modell, wenn es mit Submodellen für die morphologischen Anpassungsreaktionen des generativen Systems gekoppelt ist, um in einem nächsten Schritt den Einfluss der morphologischen Anpassungsreaktionen auf den Bestand in Bezug auf die Produktivität, insbesondere den Ertrag systematisch zu analysieren.

Literatur

- Kahlen K., Stützel H. 2011a: Modelling photo-modulated internode elongation in growing glasshouse cucumber canopies. *New Phytologist* 190:697-708.
- Kahlen K., Stützel H. 2011b: Simplification of a light-based model for estimating final internode length in greenhouse cucumber canopies. *Annals of Botany* doi:10.1093/aob/mcr130.
- Wiechers D., Kahlen K., Stützel H. 2011: Modelling individual fruit growth in cucumber under different canopy architectures. *Annals of Botany* doi:10.1093/aob/mcr150.

Modellierung von Pflanzendynamik mit dem Pflanzenmodul PLUS im Modell CANDY

Janine Krüger¹, Uwe Franko¹, Ulrike Werban², Marco Pohle², Johann Fank³ und Ernest Stetzi³

¹Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Halle; ²Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig; ³Joanneun Research, Graz, Österreich. E-mail: janine.krueger@ufz.de

Einleitung

Die Modellierung von Bodenfunktionen für das Feldexperiment Wagna (Österreich; 914 mm; 8,8 °C, lehmiger Sand) stellt eine Herausforderung dar, da die Versuchsfäche durch einen sehr heterogenen Boden gekennzeichnet ist. D.h. die Horizontdicke des Oberbodens mit Feinboden (< 2 mm) und des sandigen Unterbodens mit Schottern variiert kleinräumig sehr stark und beeinflusst Transport- und Umsatzprozesse. Die Quantifizierung des Bodenwassers und der Biomasse wurde dem Modell CANDY PLUS (Franko et al. 1995, Krüger 2010) durchgeführt. Das Bodenprofil im Modell wird durch die folgenden Parameter für jeden Horizont realisiert: Tiefe, Substanz- u. Lagerungsdichte, Feldkapazität, PWP, Textur, ges. Leitfähigkeit. Mit Bodenkarten kann die kleinräumige Heterogenität nicht abgebildet werden. Die Anwendung von Georadar liefert einen Mehrwert für die Modellierung.

Material und Methoden

Mit der GPR-Methode wurde die Grenze zwischen dem Oberboden mit Feinmaterial und dem schotterreichen sandigen Unterboden detektiert (Abb. 1).

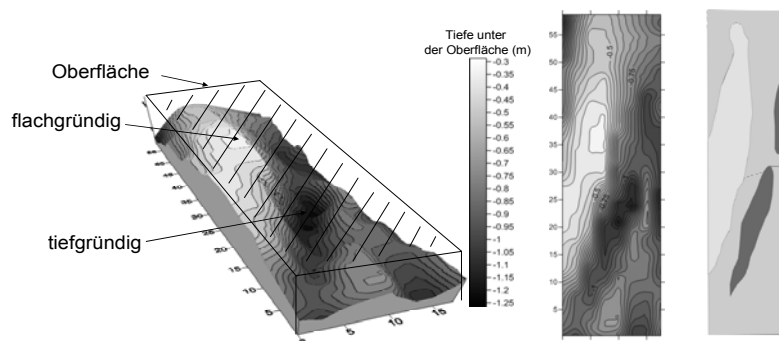


Abb. 1: Visualisierung der Grenze zwischen Ober- und Unterboden

Anhand der GPR-basierten Karten wurde 1) die Bodenparametrisierung der bestehenden Datenquellen für Modellanwendung angepasst, 2) Bereiche für Biomasseproben ermittelt sowie 3) die Bodenwasserdynamik und Biomasse modelliert, um den Einfluss auf letzteres zu testen.

Ergebnisse und Diskussion

Durch die Kombination aus leichten Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität und sehr flachgründigen Bereichen sind die Erträge von den Niederschlägen in der Vegetationsperiode abhängig (Fastl und Robier 2008). Trockene Jahre bewirken Wasserstress und die Reduktion der Pflanzenbiomasse. Im Jahr 2010 wurden mehrere Ernten auf den flach- und tiefgründigsten Bereichen vorgenommen, um die Biomasse von Mais zu bestimmen und um den maximalen Einfluss zwischen

Bodentiefe und Biomasseproduktion zu ermitteln. Für eine erste Annäherung der Bodenparametrisierung wurde eine dreistufige Tiefeneinteilung der Fläche (flach-, mittel- und tiefgründig) vorgenommen (Abb.1). Anhand der exakten Tiefen aus der GPR wurden die bereits vorhandenen boden-physikalischen Parameter angepasst (Tab.1). Daraus ergibt sich die „GPR angepasste Parametrisierung“. Die Simulation der oberirdischen Biomasse mit der „GPR-angepassten Parametrisierung“ zeigt eine gute Modellperformance. Der Einfluss der Bodentiefe auf die Pflanzenbiomasse kann durch das Modell CANDY PLUS wiedergegeben werden.

Tab. 1: Bodenparametrisierung

Parameterisierung	Gründigkeit	Bodentiefe (dm)	FKAP (Vol.%)	PWP (Vol.%)	Fläche (m ²)	
Original-parametrisierung		0 - 4	30,04	12,82	1022	
		4 - 8	29,81	11,40		
		8 - 11	35,41	19,23		
		11 - 20	2,10	1,55		
GPR angepasste Parametrisierung	flach	0 - 4	30,04	12,82	248 (24,20%)	
		4 - 20	2,10	1,55		
		0 - 4	30,04	12,82		652 (64,00%)
		4 - 7	29,81	11,40		
	7 - 20	2,10	1,55			
	tief	0 - 4	30,04	12,82	122 (11,80%)	
		4 - 8	29,81	11,40		
		8 - 11	35,41	19,23		
		11 - 20	2,10	1,55		

	Original-parametrisierung	GPR angepasste Parametrisierung		
		flach	mittel	tief
Fläche	100%	24,2%	64%	11,8%
Biomasse (kg ha ⁻¹)	20172,5	11892	18409	20172,5
Biomasse (kg ha ⁻¹)	20172,5	17040		

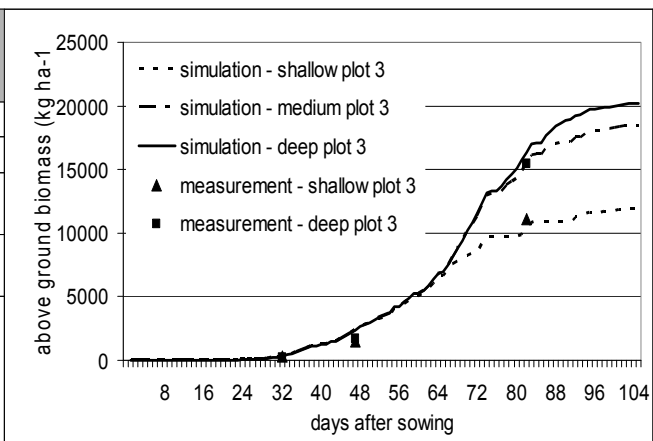


Abb. 2: Vergleich der Parametrisierungen; Simulation der oberirdischen Biomasse

Die ersten beiden Zwischenernten sind noch relativ gering und sehr vergleichbar. In diesem Zeitraum kann der Pflanzenwasserbedarf noch realisiert werden, auch auf flachgründigen Bereichen. Die Biomasse der dritten Ernte wird mit der „Original-parametrisierung“ jedoch um 3132,5 kg ha⁻¹ überschätzt. Diese Ungenauigkeit von mehr als 24,2 % ist nicht akzeptabel für verschiedenste Modellierungsaufgaben, besonders für kleinräumige Anwendung wie Precision farming. Der Ergebnisvergleich von beiden Parametrisierungen (Abb. 2) zeigt deutlich, dass durch die Verbindung von Georadar und Bodenfunktionsmodellierung eine Verbesserung erreicht wird.

Acknowledgement

iSOIL-Interactions between soil related sciences – Linking geophysics, soil science and digital soil mapping is a Collaborative Project (Grant Agreement number 211386) co-funded by the Research DG of the European Commission within the RTD activities of the FP7 Thematic Priority Environment; iSOIL is one member of the SOIL TECHNOLOGY CLUSTER of Research Projects funded by the EC.

Literatur

- Krüger, J. 2010: Modellierung von Pflanzendynamik mit dem Pflanzenmodul SIWAPFLAN im Modell CANDY. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 22:115-116.
- Franko, U., Oelschlagel, B., Schenk, S. 1995: Simulation of temperature-, water- and nitrogen dynamics using the model CANDY. Ecological Modelling 81:213-222.

Fastl, G., Robier, J. 2008: Der Großparzellenversuch Wagna und dessen Bewirtschaftung (1987 bis 2003). In: Fank, J., Lanthaler, C. (Hrsg.) Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen. Beiträge z. Hydrogeologie 46-50.

Evaluierung der Lichtverteilung in räumlich heterogenen Beständen

Dirk Wiechers, Katrin Kahlen und Hartmut Stützel

Institut für Biologische Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover. E-Mail: wiechers@gem.uni-hannover.de

Einleitung

Produktionssysteme für Gewächshausgurken (*Cucumis sativus* L.) sind durch eine starke räumliche Strukturierung des Bestandes geprägt. Dadurch kommt es zu einer räumlichen Inhomogenität der Lichtverteilung, was häufig suboptimal für eine hohe Produktivität ist. Für ein tiefergehendes quantitatives Verständnis des Einflusses des Lichtes auf die Produktivität ist es notwendig, die morphologischen und physiologischen Anpassungen der Pflanzen an ihre Umwelt zu berücksichtigen. Durch die Verwendung eines dreidimensionalen (3D) Strukturmodells der Pflanze und des umgebenden Bestandes in Kombination mit 3D-Lichtverteilungsmodellen wird es ermöglicht, die Lichtverteilung für einzelne Organe der Pflanze abzubilden.

Material und Methoden

Gewächshausgurken wurden in einem Reihenbestand mit 2 Pflanzen pro m² und einem isometrischen Bestand mit 1 Pflanze pro m² angebaut. Zur Erfassung der räumlichen Struktur der Pflanze unter Bestandesbedingungen wurden einzelne Pflanzen digitalisiert (Wiechers et al., 2011). Anschließend wurde die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) auf Einzelblattebene gemessen. Durch seitliche Schattierungen wurde es möglich, den Einfluss des Lichteinfalls aus unterschiedlichen Richtungen auf die Verteilung zu analysieren. Hierzu wurden die Messpflanze und ihre Nachbarpflanzen entweder an allen Seiten schattiert oder die Schattierung wurde in der Reihe, zwischen den Reihen oder an allen Seiten geöffnet. Um die Vergleichbarkeit der Messwerte zu ermöglichen, wurden die PAR-Messwerte normalisiert (nPAR). Mittels der Daten der Digitalisierung wurde ein statisches 3D-Modell der Pflanzenstruktur und des umgebenden Bestandes erstellt. Unter Berücksichtigung des Sonnenstandes zur PAR-Messung wurde mit CARIBU (Chelle und Andrieu, 1998), einem auf dem Radiositätsprinzip basierten Lichtmodell, die Lichtintensität auf Einzelblattebene für die unterschiedlichen Varianten simuliert. Für die Messungen und Simulationen wurde die Lichtextinktion über den Blattflächenindex (LAI) mittels einer exponentiellen Funktion $nPAR = I_0 \exp(-k LAI)$ abgebildet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Messungen und der Simulationen für beide Bestandesarchitekturen in den geschlossenen Varianten waren gekennzeichnet durch eine vereinfachte Lichtumgebung, bei der sich die Lichtextinktion durch die exponentielle Funktion präzise beschreiben ließ. In der in der Reihe offenen Variante im dichten Reihenbestand hatte das zusätzliche Licht, das durch das Öffnen der seitlichen Schattierung an die Messpflanze kam, wenig Einfluss auf den Gradienten. Die zusätzlichen Lichtanteile in der zwischen den Reihen offen Variante führten hingegen zu einer deutlichen Abflachung des Lichtgradienten und zu einer stärkeren Variabilität in den Messungen und Simulationen. Im isometrischen Bestand waren

ähnliche Abflachungen des Gradienten und Zunahmen der Abweichungen in den in der Reihe offenen und zwischen den Reihen offenen Varianten zu erkennen.

Dadurch war eine klare Unterscheidung der beiden Varianten, wie in dem dichten Reihenbestand, nicht möglich. In beiden Bestandesarchitekturen waren die offenen Varianten durch geringe Abnahmen des normalisierten PAR mit Zunahme des Blattflächenindex gekennzeichnet.

Die Abnahme der Extinktionskoeffizienten von den geschlossenen über die teilweise geöffneten Varianten zu den offenen Beständen lässt sich durch die Zunahme der seitlichen Einstrahlung erklären. In den offenen Varianten waren die Extinktionskoeffizienten vergleichbar mit Literaturwerten für Gewächshausgurken (Trouwborst et al., 2010).

Der Vergleich der Ergebnisse der Messungen mit den Simulationen zeigt, dass die Kombination aus einem 3D-Strukturmodell der Pflanze und einem 3D-Lichtmodell in der Lage war, charakteristische Unterschiede des PAR auf Blattebene in unterschiedlichen Lichtumgebungen zu simulieren. Damit ermöglicht es dieser Modellansatz, lichtabhängige physiologische und morphologische Reaktionen auf Blattebene zu integrieren, um Anpassungen zwischen Pflanze und Umwelt abzubilden.

Literatur

- Chelle, M., Andrieu, B. 1998: The nested radiosity model for the distribution of light within plant canopies. *Ecological Modelling* 111(1):75-91.
- Trouwborst G, Oosterkamp J, Hogewoning SW, Harbinson J, Van Ieperen W. 2010: The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy. *Physiologia Plantarum* 138:289-300.
- Wiechers, D., Kahlen, K., Stützel, H. 2011: Evaluation of a radiosity based light model for greenhouse cucumber. *Agricultural and Forest Meteorology* 151:906-915.

Application of closed-chamber measurements for screening canopy gas-exchange

Matthias Langensiepen¹, Moritz Kupisch¹, Anja Stadler¹, Mark van Wijk² and Frank Ewert¹

¹Crop Science Group, Institute of Crop Science and Resource Protection, Faculty of Agriculture, University of Bonn; ²Plant Production Systems Group, Wageningen University, Wageningen, Netherlands. E-Mail: mlang@uni-bonn.de

Introduction

Closed canopy chambers are still the only practical solution for rapid screening of gas-exchange in larger cropped areas with many sample points. Widely accepted measuring equipment is not available on the market and standard protocols missing. Chamber designs, measuring principles and data interpretations thus vary greatly among reported studies. Chamber performances must be tested in each individual case to provide confidence in calculated results. Physical characteristics of a mobile chamber construction were determined in this study, the most suitable flux calculation methods identified, and trends in concentration changes compared against independent measurements of sap-flow in wheat. We emphasize on the determination of vapor flux as it is more difficult to determine than CO₂ flux due to the larger effect of altered physical transport conditions on stomatal regulation.

Material and Methods

The study was conducted in a spring-wheat plot maintained at the agricultural experimental station of the University of Bonn at Klein-Altendorf. The plot was managed according to standard agronomic practice.

The chamber was constructed with Plexiglas and had a dimension of 1x1x0.3 m³. Height-adapters built from the same material were used to interface the chamber with a frame that was placed into the soil for ceiling the entire construction from ambient air. Fans were placed in each corner to turn over the chamber air with a rate of 111 m³/h per fan. Changes in vapor and carbon-dioxide concentrations were measured with the sample cell of a LI 6400 XT portable photosynthesis system at 1 second intervals until vapor started to condense at the chamber walls.

Sap flow was measured with the Dynamax heat-balance technique in randomly selected wheat tillers inside the gas-flux measuring area. The sensors were attached to plastic sticks stuck into the ground for preventing stalk bending and thoroughly shielded against ambient conditions with foam enclosures, plastic- and aluminum foils. The measuring interval was set to the lowest possible value of 1 minute. Intermediate values were calculated by spline-interpolation.

Measurements were carried out in 2010 under clear summer sky conditions between 10am and 2pm on 5 days during ear emergence to prevent effects from transient regulation of canopy gas-exchange and to make experimental results comparable.

Results and Discussion

Results of this study are summarized in Fig. 1 which shows the difference between average sap-flow and vapor concentration rate changes during chamber placement. Scatter during the first 50 seconds is large compared to the remaining period and results from mixing lags and plant acclimatization to altered transport conditions.

Inferring gas-exchange rates from the slopes of initial vapour concentration changes during this period should thus be carried out with caution. Rate change curvatures stabilize during the following 70 seconds and then transitions into a non-linear trend induced by increasing air saturation. The increasing difference between sap flow rate and vapour concentration change is a clear indication that stomata adjust to the altered transport environment beyond this point. Stomata open in response to increasing air-humidity. Sap-flow increases as a consequence until the chamber is removed from the measuring area. Plants with their wide open stomata are subjected to a sharp drop in vapour pressure deficit (VPD) at this time which instantaneously affects the hydraulic systems and causes proportional rises in sap-flow. Stomata close in response to the increase in VPD followed by a normalization of sap-flow which required 30 minutes on average (not shown). Repeating measurement intervals at field sample points should be scheduled accordingly.

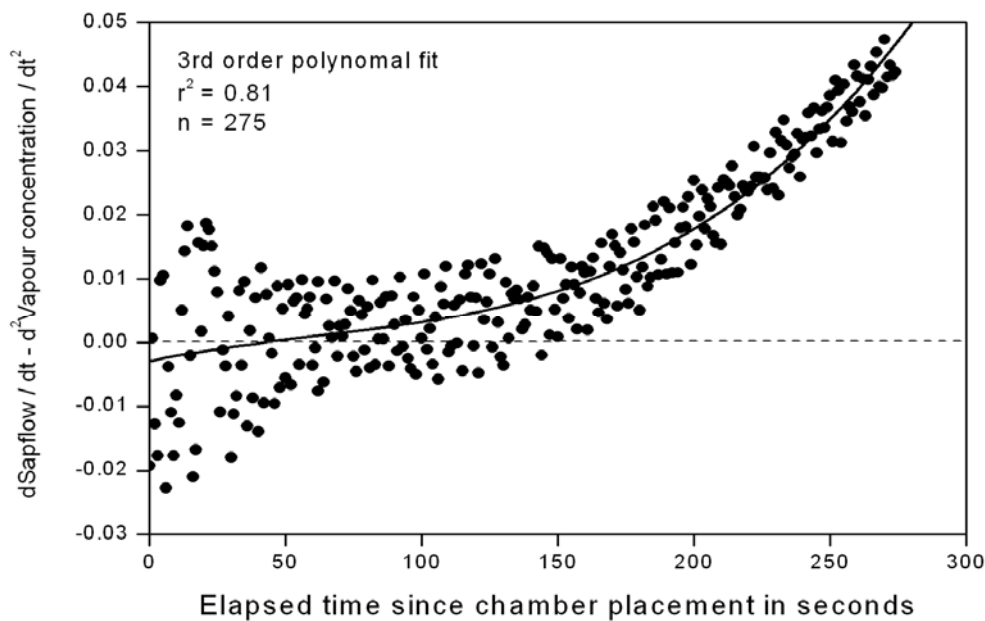


Fig. 1: Difference between measured sap flow and vapor concentration rate changes during chamber placement

The suitability of different curve fitting techniques for inferring gas-exchange from measured concentration changes were compared against each other. CO_2 -fluxes could be accurately calculated with the quadratic regression technique in all cases, but not H_2O -fluxes for which a saturation function was found to be more suitable.

The results of the study confirm that the closed-chamber technique is suitable for screening gas-exchange in field crops, provided the performances of individual constructions are tested to provide confidence in the results. Establishment of standard protocols for chamber design and application would be desirable for making comparisons of canopy gas-exchange studies more consistent.

Acknowledgements

This work has been funded by the DFG under the SFB TR32 (Patterns in Soil-Vegetation-Atmosphere-Systems) (TRR 32/1 2010, TRR 32/2 2011).

Modellierung der Bestandestemperaturen von Winterweizen

Dorothee Neukam, Ulf Böttcher und Henning Kage

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, CAU Kiel. E-Mail: neukam@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Gelingt eine valide Abschätzung der aktuellen Transpirationsrate eines Pflanzenbestandes, so lassen sich daraus unter Berücksichtigung der potenziellen Transpirationsrate Aussagen über möglichen Trockenstress der Pflanzen, die aktuell pflanzenverfügbare Wassermenge im Boden und eine mögliche Einschränkung des Ertragspotenzial am Standort ableiten.

Die Messung der Bestandestemperatur mittels Infrarotthermometer zusammen mit mikrometeorologischen Messgrößen kann genutzt werden, diese Größen in ihrer zeitlichen und räumlichen Variabilität abzuschätzen. Um aus dieser Information Rückschlüsse auf den Bodenwasserhaushalt zu ziehen und Abschätzungen für die Zukunft treffen zu können, soll der Verlauf der Bestandestemperatur und damit die aktuelle Transpirationsrate innerhalb eines gekoppelten Bodenwasser- und Pflanzenwachstumsmodells in Stundenschritten simuliert werden.

Material und Methoden

Zur Entwicklung und Parametrisierung des Modells wurde 2010/11 in der Rollhauanlage des Versuchsgutes Hohenschulen (Schleswig-Holstein) ein Parzellenversuch (einfaktorielle Blockanlage, 4 Wiederholungen, Bewässerung ab Anfang April, Sorte Dekan) mit 3 Bewässerungsstufen angelegt: keine Bewässerung (W0), Bewässerung bis 80 % nFK (W1) und Bewässerung bis 100 % nFK (W2). Von Anfang Mai bis Mitte Juli wurden in je einer Wiederholung der drei Varianten an 7 Terminen Tagesgänge (5 bis 18 Uhr) von stomatärer Leitfähigkeit (LI 6400, Licor) und Blattwasserpotenzial (Scholander-Bombe, Soilmoisture) erhoben. An jeweils 4 Blättern aus dem Beprobungsstreifen der Parzellen wurde unmittelbar nach der Gaswechsellmessung das Blattwasserpotenzial erhoben. Aus den gemittelten stomatären Leitfähigkeiten wurde jeweils der stomatäre Widerstand berechnet. Darüber hinaus wurden mikrometeorologische Messgrößen (Nettostrahlung, Luftfeuchte, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit) erfasst. Wöchentlich und zu den Gaswechsellmessterminen wurden Bodenwassergehalte in 5 Schichten bis 110 cm Tiefe mit TDR gemessen. Darüber hinaus erfolgten wöchentliche Messungen von GAI (LAI2000) und Bestandeshöhe.

Im Modell wird die Bestandestemperatur aus der Penman-Monteith-Gleichung berechnet, die die Wasserabgabe des Bestandes als „Big Leaf“ an die Atmosphäre beschreibt. Neben mikrometeorologischen Einflussgrößen ist hier der Stomatawiderstand als Pflanzenparameter entscheidend. Gleichzeitig wird über das Potenzialkonzept mit dem Blattwasserpotenzial als Pflanzenparameter die Wasseraufnahme berechnet. Beide Prozesse werden über einen angenommenen Zusammenhang zwischen diesen Pflanzenparametern gekoppelt und schließlich iterativ gelöst.

Ergebnisse und Diskussion

Abb. 1 zeigt exemplarisch für die noch laufenden Messungen den Verlauf der mikrometeorologischen Messgrößen am 27.06. Die ebenfalls an diesem Tag erhobenen

Verläufe des stomatären Widerstands und des Blattwasserpotenzials sind in Abb. 2 dargestellt.

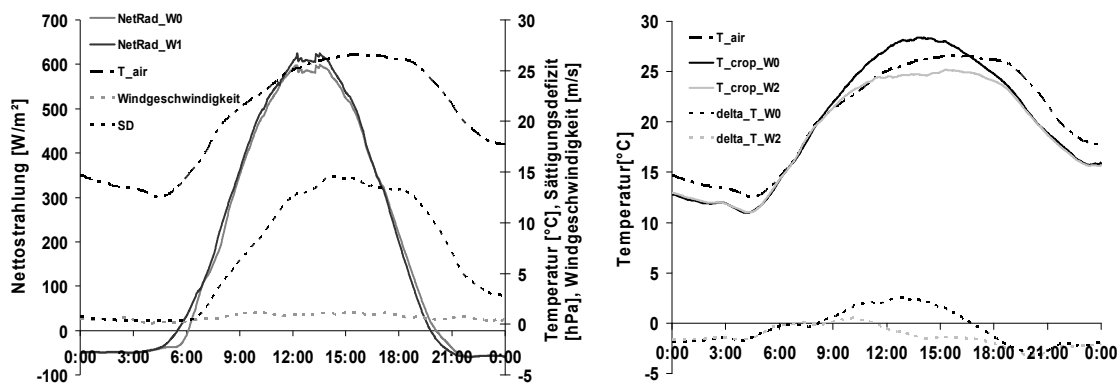


Abb. 1: Tagesgang von Nettostrahlung (NetRad), Lufttemperatur (T_{air}), Sättigungsdefizit (SD), Windgeschwindigkeit, Bestandestemperatur (T_{crop}) und Differenz von Bestandes- und Lufttemperatur (ΔT)

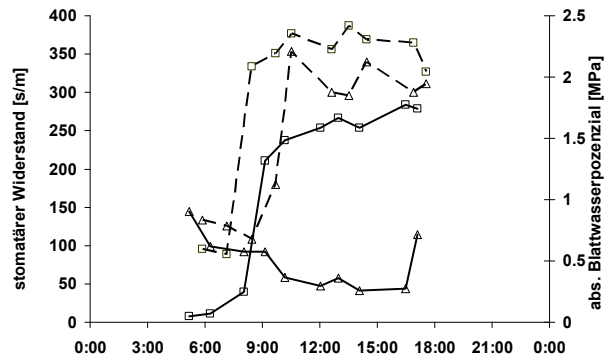


Abb. 2: Tagesgang von Blattwasserpotenzial (Δ) und stomatärem Widerstand (\square) für die Varianten W0 (----) und W2 ($\square\square$)

Ab 9 Uhr sind Unterschiede zwischen den Bestandestemperaturen von W0 und W1 und jeweils zur Lufttemperatur zu sehen (Abb.1). Gleichzeitig zeigt sich ein entgegengesetzter Verlauf der bis zu diesem Zeitpunkt ähnlichen Stomatawiderstände (Abb.2). Das Blattwasserpotenzial hingegen verhält sich für beide Varianten entsprechend der Nettostrahlung und dem Sättigungsdefizits als Parameter des Verdunstungsanspruchs, allerdings auf unterschiedlichem Niveau, was in den unterschiedlichen Bodenwassergehalten (nicht gezeigt) begründet ist.

Diese Zusammenschau zeigt für den konstant sonnigen Messtag, dass die im Modell verwendeten Pflanzenparameter geeignet sind um den den Verdunstungsanspruch der Atmosphäre und die Wassernachlieferung des Bodens zu koppeln. Eine unter verschiedenen Bedingungen valide Formulierung und Parametrisierung des Zusammenhanges zwischen Blattwasserpotenzial und Stomatawiderstand steht hier noch aus.

Vergleich unterschiedlicher Stickstoff-Bilanzierungsmethoden im Rahmen einer 14-jährigen Fallstudie zur Entwicklung der Stickstoffsalden auf dem Ackerland

Hendrik Sommer¹ und Günter Leithold²

¹Institut für LifeAgriScience [ILAS], Frankenberg; ²Professur für organischen Landbau, Gießen. E-Mail: hendrik.sommer@escon-de.com

Einleitung

Niedrige Agrarpreise und wachsender Kostendruck zwingen auch ökologisch wirtschaftende Betriebe, die Produktionsintensität zu steigern, um im Wettbewerb besser bestehen zu können. In vorliegendem Beitrag werden die Auswirkungen einer solchen Intensivierung des ökologisch bewirtschafteten Lehr- und Versuchsbetriebes der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gladbacherhof, im Zeitraum von 1993 bis 2006 auf die Stickstoffsalden auf dem Ackerland beispielhaft vorgestellt.

Material und Methoden

Im für die Untersuchung verwendeten Betriebsbilanzierungsmodell REPRO (vgl. Hülsbergen 2003) werden flächenbezogene **N-Bilanzen** durch Saldierung der N-Zufuhr (durch Saatgut, Stroh- und Gründüngung, organische Dünger aus der Tierhaltung, symbiotische N-Fixierung und die N-Immissionen aus der Luft) mit dem ertrags- und qualitätsabhängigen N-Entzug durch die Pflanze berechnet. Angewendet wurden sowohl die Standard-N-Bilanzmethode nach Leithold (1991) als auch die erweiterte Methode nach Hülsbergen (2003). Während in der Standardbilanz ein Fließgleichgewicht an Humus und Gesamtstickstoff im Boden unterstellt wird, ist bei der erweiterten Methode zusätzlich die Änderung des Boden-N-Vorrates infolge Mineralisation und Immobilisation durch Kopplung an die Humusbilanz bei der Saldierung berücksichtigt. Der **N-Saldo** beschreibt bei beiden Methoden das reaktive N-Verlustpotenzial in Form von Nitrat, Nitrit, Ammonium sowie Ammoniak. Die **N-Verwertungsrate (Gesamtverwertung)** gibt an, wie viel des eingesetzten Stickstoffs langfristig im System Boden-Pflanze ertragswirksam werden (Hülsbergen 2003).

Ergebnisse und Diskussion

Der **Stickstoffsaldo**, berechnet mit REPRO, ist im Untersuchungszeitraum von 1993 bis 2006 von 25^{Standardmethode}/44^{erweiterte Methode} kg N ha⁻¹ nach beiden Methoden auf ca. 80 kg N ha⁻¹ kontinuierlich angestiegen. Zurückzuführen ist dies auf die stetig gestiegene N-Einsatzmenge durch den wirtschaftseigenen Dünger. Die Standardmethode der Stickstoffbilanzierung zeigte im Vergleich zur erweiterten Methode für die ersten sechs Untersuchungsjahre niedrigere Salden an, was auf die Integration der Veränderung des Boden-N-Vorrats in die Bilanzierung im Rahmen der erweiterten Methode zurückzuführen ist. Im Verlauf der Untersuchung sind die Stickstoffsalden auf Basis der erweiterten Methode niedriger als die Salden, die mit der Standardmethode berechnet wurden. Während der letzten drei Untersuchungsjahre glichen sich die Salden beider Methoden an. In diesem Zeitabschnitt wurde ein positiver Stickstoffsaldo in der Größenordnung von 80 kg N ha⁻¹ berechnet. Insgesamt konnte ein durchschnittlicher Zuwachs des N-Saldos um ca. 5 kg pro Hektar und Jahr nach der Standardmethode und ca. 3 kg pro Hektar und Jahr nach der

erweiterten Methode ermittelt werden. Geringere reaktive Stickstoffverluste bei der erweiterten Methodik beruhen auf der Berücksichtigung des Bodens als Stickstoffsенke.

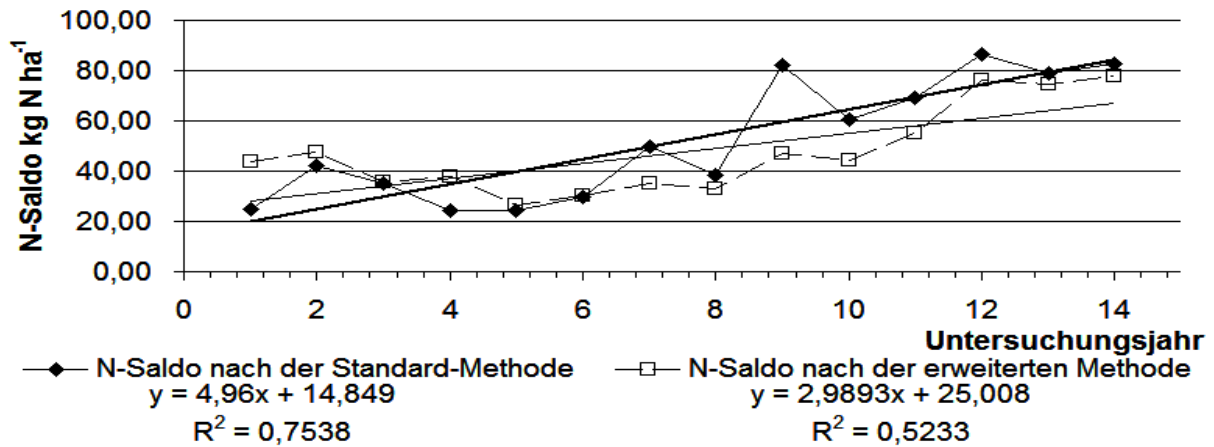


Abb. 1: Vergleich der Entwicklung der N-Salden auf dem Ackerland und der Nicht-Leguminosenfläche

Die N-Systemverwertung des Ackerlandes war tendenziell abnehmend. Die Berechnung der Systemverwertungsrate auf der Basis der Standard-N-Bilanzmethode zeigte einen stetigen Abfall der N-Verwertung von 79 % auf 46 % während des Untersuchungszeitraumes. Auf der Basis der erweiterten N-Bilanzierung stieg die N-Verwertung zunächst von 60 % auf 80 % an, sank dann jedoch ebenfalls ab und pendelte sich schließlich bei ca. 50 % ein.

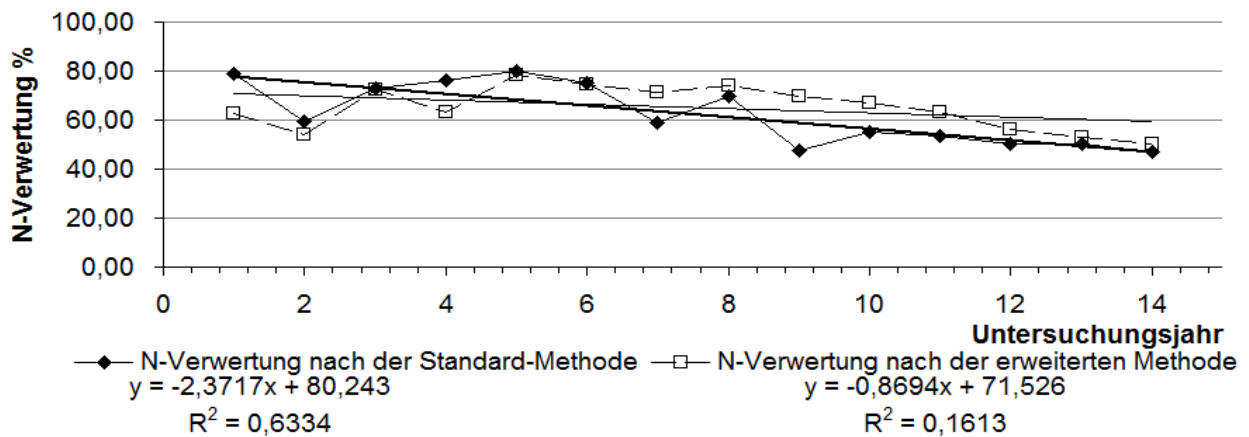


Abb. 2: Vergleich der Entwicklung der N-Verwertung auf dem Ackerland und der Nicht-Leguminosenfläche

Literatur

- Hülsbergen, K.-J. 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitationsschrift. Shaker Verlag, Aachen.
- Leithold, G. 1991: Zur Herleitung der Gleichung der „horizontalen“ Stickstoffbilanz, Wiss. Z. Univ. Halle XXXX '91 M, H. 6, 139-145.
- Sommer, H. 2010: Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.

Fruchtfolgen, Anbaumuster und Fruchtartenkombinationen in Norddeutschland – dargestellt anhand flächenscharfer Nutzungsdaten

Horst-Henning Steinmann

Georg-August-Universität Göttingen, Zentrum für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung. E-Mail: hsteinm@gwdg.de

Einleitung

Fruchtfolgen und Fruchtartenkombinationen sind wichtige pflanzenbauliche und phytohygienische Instrumente (Kirkegaard et al. 2008). Offensichtlich nimmt jedoch die Bedeutung der Fruchtfolgegestaltung im Ackerbau ab zugunsten vereinfachter Anbaumuster bis hin zum Daueranbau einzelner Fruchtarten. Diese Entwicklung lässt sich nachvollziehen anhand agrarstatistischer Erhebungen auf Bundes- bzw. auf Länderebene. Nachteil der Agrarstatistiken ist jedoch, dass die Daten lediglich die Darstellung von Anbauverhältnissen bzw. Anbaukonzentrationen ermöglichen. Eine Identifizierung tatsächlicher Fruchtartenkombinationen kann mit derartigen Daten nicht erfolgen. In der folgenden Studie wurden erstmals hochauflösende flächenscharfe Daten der Agrarverwaltung für agronomische Interpretationen herangezogen.

Material und Methoden

Mit der EU-Verordnung 1783/2003 wurden die Mitgliedstaaten verpflichtet, ein Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem für die Administration der landwirtschaftlichen Direktzahlungen zu etablieren. Das System enthält unter anderem eindeutige Flächenidentifikatoren, Angaben zu den angebauten Feldfrüchten und zur jeweiligen Flächengröße. Für Niedersachsen ergibt sich daraus ein Datenbestand von ca. 990.000 Flächeninformationen auf 2,6 Mio ha LF pro Jahr.

Die Auswertungen erstreckten sich auf die Jahre 2005 bis 2008. Eindeutig über die Jahre verfolgbare Flächen wurden hinsichtlich ihrer Feldfrüchte ausgewertet. Fruchtartenkombinationen des vierjährigen Zeitraumes wurden nach systematischen Mustern abgesucht, die sie ggf. als Fruchtfolgen ausweisen konnten. Für diese Auswertung wurden zehn wesentliche Feldfrüchte bzw. Fruchtartengruppen (Winterweizen, Wintergerste, Roggen/Triticale, Mais, Winterraps, Zuckerrüben, Kartoffeln, Eiweißfrüchte, Ackerfutter, Sommergetreide) auf 890.000 ha AF berücksichtigt. Stilllegung und Sonderkulturen gingen aufgrund der abnehmenden bzw. marginalen Bedeutung nicht in die Betrachtung ein. Für die Jahre 2007 und 2008 wurden weiterhin Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen identifiziert. Diese Auswertung erstreckte sich über 1,2 Mio ha AF.

Ergebnisse und Diskussion

Die zehn relevanten Feldfrüchte wurden über vier Jahre in 2145 Kombinationen angebaut, wovon allerdings bereits mit 71 Kombinationen 67 % der AF belegt waren. Die Interpretation dieser Kombinationen als systematische Anbaumuster bzw. Rotationen ergab eine Liste von zwölf Anbaufolgen, die in der Summe auf 45,6 % der AF angebaut wurden (Tab. 1). Diese Fruchtfolgen können somit als die vom Flächenumfang bedeutendsten der Region angesehen werden, wobei darauf hinzuweisen ist, dass aufgrund der Beschränkung der verfügbaren Daten-Jahrgänge

keine Anbaumuster von vier oder mehr Jahren identifiziert werden konnten. Über diese diversen Rotationen kann somit bisher keine Aussage getroffen werden.

Tab. 1: Die zwölf meist verbreiteten Anbaumuster von Feldfrüchten in Niedersachsen von 2005-2008 (alle Getreidearten als Wintergetreide, AF = Ackerfläche)

Anbaumuster / Rotation	Anteil an AF (%)	kumul. Anteil an AF (%)
Mais-Daueranbau	8,9	8,9
Raps-Weizen-Gerste	8,1	16,9
Rüben-Weizen-Weizen	6,5	23,4
Rüben-Weizen-Gerste	5,2	28,6
Raps-Weizen-Weizen	3,8	32,4
Mais-Mais-Roggen	3,5	35,5
Ackerfutter-Daueranbau	3,0	38,9
Mais-Mais-Weizen	2,2	41,1
Mais-Roggen	1,4	42,4
Mais-Weizen	1,2	43,6
Roggen-Daueranbau	1,0	44,6
Weizen-Daueranbau	1,0	45,6

Mais hat mit einem Anbauanteil von 25 % an der AF in weiten Teilen des Landes und in vielen Rotationen eine dominante Rolle. Auch bei den Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen wird dies deutlich. Im Jahr 2008 wurden 54 % der Maisfläche nach Mais als Vorfrucht bestellt. Bei Winterweizen betrug der Selbstfolgeanteil 33 % der Weizenfläche.

Angesichts des nach wie vor zunehmenden Maisanbaus wird der Trend zu Maisdauerfolgen bzw. zu Mais-Selbstfolgen und zur weiteren Vereinfachung der Fruchtfolgen vermutlich weiter zunehmen. Es muss einer weiterführenden Diskussion überlassen bleiben, in welchem Umfang im aktuellen Ackerbau tatsächlich systematische Fruchtfolgen Anwendung finden (vgl. Castellazzi et al. 2008) oder ob es sich in vielen Fällen eher um wenig strukturierte Anbaumuster handelt.

Dank

Den niedersächsischen Behörden ist herzlich für die Bereitstellung der Daten zu danken. Dr. E. S. Dobers gebührt Dank für die Entwicklung von Datenbank-Anwendungen. Die Arbeiten sind eingebunden in den KLIFF-Verbund zur Klimafolgenforschung in Niedersachsen sowie in ein FNR-Vorhaben zu Fruchtfolgen mit Energiepflanzen.

Literatur

- Castellazzi, M.S., Wood, G.A., Burgess, P.J., Morris, J., Conrad, K.F., Perry, J.N. 2008: A systematic representation of crop rotations. *Agr. Syst.* 97:26-33.
- Kirkegaard, J., Christen, O., Krupinsky, J., Lyzell, D. 2008: Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crop Res.* 107:185-195.

Die Stickstoffbilanz auf der Nicht-Leguminosenfläche – ein geeignetes Instrument zur Beurteilung der N-Effizienz eines Betriebssystems?

Hendrik Sommer¹ und Günter Leithold²

¹Institut für LifeAgriScience [ILAS], Frankenberg; ²Professur für organischen Landbau, Gießen. E-Mail: hendrik.sommer@escon-de.com

Einleitung

Die Stickstoffsalden auf dem Ackerland des Lehr- und Versuchsbetriebes der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gladbacherhof, im Zeitraum von 1993 bis 2006 stiegen von 40 auf 80 kg ha⁻¹ (Sommer 2010). Per Definition stellt der N-Saldo die Menge an reaktiv verloren gegangenem Stickstoff dar (Leithold 1984). An dieser Stelle zeigt sich für den Untersuchungszeitraum eine noch nicht ausreichende Nutzung verfügbarer Nährstofffonds, insbesondere Stickstoff, in der Pflanzenproduktion. Die Effizienz und Umweltverträglichkeit der pflanzlichen Erzeugung konnte demnach nicht verbessert werden, was auf bestehende große Ertragsreserven schließen lässt. Anhand der Stickstoffbilanz auf der Nicht-Leguminosenfläche lässt sich der Optimierungsbedarf vermutlich deutlicher darstellen als dies anhand der Stickstoffbilanz auf dem Ackerland möglich ist.

Material und Methoden

Die Berechnung der N-Zufuhr zur Nicht-Leguminosenfläche erfolgte aus der rechnerischen Verteilung der Gesamt-N-Zufuhr des Ackerlandes auf die Nicht-Leguminosenfläche. Im Anschluss wurde die N-Zufuhr der Nicht-Leguminosenfläche mit dem N-Bedarf der gleichen Fläche saldiert. Auf diese Weise kann eine gegenüber der N-Bilanz des Ackerlandes sensitivere Bilanzierung erfolgen.

Ergebnisse und Diskussion

Der Stickstoffsaldo auf den Nicht-Leguminosenflächen ist im Untersuchungszeitraum von 1993–2006 von ca. 80 kg N ha⁻¹ auf ca. 160 kg N ha⁻¹ kontinuierlich angestiegen. Auf den stark stickstoffbedürftigen Nicht-Leguminosenflächen waren mit bis zu 277 kg N ha⁻¹ die höchsten N-Zufuhren zu verzeichnen.

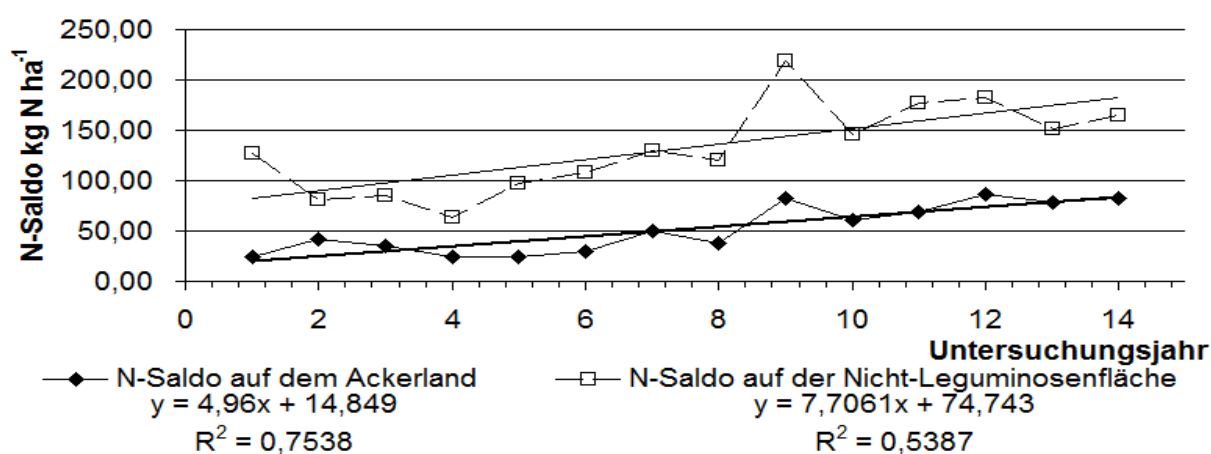


Abb. 1: Vergleich der Entwicklung der N-Salden auf dem Ackerland und der Nicht-Leguminosenfläche

Der N-Saldo der Nicht-Leguminosenfläche lag deshalb bis zu 100 kg über dem Niveau des N-Saldos des Ackerlandes. Während der ersten Hälfte des Untersuchungszeitraumes lag die Verwertung zwischen 40 und 50 %, in der zweiten Hälfte der Untersuchung sank die Stickstoffverwertung auf ein Niveau zwischen 30 und 40 %. Damit lag die Stickstoffverwertung auf der Nicht-Leguminosenfläche insgesamt auf einem niedrigeren Niveau als die Verwertung auf der Ebene Ackerland.

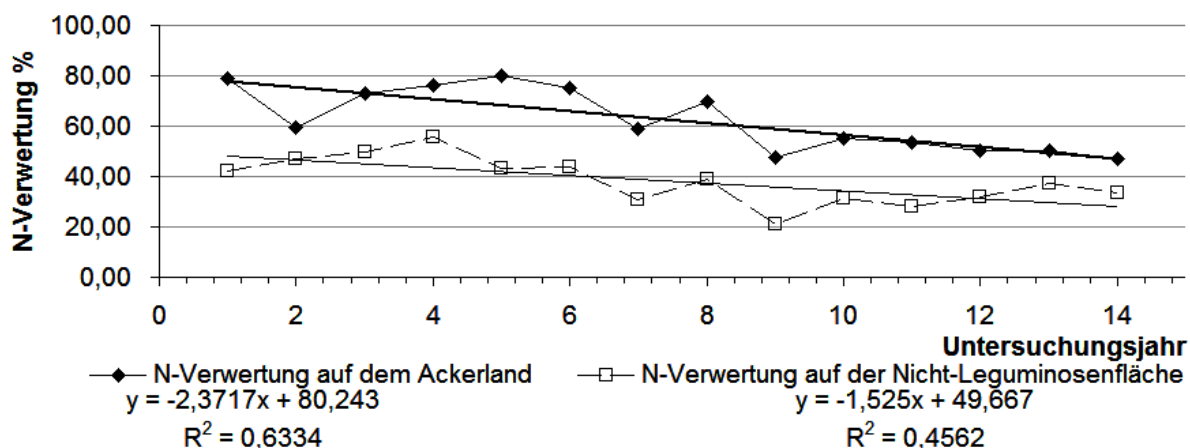


Abb. 2: Vergleich der Entwicklung der N-Verwertung auf dem Ackerland und der Nicht-Leguminosenfläche

Köpke (1995) warnt vor Konsequenzen in Form hoher N-Verluste. Am vorliegenden Beispiel zeigt sich, dass eine Steigerung der Produktionsintensität tatsächlich zunehmend zu reaktiven N-Verlusten führen kann, was die Nachhaltigkeit des Systems beeinträchtigt. Es können zwar mittels optimierter Produktionstechnik, angepasster Dünger-Applikationsraten insbesondere beim Mais sowie einer guten Fruchtfolgeplanung unnötige N-Auswaschungsverluste vermieden werden. Auf diese Weise lässt sich offensichtlich ein großes Potential zur Reduzierung von N-Verlusten und damit auch zur Ertragssteigerung erschließen. Allerdings ist es notwendig, die systembedingte Schwachstelle zu lokalisieren, an der die Verluste zu verzeichnen sind. So eröffnen sich gute Chancen, um das vorhandene Potential zu mobilisieren.

Die Aussage, dass auf der Nicht-Leguminosenfläche das größte Optimierungspotential zu vermuten sei, ist allerdings zu einfach. Optimierungsbedarf liegt an vielen Stellen des Stoffkreislaufes, er wird nur bei Betrachtung der N-Salden pro Hektar Nicht-Leguminosenfläche besonders deutlich und unterstreicht die Notwendigkeit, systembedingte Ursachen zu identifizieren.

Literatur

- Köpke, U. 1995: Nutrient Management in Organic Farming Systems: the Case of Nitrogen, Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture:15-23.
- Leithold, G. 1984: Untersuchungen der Beziehungen zwischen ackerbaulichen Maßnahmen, Ertrag und Humusreproduktion sowie Erarbeitung einer Methode zur Berechnung des Bedarfs des Bodens an organischer Substanz. Habilitationsschrift, Martin-Luther-Universität Halle.
- Sommer, H. 2010: Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.

Ökostabilität von Winterweizen unter Standortbedingungen Brandenburgs

Janna Sayer¹, Gert Barthelmes² und Frank Ellmer³

¹Humboldt-Universität zu Berlin, FG Acker- und Pflanzenbau; ²Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF), Güterfelde; ³Humboldt-Universität zu Berlin, FG Acker- und Pflanzenbau. E-Mail: janna.sayer@agrar.hu-berlin.de

Einleitung

Die Differenziertheit der Anforderungen an Sorten landwirtschaftlicher Nutzpflanzen wird sich im Zuge des Klimawandels hinsichtlich der sich ändernden Anbaubedingungen erhöhen. Neben dem absoluten Leistungsniveau wird die Ertragsicherheit an Bedeutung gewinnen. So wird unter anderem die Zunahme ausgehnter Trockenperioden im Vorsommer Trockentoleranz bei gleichzeitig ökologischer Stabilität auf hohem Leistungsniveau erfordern. Der Einsatz von ökostabilen Sorten als bedeutende innovative Produktionsmittel stellt somit einen zunehmend wichtigen Faktor in landwirtschaftlichen Betrieben dar.

Material und Methoden

Auf Basis von Versuchsdaten der Landessortenversuche (LSV) in Brandenburg für den Zeitraum 2003 bis 2010 und unter Nutzung biostatistischer Parameter wurden verschiedene Qualitätsgruppen von Winterweizen hinsichtlich der Ökostabilität für die Merkmale Korn- und Rohproteintrag auf den vorwiegend leichten Böden in Brandenburg analysiert. Die in die Auswertung einbezogenen LSV-Standorte waren überwiegend durch lehmigen Sandboden mit einer mittleren Ackerzahl von 35 gekennzeichnet. Die Jahresdurchschnittstemperatur lag um 9 °C, die jährliche Niederschlagshöhe betrug im Durchschnitt 550 mm. Die Frühjahrs- und Sommermonate waren häufig durch ausgeprägte Trockenphasen geprägt. Zur Bewertung der Ökostabilität wurden neben der Ökoregression als biostatistische Parameter die Ökovalenz (Wricke, 1962), die Floating Checks-Methode (Jensen, 1976) und die Rangsummenmethode (Kang, 1988) verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Der Kornertrag von Winterweizen wird durch verschiedene Umweltfaktoren und die Sorte bestimmt. In den Landessortenversuchen in Brandenburg zeigt der Faktor Standort mit einem Anteil von 91 % im geprüften Zeitraum von 2003 bis 2010 den stärksten Einfluss auf die Ertragsvariabilität. Der Faktor Sorte erreicht einen Anteil von 7 % und die Wechselwirkung aus Standort und Sorte 2 %. Beim Winterweizen erreichen die C-Sorten die höchsten, die A-Sorten demgegenüber die stabilsten Kornerträge (Tab. 1). Der Mittelwert über die Jahre 2003 bis 2010 zeigt keine deutlichen Ertragsunterschiede zwischen den Qualitätsgruppen, wobei in einzelnen Jahren zum Teil eine klare Differenzierung erkennbar ist. Die Ökostabilität für das Merkmal Rohproteintrag zeigt weiterhin, dass die A-Sorten mit einem mittleren Rohproteintrag von 9,1 dt ha⁻¹ und einer Ökovalenz von nur 1 s % ÖV die höchsten und stabilsten Ergebnisse erreichen. Die Ergebnisse für den Rohproteintrag der B-Sorten belegen mit 9,1 dt ha⁻¹ und einer Ökovalenz von 3 s % ÖV ebenfalls eine gute Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig guter Ökostabilität. Die C-Sorten liegen mit einem Rohproteintrag von 8,8 dt ha⁻¹ und einer Ökovalenz 6 s % ÖV im Vergleich der drei Qualitätsgruppen auf dem letzten Rang.

Tab. 4: Parameter zur Bewertung der Kornertragsstabilität von Winterweizen, Einteilung nach Qualitätsgruppe (Landessortenversuche Brandenburg 2003 bis 2010, Geprüfte Umwelten: 59)

Parameter	A-Sorten	B-Sorten	C-Sorten
Mittelwert Kornertrag [dt ha ⁻¹]	70,66 ^a	71,72 ^a	73,21 ^{ab}
Anzahl geprüfte Sorten	49	30	6
Reaktionsparameter b (Ökoregression)	0,99	1,01	0,99
Ökovalenz s % ÖV	1,35	3,27	4,65
Floating Checks [%]	95,5	96,9	98,9
Rangsumme	4,7	3,8	2,8

In Brandenburg können in den Frühjahrs- und Sommermonaten ausgeprägte Trockenphasen auftreten, weshalb die jeweilige Sortenreaktion auf diese Witterungsbedingungen von entscheidender Bedeutung ist. Der Kornertrag von Winterweizen ist in Abb. 1 in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz dargestellt. Für den Zeitraum April bis Juli erreichte die klimatische Wasserbilanz unter den geprüften Umweltbedingungen Defizitwerte von bis zu -330 mm. Im Vergleich der Qualitätsgruppen zeigt sich, dass die C-Sorten unter den entsprechenden Witterungsbedingungen die höchsten Erträge erreichen. Allerdings ist zu bemerken, dass die Mehrererträge der C-Sorten gegenüber der A- und B-Sorten unter zunehmend trockenen Witterungsbedingungen deutlich abnehmen. Unter derartigen Bedingungen stellen die A-Sorten im Praxisanbau hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit den besten Kompromiss aus Kornertrag und Rohproteingehalt dar.

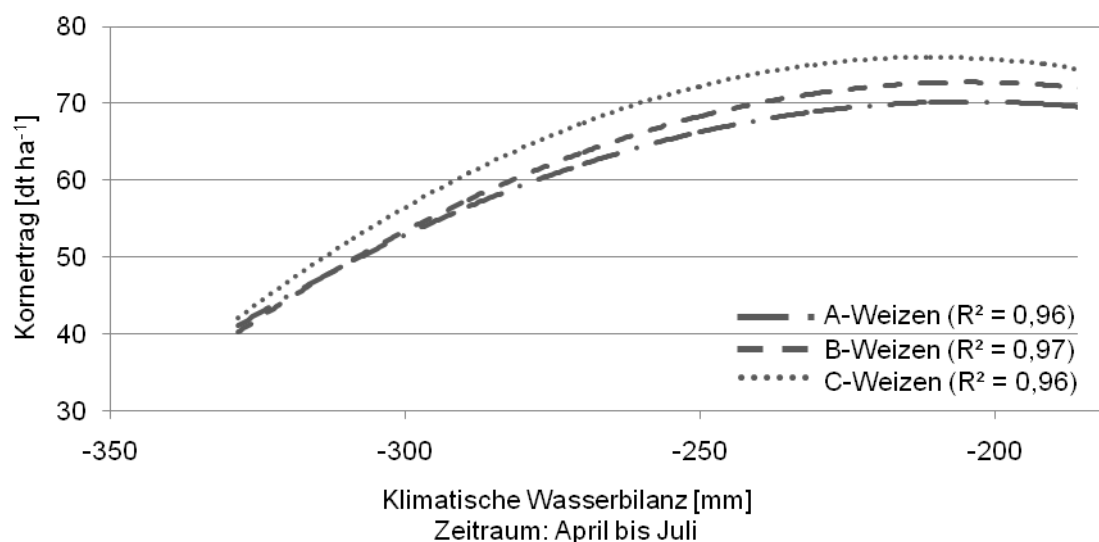


Abb. 2: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz; Einteilung nach Qualitätsgruppen (Landessortenversuche Brandenburg 2003 bis 2010, Geprüfte Umwelten: 59)

Literatur

- Jensen, N.F. 1976: Floating checks for plant breeding nurseries. Cereal Research Communications 4:285-295.
- Kang, M.S. 1988: A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communications 16:113-115.
- Wricke, G. 1962 Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung 47:92-96

Effect of triazoles and strobilurins on seed yield and grain quality of winter rapeseed under two levels of sulphur fertilization

Muhammad Ijaz and Bernd Honermeier

Institute of Agronomy and Plant Breeding I, JLU Gießen. E-Mail: Muhammad.ijaz@agrar.uni-giessen.de

Introduction

Triazole and strobilurin fungicides are used for both their fungicidal and growth regulatory properties. Triazoles alter the levels of certain plant hormones by inhibiting gibberellin synthesis while strobilurins have ability to reduce ethylene evolution and increase cytokinin levels (Zhou et al. 1998). The strobilurin proved to inhibit the biosynthesis of ethylene through reduction of the activity of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC)-synthase. This has been linked with delayed the senescence of leaves and consequently prolonged photosynthetic activity of green tissues and a better management of stress.

In rape plant, sulphur plays an indispensable role in metabolism as a component of proteins and glucosinolates. Sulphur influences not only the amount of protein but also its quality. Sulfur increases the concentration of essential unsaturated fatty acids in oil and enhances the usability of rapeseed oil. For that reason the a field experiment was executed to clarify the impact of strobilurins and triazoles as well as growth regulator on seed yield and quality of winter rapeseed under two levels of sulphur.

Materials and Methods

The field experiment was carried out in 2010 at the research station Rauschholzhausen. The experiment was designed as factorial RCBD with four replications. Cultivar “Elektra” was planted in 1.5 x 7.0 m² plots maintaining 45 plants per m². Nine fungicides (triazoles and strobilurins) and one growth regulator (trinexapac) were used in thirteen combinations in comparison with the control. Fungicides and growth regulator were applied at stag BBCH 53 and BBCH 65. Leaf area index and plant height were recorded fortnightly. Collected morphological data include seeds/pod, pods/plant, pod length and primary and secondary branches per plant, height of main stem from soil surface to 1st side branch and plant height. Disease incidence and lodging were assessed for each plot based on a scale of 1 to 9 with visual observation. Seed yield and 1000 grain weight were adjusted to 9% moisture content. In quality parameters, oil content of rapeseed was determined by using Soxhlet. GC was used for quantification of fatty acids in the oil of rapeseed. Value of peroxide (PV) and concentration of free fatty acid (FFA) were measured with chemical method of titration. The protein and glucosinolates (GSL) content in the samples were assessed using NIRS. PIAF Stat was used for statistical analysis of the collected data.

Results and Discussion

Leaf area index (LAI), height of plant stand, oil content and other quality parameters were affected significantly, whereas seed yield, protein content and concentration of glucosinolate showed non-significant response to application of fungicides (Table 1). LAI, seed yield and oil content of rapeseed were increased maximal by application of fungicidal treatment No. 12 in comparison with other treatments. Application of

strobilurin fungicide (azoxystrobin) alone and in combination with azole group of fungicides delayed senescence and increased LAI. Alone application of azole reduced LAI, but in combination with strobilurin increased it significantly. Tebuconazole alone and in combination with azoxystrobin (No. 2 and 13) reduced height of plant stand as well as seed yield, while increased protein content over other fungicidal treatments. Minimal value of oil content with maximum concentration of linoleic acid was obtained with application of moddus (No. 9) over other treatments. Application of fungicides did not exceed the hazardous limits for values of FFA and PV. No obvious difference in the concentration of saturated and unsaturated fatty acids was observed among fungicidal treatments and control. Sulphur application increased seed yield as well as concentration of glucosinolates of rapeseed.

Table 1: Effect of fungicides (triazole, strobilurin) and growth regulator (trinexapac) on growth, yield and quality parameters of winter rapeseed under two levels of sulphur

*Treat.	LAI BBCH 70	PS (cm) BBCH 62	Yield (dt/ha)	Oil (%)	Protein (%)	GSL (mmol/g)	FFA (%)	PV (meq/kg)	Linoleic acid (%)
1	5.51e	139.4abcd	33.2	44.9cd	17.7	13.5	0.46e	3.17g	19.6b
2	5.59de	134.4f	33.3	45.7ab	18.4	14.2	0.49de	3.62cdef	19.5bc
3	5.76cde	136.6cdef	33.5	45.2bcd	18.0	12.8	0.52cde	4.53a	19.5bc
4	6.04abc	142.2a	36.9	45.3bcd	17.9	13.3	0.55bcde	3.46efg	19.3cd
5	5.78cde	137.8bcdef	36.5	45.7ab	18.0	12.8	0.49de	3.39fg	19.4bcd
6	5.90abcd	139.1abcde	35.3	45.1bcd	17.5	13.1	0.54bcde	4.00bc	19.3cd
7	5.91abc	139.7abc	36.7	44.8cd	18.2	13.7	0.59abc	3.52defg	19.5bc
8	5.94abc	138.1bcdef	35.6	45.0bcd	17.9	12.6	0.57abcd	4.02 bc	19.6b
9	5.73cde	135.3def	34.6	44.6d	17.8	11.9	0.51cde	3.92bcd	19.9a
10	5.84bcd	141.6ab	36.1	45.5bc	17.8	13.0	0.54bcde	3.93bcd	19.3cd
11	5.76cde	140.6abc	35.7	45.2bcd	17.7	12.7	0.53bcde	3.96bc	19.5bc
12	6.16a	141.3ab	37.0	46.3a	17.7	12.2	0.65a	4.16ab	19.4bcd
13	5.96abc	135.0ef	34.9	45.5bc	18.4	13.4	0.59abc	3.32fg	19.2d
14	6.14ab	138.8abcde	35.6	45.4bc	17.8	12.8	0.62ab	3.85bcde	19.5bc
LSD_{0.05}	0.31	4.20	ns	0.72	ns	ns	0.10	0.41	0.24
S ₁	5.85	139.8a	34.9	45.3	17.9	12.4b	0.57a	2.68b	19.6 a
S ₂	5.87	137.3b	35.8	45.3	17.9	13.6a	0.52b	4.87a	19.3 b
LSD_{0.05}	ns	1.60	ns	ns	ns	0.52	0.04	0.16	0.09

*1= Control, 2= Tebuconazole (188.4 g ha⁻¹) 3= Metconazole (60 g ha⁻¹) 4= Boscalid (125 g ha⁻¹) 5= Prothioconazole + Tebuconazole (93.8 g ha⁻¹ + 93.8 g ha⁻¹) 6= Prothioconazole (125 g ha⁻¹) 7= Flusilazole + Carbendazim (187.5 g ha⁻¹ + 93.8 g ha⁻¹) 8= Trinexapac + Ethylester (111 g ha⁻¹ + 125 g ha⁻¹) + Boscalid (125 g ha⁻¹) 9= Trinexapac + Ethylester (111 g ha⁻¹ + 125 g ha⁻¹) 10= Azoxystrobin (250 g ha⁻¹) 11= Difenconazole + Paclobutrazole, (125 g ha⁻¹ + 62.5 g ha⁻¹) 12= Difenconazole + Paclobutrazole (125 g ha⁻¹ + 62.5 g ha⁻¹) + Azoxystrobin (250 g ha⁻¹) 13= Tebuconazole (251.2 g ha⁻¹) + Azoxystrobin (250 g ha⁻¹) 14= Metconazole (60 g ha⁻¹) + Azoxystrobin (250 g ha⁻¹), S₁: 0 kg Sulphur/ha S₂: 72kg Sulphur/ha

It can be concluded that inclusion of strobilurin in azole group of fungicides have the ability to improve morphological structure of rapeseed plant result in more upright canopy which is less susceptible to diseases and lodging. This modification of the canopy allows better penetration of light and may result in considerably improved growth, yield and quality parameters of winter rapeseed.

References

Zhou, W., M. Leul. 1998: Uniconazole-induced alleviation of freezing injury in relation to changes in hormonal balance, enzyme activities and lipid peroxidation in winter rape. *Plant Growth Regulation* 26:41-47.

Präzisierte N-Düngung bei globalisierter Jungpflanzenproduktion von Zierpflanzen

Siegfried Zerche¹, Dieter Lohr², Elke Meinken² und Uwe Drüge¹

¹Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), Großbeeren und Erfurt; ²Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan (FGW), Freising. E-Mail: zerche@erfurt.igzev.de

Einleitung

Die Jungpflanzenproduktion von vegetativ vermehrten Zierpflanzen (z.B. für die Beet- und Balkonpflanzensaison und die Adventszeit) erfolgt über Stecklinge im globalisierten Maßstab. Eine präzisierte Stickstoffdüngung der Mutterpflanzen, die weltweit, an klimatisch günstigen Standorten (wie z.B. Afrika, Lateinamerika, Südeuropa) kultiviert werden, bildet eine wichtige Voraussetzung für eine hohe Qualität der Stecklinge hinsichtlich Transporttoleranz, Überlebensfähigkeit und Bewurzelungspotential. Sie ist damit eine Grundlage für die terminierte, marktgerechte Jungpflanzenerzeugung. Das Bewurzelungspotential ist eine wichtige Basis für die erfolgreiche Bewurzelung. Es wird von einem günstigen Stickstoff- und Kohlenhydratstatus (N, KH) gefördert, der in kritischen Phasen der Adventivwurzelbildung zur optimalen Signalübermittlung und Ressourcenbereitstellung im Sprossgewebe beiträgt (Druège et al. 2000, Zerche und Druège 2009). Der Jungpflanzenindustrie fehlen jedoch direkte Messmethoden für innere Qualitätsparameter, die eine routinierte Anwendung dieses vorhandenen Wissens ermöglichen. Deshalb wurde ein Verbundprojekt¹ initiiert, das die Nutzungsmöglichkeiten der Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) für eine präzisierte N-Düngung und für eine Prognose des Bewurzelungspotentials in der Praxis untersucht. Die Verbundpartner haben das übergeordnete Ziel, ein System zur Qualitätsbeurteilung von Stecklingen auf Basis einer zerstörungsfreien Messung des Stickstoff- und Kohlenhydratstatus mittels NIRS zu entwickeln. Dazu wird in den komplexen Produktions- und Logistikketten zur Jungpflanzenerzeugung die Persistenz der Abhängigkeit des Bewurzelungspotentials von inneren Qualitätsparametern (Stickstoff, Kohlenhydrate) unter Berücksichtigung der Umweltfaktoren Licht und Temperatur erforscht.

Material und Methoden

Mutterpflanzenbestände von Chrysanthenen (CHRY), Pelargonien (PEL), Poinsettien (POI), Osteospermum (OSTEO) und Impatiens-Neu-Guinea (ING) werden an Standorten weltweit kultiviert. Durch graduierte N-Düngung der Mutterpflanzen (N-Stufen: niedrig, mittel, hoch) werden Stecklinge mit unterschiedlicher Qualität erzeugt. Der Ertrag und die Bewurzelung der geernteten Stecklinge werden erfasst und die Stickstoff- und Kohlenhydratfraktionen (Amid-N, Nitrat-N, Amino-N, Protein-N, Gesamt-N; Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke) analysiert. Die Genotyp- und Umweltreaktionen der N- und KH-Fractionen der Stecklinge werden unter Berücksichtigung von Sorte, Herkunft, N-Düngung und Liefertermin untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Der N-Bedarf für hohen Stecklingsertrag der Mutterpflanzen variiert bei den Pflanzengattungen deutlich (OSTEO>CHRY>POI>PEL>ING). Eine ungenügende Stickstoffdüngung der Mutterpflanzen reduziert den Ertrag und die Qualität. Dabei entwickeln z.B. Osteospermum und Poinsettien unterschiedliche, visuelle N-Mangel-Symptome.

Die Höhe und die Variabilität einzelner N-Fractionen der Pflanzengattungen (ING, PEL, CHRY, OSTEO, POI) ist deutlich genotypisch geprägt (Abb. 1).

Die Genotyp- und Umweltreaktionen der N- und KH-Fractionen zeigen für PEL und CHRY, dass die Inhaltsstoffe in den Stecklingen der Firmen in ähnlichen Bereichen variieren wie experimentell ermittelt. Eine ungenügende N-Düngung reduzierte die Höhe einzelner N-Fractionen (Abb. 2). Im Vergleich zu mittlerem, bedarfsorientiertem Stickstoffangebot reduzierte niedrige N-Düngung die Bewurzelung. Hohe N-Düngung hatte keinen Einfluss auf die Bewurzelung bei Ponsettien (Abb. 3). Exzessiv hohe N-Düngung reduzierte die Bewurzelung einzelner Gattungen (z. B. OSTEO) möglicherweise als Folge von osmotischem Stress. Bei PEL und CHRY zeigen aktuelle NIRS-Kalibrationen für Protein-N und Gesamt-N sehr gute Resultate. Dies lässt den Einsatz von NIRS zur präzisierten N-Düngung und Qualitätskontrolle in der Supply-Chain der Jungpflanzenproduktion von Zierpflanzen möglich erscheinen.

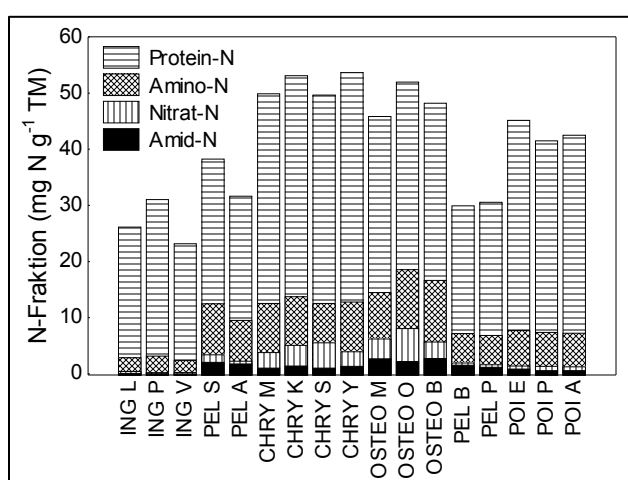


Abb. 1: N-Fractionen in exemplarischen Stecklingsproben der Jungpflanzenbetriebe.

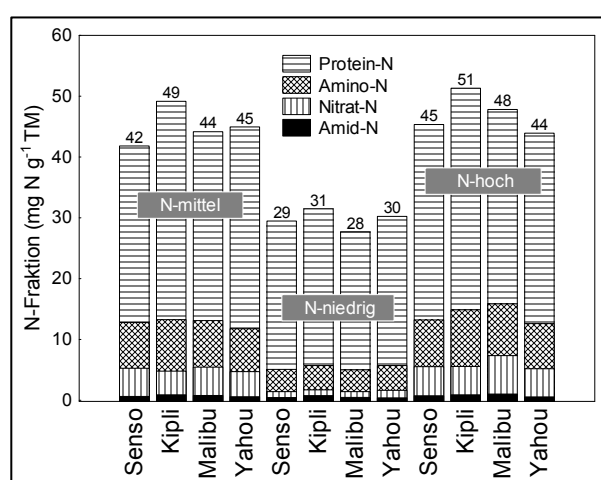


Abb. 2: Die Höhe der N-Fractionen bei graduiertem N-Düngung von vier Chrysanthemensorten.

Literatur

- Druege, U., Zerche, S., Kadner, R. und Ernst, M. 2000: Relation between Nitrogen Status, Carbohydrate Distribution and Subsequent Rooting of Chrysanthemum cuttings as Affected by Pre-harvest Nitrogen Supply and Cold-storage. *Annals of Botany* 85:687-701.
- Zerche S., Druege U. 2009: Nitrogen content determines adventitious rooting in *Euphorbia pulcherrima* under adequate light independently of pre-rooting carbohydrate depletion of cuttings. *Scientia Horticulturae* 121(3):340-347.

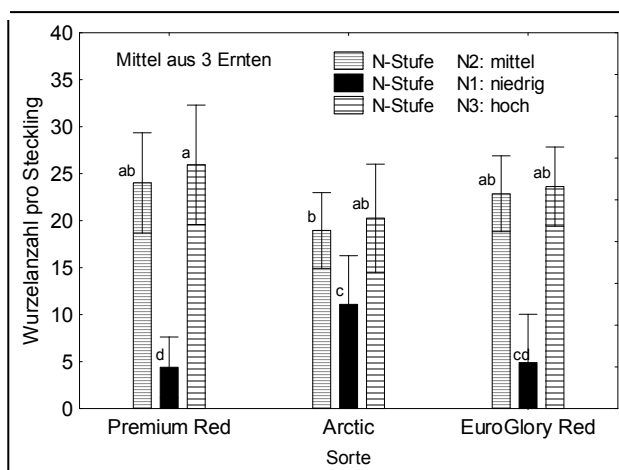


Abb. 3: Wurzelnzahl bei gestaffelter N-Düngung von Poinsettien.

Die Förderung des Verbundprojektes mit Beteiligung der Firmen Dümmen, Endisch und Kientzler erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Wurzeleerträge und Wirkstoffgehalte von Chinesischem Salbei (*Salvia miltiorrhiza* Bunge)

Young-Hyun Sung und Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Gießen. E-Mail: Young.H.Sung@agrar.uni-giessen.de

Einleitung

Der zur Familie der *Lamiaceae* zählende Chinesische Salbei (*Salvia miltiorrhiza* Bunge) ist eine mehrjährige Arzneipflanze, die seit langem in der TCM genutzt wird. Verwendet werden die getrockneten Wurzeln und Rhizome (Danshen), deren Zubereitungen vor allem in China zur Therapie von ischämischen Erkrankungen wie Angina pectoris, Herzinfarkt oder Schlaganfall bzw. Hyperlipidämie eingesetzt werden (Adams et al. 2006, Zhou et al. 2005). Als Wirkstoffe werden die in den Wurzeln vorkommenden Tanshinone angesehen, die eine Diterpen-Struktur besitzen. Es wird vermutet, dass sowohl der Wurzeleertrag als auch die Konzentration an Tanshinonen von genetischen, ökologischen und agronomischen Faktoren abhängig sind. Ziel der Untersuchungen war es daher, den Effekt unterschiedlicher Pflanzendichten und N-Dosierungen auf den Wurzeleertrag und Gehalt an Tanshinonen von Chinesischem Salbei unter Freilandbedingungen in Deutschland zu prüfen.

Material und Methoden

Der zweifaktorielle Feldversuch wurde in den Jahren 2008 und 2009 (Pflanztermin 17.06.2008) am Standort Groß-Gerau mit vier Wiederholungen als Dammkultur (Parzellengröße: 18 m²) angelegt. Der Boden (Sandboden, pH 6,7) wies eine gute P-K- und Mg-Versorgung auf. Die Prüffaktoren waren A-Stickstoffdüngung (30, 60, 120 kg N/ha) und B-Bestandesdichte (5, 10, 20 Pfl./m²). Die Anzucht der Jungpflanzen erfolgte im Gewächshaus mit Original-Saatgut aus China. Die Stickstoffdüngung erfolgte in der intensiven Pflanzenwachstumsphase jeweils in der zweiten Junidekade in beiden Anbaujahren. Die Ernte der Wurzel erfolgte in den ca. zwölf Monaten nach der Pflanzung Anfang Juli im zweiten Anbaujahr. Die Erntefläche betrug 9 m² pro Parzelle. HPLC-Analyse: Extrahiert wurden 500 mg Probe (TS) mit 50 ml Methanol (60 min. Ultraschallbehandlung). Genutzt wurde eine HPLC-Anlage mit folgenden Komponenten: Pumpe: K-1001, Degasser, DAD-Detektor: K-2700 (alles Knauer, Berlin), Säulenofen: K7 (Techlab), Hauptsäule: Synergi 4 μ , Hydro-RP, 80A, 250 x 4,6 mm (Phenomenex). Die Bedingungen der HPLC-Analyse waren: Mobile Phase: Methanol/H₂O (83/17) isokratisch für 45 min., Detektionswellenlänge: 270 nm, Säulentemperatur: 20 °C, Injektionsvolumen: 10 μ l und Flussrate: 1 ml/min. Der Gehalt an Cryptotanshinon, Tanshinon I und IIA wurde mittels externer Standardkalibrierung in Methanolextrakten. Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm PASW 17.0.2 durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Erhöhung der N-Düngung von 30 auf 60 kg N/ha bewirkte einen deutlichen Anstieg der Wurzeleerträge von 16,5 auf 21,0 dt TM/ha, die jedoch statistisch nicht signifikant war (Tab. 1). Bei der weiteren Erhöhung der N-Düngung auf 120 kg N/ha war keine weitere Ertragssteigerung (22,1 dt TM/ha) zu beobachten. Die Erhöhung

der Pflanzendichte bewirkte eine signifikante Änderung der Wurzerträge von Chinesischem Salbei (GD = 5,6 dt/ha). Die Pflanzendichte von 20 Pflanzen/m² war den Vergleichsvarianten signifikant überlegen (Tab. 1).

Im Ergebnis der durchgeführten HPLC-Analysen konnte Tanshinon IIA als die Hauptkomponente der Tanshinone in den Salbeiwurzeln detektiert werden. Die Summe der Tanshinone lag mit 0,46 bis 0,52 % TM auf einem relativ hohen Niveau. Die unterschiedliche Stickstoffdüngung und Bestandesdichte hatten jedoch keinen signifikanten Effekt auf die Konzentration der Tanshinone (Cryptotanshinon, Tanshinon I und IIA) in den Salbeiwurzeln.

Tab. 1: Einfluss unterschiedlicher N-Düngung und Bestandesdichte auf die Wurzerträge und Konzentrationen an Tanshinonen (Cryptotanshinon, Tanshinon I und IIA) in den Wurzeln von *Salvia miltiorrhiza*, Feldversuch Groß-Gerau 2008-2009

N-Düngung (kg N/ha)	Wurzertrag (dt TM/ha)	Konzentration an Tanshinonen (% TM)			
		Cryptotanshinon	Tanshinon I	Tanshinon IIA	Σ
30	16,50	0,14	0,15	0,20	0,49
60	21,00	0,13	0,14	0,22	0,50
120	22,10	0,12	0,13	0,23	0,47
GD _{5%}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Bestandesdichte (Pfl./m ²)					
5	14,30	0,11	0,13	0,21	0,46
10	18,60	0,13	0,13	0,21	0,47
20	26,70	0,14	0,15	0,24	0,52
GD _{5%}	5,6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

n.s.: nicht signifikant

Insgesamt ist festzustellen, dass beim Anbau von Chinesischem Salbei unter den Bedingungen eines Sandbodens (mit Beregnung) höhere Pflanzendichten von 20 Pfl./m² für die Maximierung der Wurzerträge dieser Pflanze von Vorteil sind. Für die Konzentration von Tanshinonen sind die hier geprüften agronomischen Faktoren aber offenbar von untergeordneter Bedeutung.

Literatur

- Adams, J.D., R. Wang, J. Yang, E.J. Lien 2006: Preclinical and clinical examinations of *Salvia miltiorrhiza* and its tanshinones in ischemic conditions. Chinese Medicine. <http://www.-cmjournal.org/content/1/1/3>.
- Zhou, L., Z. Zuo, M.S.S. Chow 2005: Danshen: An overview of its chemistry, pharmacology, pharmacokinetic, and clinical use. The Journal of Clinical Pharmacology. 45:1345-1359.

Koexistenz auf dem Feld: Evaluierung, Modellierung und Bewertung von Intercropping Systemen in China – ein Beitrag zur Theoriebildung und Datensimulation

Heike Knörzer

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

Einleitung

„Die Pflanzen kämpften gegen die Sonne. Und die Ferne, gegen den Horizont zu, war braun bis weithin, wo man nichts mehr sah. Wenn der Staub nur nicht fliegen würde. Wenn die Oberfläche nur auf dem Boden bleiben würde, dann wäre es nicht so schlimm. Die Traktoren durchzogen in geraden Linien kreuz und quer das Land. Sie kümmerten sich nicht um Hügel und Schluchten, nicht um Wasserläufe und Zäune und auch nicht um Häuser.“

(John Steinbeck, „Früchte des Zorns“, 1940)

Ausgedehnte Monokulturen und eintönige Agrarlandschaften mit den damit verbundenen negativen Auswirkungen auf ein Agrarökosystem sind keine Erfindung der Agrarindustrien des 21^{sten} Jahrhunderts. Aufgrund der Mechanisierung der Landwirtschaft und der immensen Steigerung der Schlagkraft auf weitläufigen Flächen erscheinen Monokulturen effizient und produktiv. Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit (ökonomisch, ökologisch, sozial) wäre allerdings lediglich der Ökonomie gedient. Statt Ökologie schlagen Eutrophierung, Erosion, Desertifikation, Reduktion der Biodiversität und Bodendegradationen zu Buche. Auch wenn diese Schlagworte Monokulturen nur überspitzt und restriktiv widerspiegeln, so ist deren Problematik dennoch hinlänglich bekannt.

Negative Auswirkungen einer intensiven Landwirtschaft sind jedoch nicht nur auf die Länder beschränkt, die große Flächen kapitalintensiv bewirtschaften können. Im Vergleich zu den USA oder Europa ist beispielsweise Chinas Landwirtschaft durch Flächenknappheit und trotz zunehmender Mechanisierung in der letzten Dekade in vielen Gebieten nach wie vor durch Handarbeit gekennzeichnet. Die durchschnittliche Betriebsgröße in China liegt unter 1 ha; China hat 20 % der Weltbevölkerung zu ernähren, besitzt aber nur 9 % der weltweiten Ackerfläche, was zu einer intensiven Landbewirtschaftung führt. Intensive Bewässerung, sehr hohe Stickstoff (N)-Düngemittelapplikationen und Pflanzenschutzmaßnahmen verursachen in China Eutrophierung, Erosion, Desertifikation etc.

Angesichts der negativen Auswirkungen intensiver Produktionssysteme rückt eine nachhaltige Landbewirtschaftung in China mehr und mehr in den Fokus von Wissenschaftlern, Politikern und der Öffentlichkeit. Ziel ist die Anpassung und Optimierung derjenigen Anbausysteme, die in China bekannt, tradiert und praktiziert werden, wie beispielsweise Intercropping.

Definiert als der Anbau von zwei oder mehr Feldfrüchten auf der gleichen Fläche und innerhalb der gleichen Vegetationsperiode, bietet Intercropping eine große Bandbreite an Kombinationsmöglichkeiten. Intercropping ist in China weit verbreitet. Schätzungen zufolge wird Intercropping auf rund $\frac{1}{3}$ der Anbaufläche praktiziert. Intercropping-Studien belegen, dass in traditionellen Anbausystemen ein Potential für zukünftige und nachhaltige Produktionssysteme schlummert, wenn diese optimiert

werden. Optimierungsbedarf besteht z.B. hinsichtlich der Fruchtartenkombination, der geeigneten Sortenwahl und der Höhe der Düngemenge. Um dem Paradigma der Nachhaltigkeit gerecht zu werden, muss die Agrarforschung in immer kürzeren Zeitspannen Lösungen und Strategien für angepasste Produktionssysteme bereitstellen. Der Einsatz von computergestützten Pflanzenwachstumsmodellen hat sich dabei als methodisch wertvoll erwiesen.

Wie Intercropping-Systeme gestaltet werden müssen und welche Probleme dabei auftauchen, welche Datengrundlage für eine Modellierung benötigt wird und welche systemimmanenten Interaktionen berücksichtigt werden müssen, sind Gegenstand der Doktorarbeit „Designing, Modeling, and Evaluation of Improved Cropping Strategies and Multi-Level Interactions in Intercropping Systems in the North China Plain“.

Material und Methoden

Datengrundlage der im Rahmen der Dissertation publizierten Studien bildeten Feldversuche in China und Deutschland (Tab.1) in den Jahren 2007 bis 2009.

Auf der Versuchsstation „Wuqiao“ der Chinese Agricultural University (CAU) wurde ein Strip Intercropping-Versuch mit Mais (*Zea mays*)/ Erdnuss (*Arachis hypogaea*) in einer nicht randomisierten vollständigen Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Die Versuche konnten sowohl in China als auch in Deutschland nicht randomisiert werden, weil Strip Intercropping zwingend alternierende Streifen erfordert. Jeder Streifen wurde in Subplots unterteilt, der durch den Abstand zur benachbarten Kultur definiert und in denen jeweils die Daten erhoben wurden.

Das deutsche Pendant wurde auf der Versuchsstation „Ihinger Hof“ (Tab. 1) der Universität Hohenheim durchgeführt. Zwei Strip Intercropping-Versuche wurden angelegt, bestehend aus Mais/Erbse (*Pisum sativum*) und Mais/Weizen (*Triticum aestivum*). Düngung und Pflanzenschutz wurden bei allen Fruchtarten so durchgeführt, dass Nährstoffmangel und Krankheitsbefall minimiert wurden. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass die auftretenden Effekte maßgeblich auf interspezifische Konkurrenz zurückgeführt werden konnten. Während der Vegetationsperiode wurden vier Biomasse- und Kornertragsproben genommen. Wöchentlich wurden mikroklimatische Daten wie Bodentemperatur, Wind-Geschwindigkeit und solare Einstrahlung gemessen sowie Pflanzenhöhe und LAI. Nach der Ernte wurden Ertragsparameter wie TKG, N-Konzentration der Pflanzen und Anzahl ährentragender Halme erfasst.

Tab. 1: Geographische Lage, durchschnittliche Jahrestemperatur, durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge und vorherrschende Böden der beiden Versuchstationen „Wuqiao“ (China) und „Ihinger Hof“ (Deutschland).

	Wuqiao (China)	Ihinger Hof (Deutschland)
Geographische Lage	37.3°N und 116.3°E	48.46°N und 8.56°E
Ø Temperatur	13.1 °C	7.9 °C
Ø Niederschlag	562 mm	690 mm
Boden	Alluviale Böden	Keuper mit Lössschicht

1. Teil: *“Extension and evaluation of intercropping field trials using spatial models”* (Knörzer et al., 2010)

Aufgrund der Tatsache, dass Strip Intercropping nicht oder nur eingeschränkt randomisiert werden kann, wurden die Daten mit Hilfe von Geostatistik ausgewertet. Über unterschiedliche räumliche Modelle (Knörzer et al., 2010) wurde dabei getestet, inwieweit sie eine statistische Auswertung von Intercropping präzisieren können.

2. Teil: *“Integrating a simple intercropping algorithm into CERES-wheat and CERES-maize with particular regard to a changing microclimate within a relay-intercropping system”* (Knörzer et al., 2011)

Mit dem Pflanzenwachstumsmodell DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) war es bislang nicht möglich, Intercropping zu simulieren. Deshalb wurde ein Beschattungs-Algorithmus entwickelt und evaluiert, der die Menge der Solarstrahlung in Abhängigkeit der benachbarten Fruchtart modifiziert. Ebenso wurden mikroklimatische Einflüsse wie Bodentemperatur und Windgeschwindigkeit bei der Modellierung berücksichtigt.

3. Teil: *“Evaluation and performance of the APSIM crop growth model for German winter wheat, maize and fieldpea varieties in monocropping and intercropping systems”* (Knörzer et al., in press)

Exemplarisch für ein prozessorientiertes Pflanzenwachstumsmodell, welches multiple Anbausysteme mit Hilfe des Beer-Lambert’schen Gesetzes simuliert, wurde in Ergänzung zum DSSAT-Modellierungsansatz APSIM (Agricultural Production Systems Simulator) gewählt. Der in APSIM implementierte gängige Ansatz des Beer-Lambert’schen Gesetzes wurde mit dem evaluierten, getesteten und in DSSAT implementierten Beschattungs-Algorithmus verglichen.

Ergebnisse und Diskussion

1. Teil: *“Extension and evaluation of intercropping field trials using spatial models”* (Knörzer et al., 2010)

Da Intercropping-Versuche aufgrund ihrer zwangsläufig streifenförmigen Anordnung nicht randomisiert werden können, gestaltet sich deren statistische Auswertung als speziell. Intercropping bedarf einer räumlichen Betrachtungsweise, um ertragsrelevante Effekte adäquat abzuschätzen und statistisch abzusichern. Insbesondere für die Versuche in China zeigte sich, dass die Verwendung des „Gaussian Model“ und des „Linear Variance Model“ einen verbesserten Model Fit ergaben als das „Baseline Model“.

2. Teil: *“Integrating a simple intercropping algorithm into CERES-wheat and CERES-maize with particular regard to a changing microclimate within a relay-intercropping system”* (Knörzer et al., 2011)

Mit dem evaluierten und in DSSAT implementierten Beschattungs-Algorithmus konnten die durchgeführten Intercropping- und Monocropping-Versuche mit einem RMSE von 2168 kg ha⁻¹ (Biomasseertrag) und 945 kg ha⁻¹ (Kornertrag) bei Mais und 779 kg ha⁻¹ (Biomasseertrag) und 300 kg ha⁻¹ (Kornertrag) bei Weizen adäquat simuliert werden (Abb. 1). Der Weather-Input-File wurde gemäß des Beschattungsgrades modifiziert. In diesem Ansatz wurde zusätzlich berücksichtigt und getestet, dass Konkurrenz um solare Einstrahlung nicht die einzig bestimmende ist. Der Beschattungs-Algorithmus konnte zwar einen Teil des Ertragszuwachses im Intercropping erklären, allerdings erst die Modifizierung des Boden-Stickstoffgehaltes aufgrund veränderter Bodentemperaturen bzw. die Modifikation der CO₂-Assimilation

aufgrund veränderter Windgeschwindigkeiten im Bestand führte zu einer adäquaten Simulation der erzielten Erträge. Der Allokation von Pflanzenwachstumsfaktoren in Raum und Zeit kommt in Intercropping-Systemen eine größere Rolle zu als deren absolute Höhe oder Menge. Mikroklimatische Effekte müssen berücksichtigt werden, um die Modellierung von Strip Intercropping weiterhin zu optimieren.

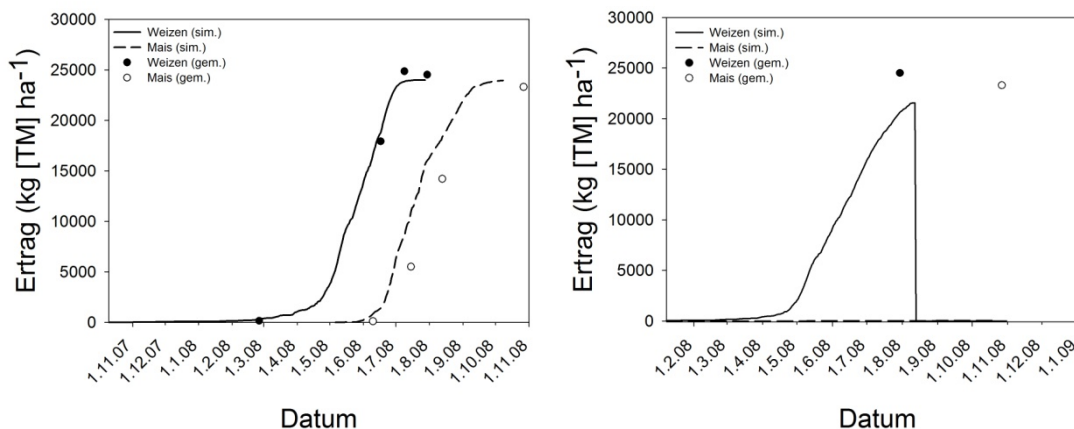


Abb. 1: Mit DSSAT (li.) und APSIM (re.) simulierte und gemessene Biomasseerträge von Weizen/Mais-Intercropping-Feldversuchen 2008.

3. Teil: "Evaluation and performance of the APSIM crop growth model for German winter wheat, maize and fieldpea varieties in monocropping and intercropping systems" (Knörzer et al., in press)

Der erweiterte methodische Ansatz mittels eines modifizierten Beer-Lambert'schen Gesetzes, wie er in APSIM verwendet wird, zeigte, dass es nicht möglich war, Strip Intercropping adäquat zu simulieren (Abb. 1). Unter der Voraussetzung, dass es im Strip Intercropping einen Gewinner und einen Verlierer gibt, das heißt, dass eine Kulturart mehr Sonnenlicht erhält als im Monocropping und eine andere dafür weniger, ist der Beer-Lambert'sche Ansatz vielversprechend und verwendbar. Die Kompensationsfähigkeit einer Fruchtart kann jedoch nicht simuliert werden, ebenso keine Ertragssteigerung der im System dominanten Fruchtart. Eine Ressourcen-Verteilung kann simuliert werden, allerdings nicht der Umstand, dass die Ressourcenverteilung in Strip Intercropping anderen Gesetzen zu unterliegen scheint als im Monocropping oder Mixed Cropping. Außerdem ist Konkurrenz um solare Einstrahlung zwar ein wichtiger Einflussfaktor in Intercropping, allerdings nicht der einzige und möglicherweise auch nicht der dominierende.

Literatur

- Knörzer, H., B.U. Müller, B. Guo, S. Graeff-Hönninger, H.-P. Piepho, P. Wang, W. Claupein 2010: Extension and evaluation of intercropping field trials using spatial models. *Agronomy Journal* 102:1023-1031.
- Knörzer, H., H. Grözinger, S. Graeff-Hönninger, K. Hartung, H.-P. Piepho, W. Claupein 2011: Integrating a simple intercropping algorithm into CERES-wheat and CERES-maize with particular regard to a changing microclimate within a relay-intercropping system. *Field Crops Research* 121:274-285.
- Knörzer, H., R. Lawes, M. Robertson, S. Graeff-Hönninger, W. Claupein 2011: Evaluation and performance of the APSIM crop growth model for German winter wheat, maize and fieldpea varieties in monocropping and intercropping systems. *Journal of Agricultural Science and Technology* (in press).

Erstellung und Optimierung von Anbaukonzepten für die Biogasproduktion in Baden-Württemberg

Karin Wünsch

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart. E-mail: karin.wuensch@uni-hohenheim.de

Einleitung

Die Nutzung erneuerbarer Energien zur Strom-, Wärme- und Kraftstofferzeugung soll auf Bundes- und Landesebene weiter ausgebaut werden. Einen Beitrag zur energetischen Verwertung von Biomasse leisten Biogasanlagen mit Co-Fermentation von Energiepflanzen und nachgeschalteten Blockheizkraftwerken. Die Anzahl der Biogasanlagen nimmt in Deutschland jährlich zu. Derzeit sind rund 6 000 Anlagen mit einer installierten Leistung von knapp 2 300 MW_{el} in Betrieb, wovon sich über zwei Drittel in Süddeutschland befinden (BMU 2010). Die Flächen, die für die Produktion von pflanzlichem Biogassubstrat zur Verfügung stehen, sind dagegen begrenzt, da auch noch Nahrungs- und Futtermittel angebaut werden. Um auch in Zukunft eine steigende Anzahl von Biogasanlagen ausreichend mit geeignetem Substrat zu versorgen, unter Beibehaltung der Nahrungs- und Futtermittelproduktion, bedarf es einer veränderten bzw. optimierten Konzeption der Anbausysteme. Die Biomasse soll energetisch optimal und ressourcenschonend produziert werden, wobei eine Erhöhung der Nutzpflanzendiversität durch Erweiterung des Energiepflanzen-sortiments wünschenswert ist. Gleichzeitig ist es wichtig, hohe Biomasseerträge zu erzielen, da das Methanertragspotential mit steigendem Trockenmasseertrag zunimmt (Böhmel 2009). Im Rahmen eines Teilprojekts des Projekts „Zukunfts-offensive IV – Bioenergieforschungsplattform Baden-Württemberg“ des Ministeriums für Ländlichen Raum, Ernährung und Verbraucherschutz Baden-Württemberg wurden diese Aspekte untersucht. Hierbei standen die folgenden Versuchsfragen im Vordergrund:

- Welche Kulturarten eignen sich zur Bereitstellung von Biomasse für die Biogasproduktion unter spezifischen Standortbedingungen in Baden-Württemberg?
- Welches Produktionssystem ermöglicht einen ertragreichen Anbau von Energiepflanzen bei gleichzeitig möglichst geringem Input an Betriebsmittel und Energie?
- Kann die Produktivität „neuer“ Energiepflanzen durch die standortspezifische Erweiterung von Anbauhinweisen noch verbessert werden? Ist es möglich, diese Energiepflanzen auch in die Fruchtfolge zu integrieren?
- Lassen sich die Erkenntnisse der Versuche in die landwirtschaftliche Praxis umsetzen und welche Vorzüge ergeben sich dafür für einen Bioenergiebetrieb?

Material und Methoden

Auf den Versuchsstationen Unterer Lindenhof (Vorland der Schwäbischen Alb, 8,5 °C Jahrestemperatur, 887 mm Jahresniederschlag im langjährigen Mittel) und Oberer Lindenhof (Albhochfläche, 6,9 °C Jahrestemperatur, 938 mm Jahresniederschlag im langjährigen Mittel) der Universität Hohenheim wurden zu diesen Fragestellungen in den Vegetationsperioden 2006/07 bis 2009/10 vier Feldversuche durchgeführt. In einem Kulturartenversuch (V1) wurden neun Kulturarten (Mais früh, Mais spät, Topinambur, Sudangras, Sommerweizen, Wintertriticale, Weidelgras, Klee gras und Sonnenblume) bei variiertem Stickstoffversorgungs (ungedüngt, 50 %

bzw. 100 % des zu erwartenden Entzuges) getestet. In einem Fruchtfolgeversuch (V2) wurden Anbausysteme unterschiedlicher Intensität über einen Zeitraum von drei Jahren getestet: Mais als annuelle Monokultur (a-M); Weidelgras und Topinambur als perennierende Kulturen in Monokultur (p-WG bzw. p-Topi); 3-gliedrige Fruchtfolge Wintertriticale – Klee-gras – Sorghum (FF-3); 4-gliedrige Fruchtfolge Wintertriticale – Landsberger Gemenge – Mais – Winterweizen (FF-4). Folgende pflanzenbaulich relevanten Parameter wurden in V1 und V2 erhoben bzw. berechnet: Trockenmasseertrag, Nährstoffbilanz, Pflanzeninhaltsstoffe und Produktionskosten. Ein weiterer Feldversuch (V3) diente zur Bestimmung des optimalen Erntezeitpunktes und der Düngeempfehlung von Sudangras und Topinambur. Dazu wurden zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien beerntet und Trockenmasseerträge, Biomassezuwachs, Silierbarkeit des Erntematerials und N_{\min} -Gehalte ermittelt. Im Rahmen der Einführung von Topinambur als „neue“ Energiepflanze in die Fruchtfolge wurde die Durchwuchsproblematik der Knollen untersucht (V4). Zwei verschiedene Rodungsmethoden (Rodung mit Weideschweinen und maschinelle Rodung) wurden verglichen (Wünsch et al. 2011). Auf Basis der Ergebnisse wurden die Anbauplanung und das Management eines Modellbetriebs mit Biogasanlage modifiziert und anhand von Energie-, Kosten- und Nährstoffbilanzen bewertet.

Ergebnisse und Diskussion

In V1 wurde ausschließlich die grundsätzliche Eignung verschiedener Kulturarten zur Biogassubstraterzeugung ermittelt. In allen drei Versuchsjahren erzielten Topinambur und Sudangras im Vergleich zu Silomais ($14\text{-}18\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$) auch sehr hohe Trockenmasseerträge ($16\text{-}17\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ bzw. $15\text{-}16\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$), während die Ertragsleistungen von GPS-Getreiden ($10\text{-}12\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$), Weidel- und Klee-gras ($11\text{-}13\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$) sowie Sonnenblume ($9\text{-}10\text{ t ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$) am Versuchsstandort Unterer Lindenhof signifikant niedriger waren (Abb. 1). Mit steigender Stickstoffdüngung konnten generell höhere Trockenmasseerträge erzielt werden.

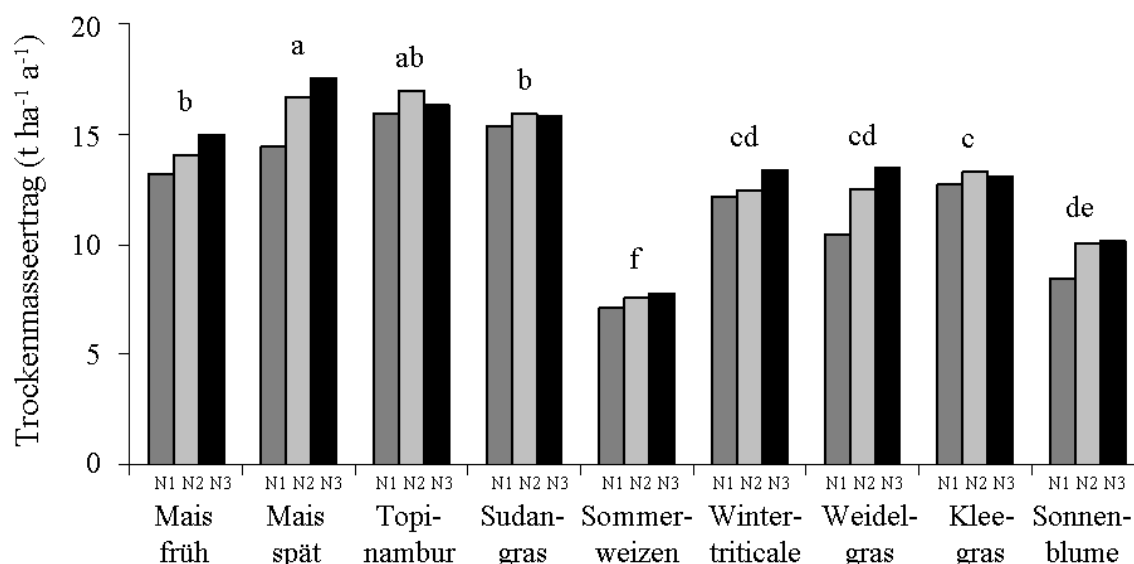


Abb. 1: Durchschnittliche Trockenmasseerträge verschiedener Arten von Bioenergiepflanzen bei 3 Dünge-stufen (N1: ungedüngt, N2: 50 %, N3: 100 % des zu erwartenden Entzuges) am Standort Unterer Lindenhof

Der Fruchtfolgeversuch (V2) ergab in der klimatisch ungünstigen Region am Standort Oberer Lindenhof die höchsten Trockenmasseerträge bei Topinambur in Monokultur ($30\text{--}35\text{ t ha}^{-1}\text{ 3a}^{-1}$), während Mais in Monokultur ($19\text{--}27\text{ t ha}^{-1}\text{ 3a}^{-1}$) und die beiden geprüften Fruchtfolgen ($17\text{--}28\text{ t ha}^{-1}\text{ 3a}^{-1}$) etwas niedrigere Erträge erzielten (Abb. 2). Die reinen Produktionskosten lagen bei allen Anbausystemen auf ähnlichem Niveau ($3800\text{ € ha}^{-1}\text{ 3a}^{-1}$). Als ökonomisch und ertraglich am günstigsten zeigte sich FF-3 (3-gliedrige Fruchtfolge mit Wintergetreide – Leguminosen – C₄-Pflanzen), die relativ einfach in die landwirtschaftliche Praxis umgesetzt werden kann.

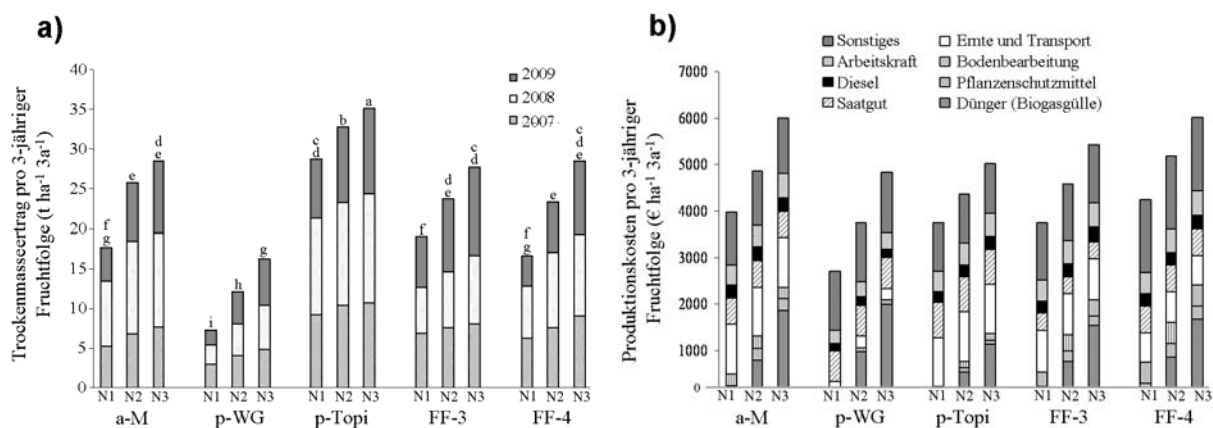


Abb. 2: Kumulierte a) Trockenmasseerträge und b) Produktionskosten 3-jähriger Fruchtfolgen mit Bioenergiepflanzen (a-M: Mais, p-WG: Weidelgras, p-Topi: Topinambur, FF-3: 3-gliedrige Fruchtfolge, FF-4: 4-gliedrige Fruchtfolge) für jeweils 3 Düngestufen (N1: ungedüngt, N2: 50 %, N3: 100 % des zu erwartenden Entzugs) am Standort Oberer Lindenhof

V3: Entscheidend für hohe Biomasseerträge war vor allem der Erntezeitpunkt (Tab. 1). Zur Erweiterung des Energiepflanzenspektrums und der Reduzierung des Maisanteils in der Fruchtfolge können unter anderem Sudangras und Topinambur beitragen. Sudangras erzielte die höchsten Erträge bei einem möglichst späten Erntetermin im Oktober bzw. nach Abschluss des Rispschiebens. Topinambur sollte im blühenden Zustand geerntet werden (im Versuch: September). Bei früheren Ernten wurden vor allem bei Sudangras zu niedrige TS-Gehalte ermittelt, um die Silierbarkeit zu gewährleisten. Bei späteren Ernten kam es bei beiden Kulturarten zu Ertragsrückgang durch Lagerneigung des Bestandes.

V4: Die Rodung von Topinambur mit Hilfe von Weideschweinen stellte eine effiziente Möglichkeit zur Vermeidung von Durchwuchspflanzen in der nachfolgenden Kultur dar, auch wenn dies wohl nur auf kleinen Flächen einiger Betriebe umsetzbar sein dürfte (Rodeleistung pro Tier und Tag zwischen $0,3$ und $0,4\text{ m}^2$ Topinamburfläche). Langwieriger, aber auch großflächig praktikabel ist die Etablierung von Klee grasbeständen im Anschluss an die maschinelle Rodung. Durch mehrjährige, intensive Schnittnutzung wird die Wiederaustriebskraft der Durchwuchspflanzen geschwächt (Daten nicht gezeigt).

Dies lässt sich darauf zurückführen, dass in der optimierten Fruchtfolge der Maisanbau anteilig durch Sudangras ersetzt wurde (mit bis zu $2\text{ t TM ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ höheren Trockenmasseerträgen an geeigneten Standorten) und dass mehr Getreide für die Kornnutzung (mit 73 % größter Anteil an zugekauftem Substrat) integriert wurde. Zudem wurde die Energiebilanz durch die Bewirtschaftung mit low-input-Verfahren,

wie zum Beispiel reduzierte Bodenbearbeitung oder Verzicht auf Pflanzenschutzmittel und mineralischen Dünger, begünstigt. Durch Rückführung der Gärreste in Form von Dünger konnte eine ausreichende Nährstoffversorgung sichergestellt werden.

Tab. 1: Varianztabelle für den Einfluss von Jahr (2009 und 2010), Erntezeitpunkt (früh, mittel und spät) und Stickstoffdüngung (ungedüngt, mittel und hoch) auf den Trockenmasseertrag von Sudangras und Topinambur am Standort Unterer Lindenhof

	Sudangras		Topinambur	
	F-Wert	P-Wert	F-Wert	P-Wert
Jahr (J)	0,72	0,401	2,44	0,134
Erntezeitpunkt (E)	5,52	*	18,78	*
Stickstoffdüngungsstufe (N)	0,00	0,991	6,21	*
E × J	2,60	0,087	2,93	0,061
E × N	0,17	0,842	0,47	0,755

Die Erstellung und Optimierung des Anbaukonzepts erfolgte anhand der Ergebnisse der Feldversuche unter definierten Standort- und Klimabedingungen. Da Baden-Württemberg nach den natürlichen Faktoren Relief, Klima und Boden in sechs Großlandschaften gegliedert werden kann, bedurfte es standortspezifischer Anpassungen der Anbaukonzepte für charakteristische Regionen. Das Bioenergiepotential konnte dadurch von 3-32 GJ ha⁻¹ a⁻¹ auf 11-36 GJ ha⁻¹ a⁻¹ in unterschiedlichen Regionen gesteigert werden.

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass bei der Produktion von Biomasse für die energetische Verwendung in Form von Biogas noch Optimierungen zur Effizienzsteigerung möglich sind und dass der Anteil der Energiebereitstellung durch Biomasse in Baden-Württemberg derzeit noch vergrößert werden kann. Die entwickelte Methodik kann durch andere Konversionstechnologien erweitert und auf jede Region übertragen werden. Dadurch kann ein wesentlicher Beitrag zur Abschätzung des möglichen Ausbaus der erneuerbaren Energien auf Landes- und Bundesebene geleistet werden.

Literatur

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) 2010: Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklungen. Berlin, Referat Öffentlichkeitsarbeit.
- Böhmel, C. 2009: Angebaute Biomasse – Zucker- und Stärkepflanzen. In: Kaltschmitt, M., H. Hartmann, H. Hofbauer (Hrsg.) Energie aus Biomasse. 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Deutschland.
- Wünsch, K., S. Maier, S. Gruber, W. Claupein 2011: Rodung von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) mit Weideschweinen im Vergleich zu maschineller Rodung. Journal für Kulturpflanzen 63:179-185.

Grasping the complexity of intercropping – Developing and testing an integrated decision support system for vegetable production in the North China Plain

Til Feike

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340a), Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: tilfeike@uni-hohenheim.de

Introduction

To feed its 1.3 billion and still growing population on declining land resources, China has to find new ways to ensure food security in a long run. In that respect, production of vegetables can fulfill two tasks i) provision of nutritional quality and ii) generation of income to reduce the ever widening rural-urban income gap. Intercropping, which is a traditional cropping system in China, is considered a means of producing high and stable yields with limited inputs (Zhang and Li 2003). Those potential advantages of intercropping could help to counteract the severe resource degradation the North China Plain (NCP), one of China's most important agricultural regions, is experiencing in the last decades. The question remains, under what conditions the benefits of intercropping can be utilized, and in what way agricultural research can contribute to tap the full potential of intercropping to foster a sustainable rural development in China. To answer these questions the present work integrated a wide range of nowadays agronomic research tools.

Materials and Methods

To detect and describe the status quo of vegetable intercropping in the NCP, a qualitative inquiry was conducted from autumn 2007 to spring 2008. Researchers, extensionists, and farmers were interviewed on prevailing intercropping production systems. Farmers' underlying motives and concepts, and the knowledge transfer systems involved were evaluated. Additionally available secondary production data were analyzed to understand the ongoing changes in China's agricultural sector and its impact on farm management and cropping practices. Based on those findings field and greenhouse experiments were designed accordingly, following an agronomic modeling approach.

The combination of Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*) and maize (*Zea mays* L.) was selected, as it is a traditional intercropping system, with strong interspecific effects and both crops being of highest agronomic and economic importance in the study region. In the course of this study, the two crops were strip intercropped in four field experiments at three sites in Germany and in China in 2008 and 2009.

To understand, explain and predict plant behavior under the impact of complex cropping structures, crop growth models present a viable and powerful tool. However, two constraints had to be overcome within the framework of this research work i) Chinese cabbage is not integrated in common process-oriented crop growth models, ii) a method had to be developed to quantify resource competition and to simulate intercropping. Therefore the integration of Chinese cabbage, the number one field vegetable of China, into the CROPGRO model constituted the first step for the simulation of intercropping systems in China. Two greenhouse experiments, testing crop growth and development under different temperature regimes, served as

the data base for the accurate parameterization of Chinese cabbage. The further adjustment and testing of the model was then executed on up to six independent data sets obtained from the field experiments.

Optimum input levels of irrigation and fertilizer, as well as optimum planting dates were identified for the Chinese experimental site running sensitivity analysis in CROPGRO on nine years of actual weather data.

One key to successfully simulate intercropping systems is the knowledge on changes in resource availability compared to monocropping. Using polynomial regression the differences in total daily available radiation in any location of the Chinese cabbage strips were calculated from measured PAR (photosynthetically active radiation) point data (Feike et al. 2010c). By refining the method, the total daily incoming radiation in Chinese cabbage strips (between maize strips) of any hypothetical widths can be calculated.

Finally the “environmental modifications” option of CROPGRO was employed to simulate the effects of the estimated reduction in incoming radiation in Chinese cabbage strips of three and six rows between maize strips. Simulations were conducted over up to thirty years of weather data of 12 locations throughout the NCP, and were additionally tested on five different soil texture types. The results were extended over the entire NCP by linking them to a GIS.

Results and Discussion

The qualitative inquiry revealed a huge variety of intercropping systems being practiced by farmers in the NCP (Feike et al. 2010b). When evaluating the prevailing systems against the background of the rapidly changing socio-economic frame conditions for farming in rural China, it became obvious that a great proportion of the systems practiced nowadays are prone to extinction in a long run. With people moving out of agriculture and the use of agricultural machinery rapidly increasing, the very hand labor intensive row-intercropping systems are impracticable. To adapt the systems to the demands of modern agriculture, it was concluded that the traditional row-systems need to be converted into strip-intercropping systems that can be mechanized (Feike et al. 2010a). If the potential agronomic and environmental benefits of intercropping should be maintained in such strip-intercropping systems, the crucial question is: what is the optimal strip width for any given location.

First Chinese cabbage had to be integrated into CROPGRO. Model adjustments were conducted based on the existing cabbage (*Brassica oleracea* convar. *capitata*) model. Cardinal temperatures were identified by correlating mean relative growth rates and mean leaf appearance rates to temperature as obtained from greenhouse and field experiments. Minimum growth temperature was identified at 0°C, optimum temperature ranged between 14°C and 24°C, and maximum temperature was set to 34°C. Further major changes included the chemical composition of plant tissue, as well as leaf growth and photosynthesis parameters. Parameter optimization was executed focusing on total above ground dry matter (DM), head DM and leaf area index. The model predicted the development and final head DM, which represents the economic tissue of Chinese cabbage very well (Fig.1).

The results of the sensitivity analysis conducted for the Chinese experimental site showed that an increase of nitrogen input from 100 to 200 kg N ha⁻¹ does not lead to a significantly higher yield level. End of August was identified to be the latest recommendable sowing date that ensures a high production potential.

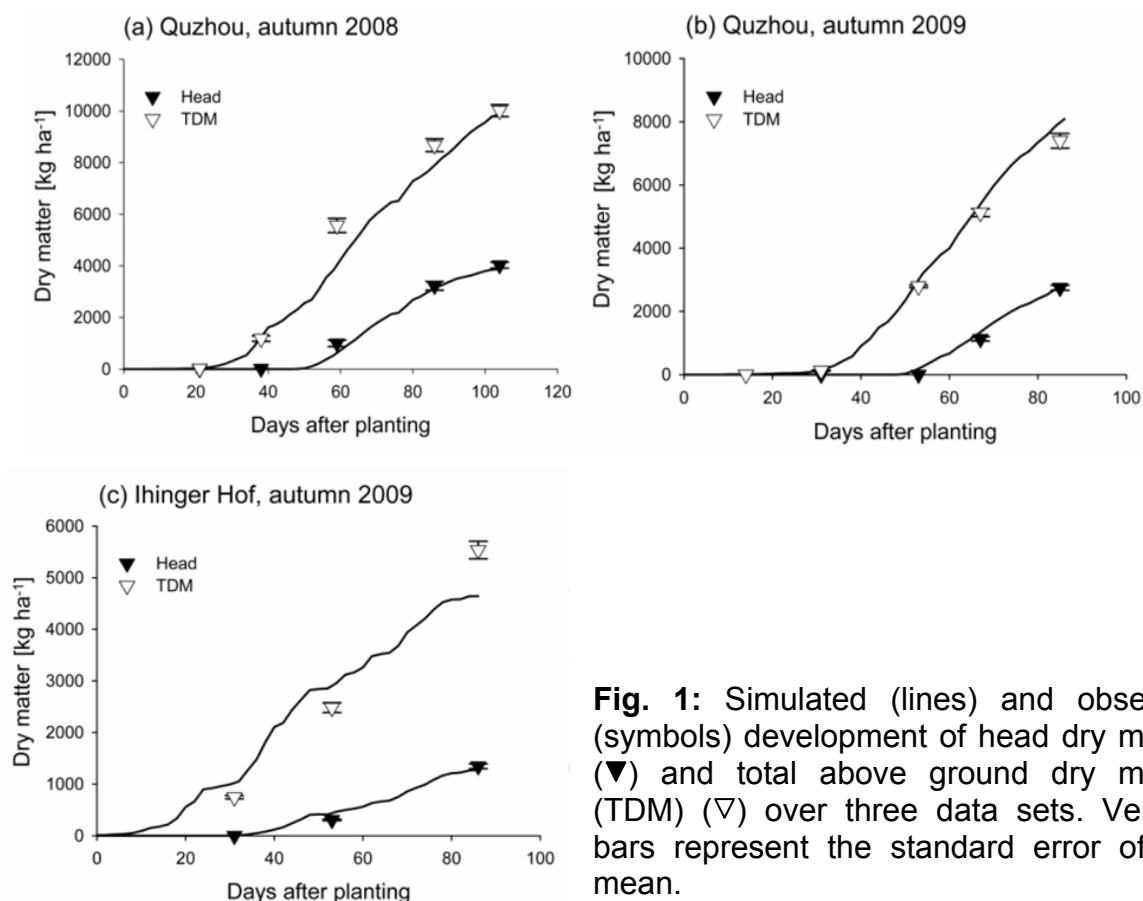


Fig. 1: Simulated (lines) and observed (symbols) development of head dry matter (\blacktriangledown) and total above ground dry matter (TDM) (∇) over three data sets. Vertical bars represent the standard error of the mean.

According to the results of the field experiments, a reduction in available radiation due to the shading by the neighboring maize not automatically caused significant yield losses in Chinese cabbage compared to monocropping. At the German experiment site, which is located at much higher latitude compared to the Chinese site, incoming daily radiation was approximately half of the available radiation in China. Consequently, a similar degree of shading by maize at both sites resulted in a significant yield reduction at the German site, while yields were not reduced in China, due to the per se higher solar radiation. Testing the model under reduced incoming radiation conditions showed satisfactory simulation results.

When estimating the production potential of strip-intercropped Chinese cabbage over the entire NCP, yield reductions of more than 15% were predicted in the narrow strips (three rows) with strong shading (Fig. 2). Observed effects were stronger in the north compared to the south. In the wider strips (six rows) with a lower degree of shading, even yield increases could be observed at some locations and soil types.

Conclusions

The developed approach constitutes a reliable decision support for the optimization of the spatial arrangements in Chinese cabbage strip intercropping systems, according to local soil and climate conditions. The described approach can be extended to develop a comprehensive decision support system that allows testing of various intercrop combinations under a wide range of climatic and especially radiation environments.

The presented research work is a valuable contribution to the development of sustainable vegetable production systems in the NCP. A new method to quantify

availability of solar radiation in strip intercropping was developed, which can be applied in various other intercropping systems.

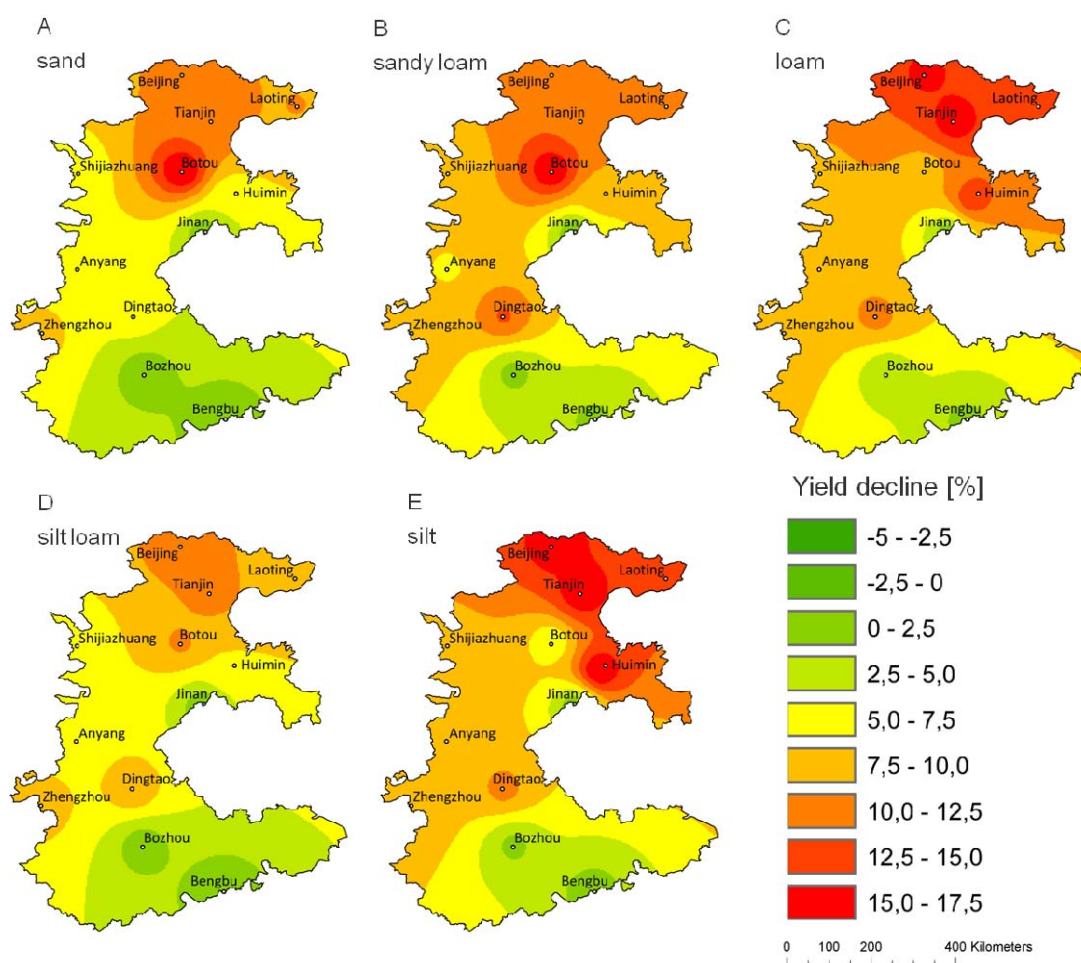


Fig. 2: Simulated yield decline [%] of Chinese cabbage grown in a three row strip intercropping system compared to monocropping over five soil texture classes for the entire North China Plain.

The integration of Chinese cabbage into CROPGRO offers great opportunities not only for studying intercropping systems, but also for improving input levels and resource use efficiency in Chinese cabbage production in China and throughout the world. Understanding farmers' concepts and estimating the production potential of intercropped Chinese cabbage created additional value, which substantially contributes to realizing the potential of intercropping in the NCP.

References

- Feike, T., Q. Chen, J. Pfenning, S. Graeff-Hönninger, G. Zühlke, W. Claupein 2010a: How to overcome the slow death of intercropping in China. In: Darnhofer, I. and Grötzer, M. (eds.): Building sustainable rural futures. Proceedings of the 9th European IFSA Symposium, 2149-2158.
- Feike, T., Q. Chen, S. Graeff-Hönninger, J. Pfenning, W. Claupein 2010b: Farmer-developed vegetable intercropping systems in southern Hebei, China. *Renewable Agriculture and Food Systems* 25(4):272-280.
- Feike, T., S. Munz, S. Graeff-Hönninger, Q. Chen, J. Pfenning, G. Zühlke, W. Claupein 2010c: Light competition in Chinese cabbage/maize strip intercropping systems. *GI-Edition – Lecture Notes in Informatics (LNI) "Precision Agriculture Reloaded – Informationsgestützte Landwirtschaft"*, 65-68.
- Zhang, F., L. Li 2003: Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil* 248:305-312.

Modellgestützte Analyse von Pflanzenanbausystemen für die Biogasproduktion

Babette Wienforth

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

Einleitung

Bedingt durch seine hohen realisierbaren Biomasseerträge ist Silomais derzeit mit einem Anteil von ca. 80 % die dominierende Kulturart im Energiepflanzenanbau für die Biogaserzeugung. Dies führt zunehmend zu einer Intensivierung der Silomaisproduktion hin zu mehr Maisanbau in Monokultur oder in Fruchtfolgen mit hohen Silomaisanteilen sowie zu einer Ausdehnung des Maisanbaus auf für den Mais eher untypische Standorte. Neben Fragen bezüglich der Umweltwirkungen einer gestiegenen Silomaisproduktion ergeben sich hieraus auch Fragen bezüglich der Produktivität von Silomais auf Grenz- und Hohertragsstandorten. Für eine effiziente Biogasproduktion sind hohe Biomasseerträge grundlegend, da sie sowohl ökonomisch als auch hinsichtlich des CO₂-Einsparungspotenzials von großer Bedeutung sind. Die Produktivität von Anbausystemen ist zunächst eine Funktion der Strahlungsaufnahme von photosynthetisch aktiver Strahlung (PAR) sowie deren Transformation in pflanzliche Biomasse. Zur Realisierung hoher Erträge müssen somit sowohl die Höhe und Dauer der Strahlungsaufnahme als auch die Lichtnutzungseffizienz (LUE) maximiert werden (Loomis and Amthor, 1999 *Kapitel 2*). Temperatur- oder Trockenstress können Q und LUE negativ beeinflussen und dadurch ertragslimitierend wirken.

Ziel dieser Arbeit war es zum einen, mit Hilfe eines neu entwickelten Pflanzenwachstumsmodells für Silomais, mittels Simulationsstudien, die Ertragspotenziale, mittleren Erträge und Ressourcennutzungseffizienzen von Silomais an drei verschiedenen Standorten in Deutschland zu quantifizieren und so die Ertragslimitierung durch Temperatur- und Trockenstress an diesen Standorten zu analysieren. Zum anderen sollten unter den klimatischen Bedingungen Schleswig-Holsteins (kühle Temperaturen, hohe gleichmäßig verteilte Niederschläge) alternative Anbausysteme für die Biogasproduktion hinsichtlich ihrer Produktivität geprüft werden. Hierfür wurden mittels modellgestützter Datenanalyse die Ertragsleistungen und Ressourcennutzungseffizienzen von intensiven Fruchtfolgen, die C₃- und C₄-Pflanzen kombinieren und Winterzwischenfrüchte integrieren, und von Dauergrünland mit denen von Maismonokulturen verglichen.

Material und Methoden

Für die modellbasierte Analyse des Ertragspotenzials von Silomais wurde ein für temperierte Klimate entwickeltes und angepasstes Pflanzenwachstumsmodell für Silomais verwendet. Neben der LUE-basierten Berechnung der Trockenmasseproduktion, werden die Stoffverteilung auf Blatt, Stängel, Kolben und Wurzeln sowie die Blattflächenexpansion und die räumliche Wurzelverteilung empirisch-dynamisch berechnet. Über die Kopplung an ein Bodenwasserhaushaltsmodell und ein Modul zur Berechnung der Evapotranspiration kann der Wasserhaushalt und dessen Wirkung auf das Pflanzenwachstum abgebildet werden. Die negative Wirkung von Trocken- und Temperaturstress auf den Trockenmassezuwachs wird zum einen durch das Verhältnis von aktueller zu potenzieller Transpiration (T_{act} / T_{pot}) und zum anderen durch eine aus einer Temperaturoptimumsfunktion (Basistemperatur 6 °C)

resultierenden Temperaturfaktor f_T abgebildet. Mit Hilfe dieses Modells wurde eine *ex-post*-Simulationsstudie unter Berücksichtigung 35-jähriger Wetterdaten der Standorte Holtenau bei Kiel (HA), Magdeburg (MA) und Regensburg (RE) durchgeführt. Die Standorte unterscheiden sich hauptsächlich bezüglich der mittleren Temperaturen von Mai bis einschließlich September (14,7 °C in HA, 15,9 und 16 °C in MA und RE) und hinsichtlich der während der Vegetationsperiode zur Verfügung stehenden Wassermenge (Summe aus Niederschlagsmenge und pflanzenverfügbarem Bodenwasser zur Aussaat: 510 mm in HA, 450 mm in MA und 440 mm in RE). Für alle drei Standorte wurden jeweils zwei Szenarien berechnet: mit Trockenstresseinfluss ($,mTr'$) und ohne Trockenstresseinfluss ($,oTr'$), letzteres unter der Annahme, dass die aktuelle gleich der potenziellen Transpiration ist.

Für den Vergleich unterschiedlicher Energiepflanzenanbausysteme zur Produktion von Biogas wurde an zwei Orten in Schleswig-Holstein, Hohenschulen (HS) und Karkendamm (KD), ein zweijähriger (2007-08) Feldversuch durchgeführt. In HS (Bodentextur: sL4) wurden die intensivierten Fruchtfolgen FF2: Silomais - GPS - Weizen - Ackergras in Zwei-Schnittnutzung (Winterzwischenfrucht), sowie FF3: Silomais - Körnerweizen - Senf (Winterzwischenfrucht) mit einer Maismonokultur (FF1) verglichen. In KD (Bodentextur: sS) wurde die Maismonokultur (FF1) ausschließlich gegen ein Dauergrünland in Vier-Schnittnutzung (FF4) getestet. Die erhobenen Daten bezüglich der zeitlichen Entwicklung des Bestandesflächenindex (GAI) und der Bestandeshöhe wurden mit Hilfe eines einfachen Fruchtfolgenmodells linear interpoliert. Hierüber wurden dann Strahlungsaufnahme, Transpiration und Evaporation berechnet, so dass neben dem Biomasseertrag (TM [$g\ m^{-2}$]) auch die Licht- (LUE [$g\ MJ^{-1}$]), die Wasser- (WUE [$g\ L^{-1}$]) und die Transpirationseffizienz (TUE [$g\ L^{-1}$]) als Parameter zur Bewertung und Analyse der Produktivität der Anbausysteme zur Verfügung standen.

Ergebnisse und Diskussion

Simulationsstudie zu den Ertragspotenzialen von Silomais

Die unter voller Wasserverfügbarkeit simulierten mittleren Ertragspotenziale ($,oTr'$) waren mit ca. 30 t ha⁻¹ in MA und RE höher als in HA (ca. 25 t ha⁻¹) (Tab.1). Da dieses Szenario Ertragslimitierungen sowohl durch suboptimale Bestandesführung als auch durch Trockenstress ausschließt und da vor allem zwischen HA und MA keine großen Standortunterschiede bezüglich der Globalstrahlungsmengen feststellbar waren (Mai bis September: 2515 MJ m⁻² in HA, 2573 MJ m⁻² in MA und 2686 MJ m⁻² in RE), können die beobachteten Unterschiede im Ertragspotenzial nur auf unterschiedliche Temperatureffekte an den Standorten zurückzuführen sein. Suboptimale Temperaturen beeinflussen die metabolischen Prozesse direkt negativ und reduzieren somit den TM-Zuwachs (Andrade et al., 1993). Dieser direkte Einfluss der Temperaturlimitierung bewirkt also eine Reduktion der LUE, die in HA durch die im Vergleich niedrigere Durchschnittstemperatur am stärksten ausgeprägt war. Der Vergleich der berechneten mittleren LUE-Werte mit der potenziellen LUE, die im Modell mit 4,4 g MJ⁻¹ angenommen wird, zeigt aber, dass auch für MA und RE ein, wenn auch geringerer, direkter negativer Temperatureinfluss feststellbar war. Für HA konnte jedoch neben dem direkten Einfluss suboptimaler Temperaturen auf die TM-Produktion auch noch ein indirekter Effekt nachgewiesen werden. Die Blattflächenentwicklung war durch niedrigere Temperaturen zu Wachstumsbeginn in HA so stark verzögert, dass zwischen Ende Mai und Mitte Juli, also in einem Zeitraum mit hohem Strahlungsangebot (ca. 8-10 MJ PAR m⁻² d⁻¹), die relative Strahlungsaufnahme (aufgenommene zu angebotener PAR-Strahlung) um 10-20 %

niedriger war als in MA oder RE. Daraus resultierte in HA eine deutlich niedrigere kumulierte PAR-Strahlungsaufnahme (Q), die dann auch noch durch die schon skizzierte niedrigere LUE ineffizienter in TM umgewandelt wurde.

Tab. 1: Simulierte TM, Q, LUE, TUE und WUE getrennt nach Standorten und Szenarien.

Ort	TM [g m ⁻²]		Q [MJ PAR m ⁻²]		LUE [g MJ ⁻¹]		TUE [g MJ ⁻¹]		WUE [g MJ ⁻¹]	
	,mTr'	,oTr'	,mTr'	,oTr'	,mTr'	,oTr'	,mTr'	,oTr'	,mTr'	,oTr'
HA	1930	2435	784	794	2,5	3,1	7,1	6,9	5,1	4,3
MA	2026	2902	866	873	2,3	3,3	5,9	5,6	4,8	3,9
RE	2240	3098	917	927	2,4	3,3	7,8	7,7	5,9	5,1

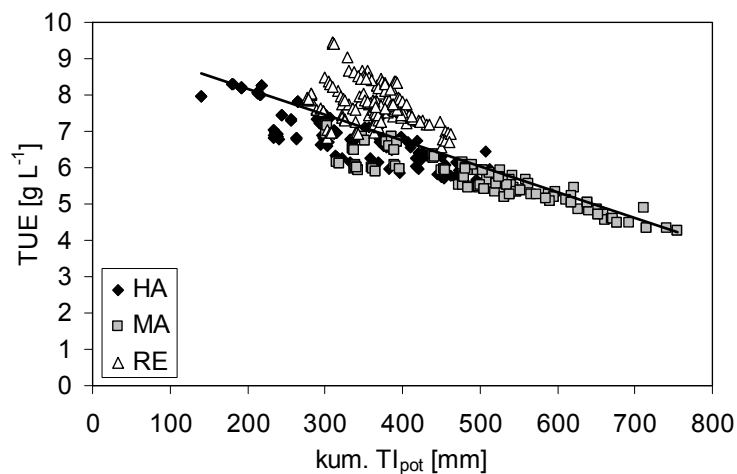


Abb. 1: TUE-Werte (Einzeljahr) aller Szenarien getrennt nach Standorten, abgetragen über die jeweilige kumulierte potenzielle Transpiration einschließlich Interzeption (kum. TI_{pot}). $TUE = -0,0007 \cdot \text{kum. TI}_{\text{pot}} + 9,6$, $r^2=0,60$.

Die Ertragslimitierung, die durch Trockenstress hervorgerufen wurde (Differenz der TM-Erträge ohne und mit Trockenstress), war auf den beiden wärmeren Standorten, MA und RE, mit ca. 850 g m⁻² höher als auf dem kühleren Standort HA mit ca. 500 g m⁻² (Tab. 1). Für alle drei Standorte konnte ausschließlich eine Reduzierung der LUE durch Trockenstress (HA < MA = RE), also eine direkte, nicht aber eine indirekte Trockenstresswirkung nachgewiesen werden. Zudem konnte auf allen Standorten gezeigt werden, dass die Wasserverfügbarkeit einen Effekt auf die Höhe der WUE hat. Indem der Anteil der unproduktiven Evaporation an der Evapotranspiration steigt, sinkt die WUE unter voller Wasserverfügbarkeit (,oTr'). Der in der Literatur bekannte Anstieg der TUE unter Trockenstress (Stöckle et al., 2008) war mittels des verwendeten Pflanzenwachstumsmodells nicht abzubilden, somit unterschieden sich die mittleren TUE-Werte der jeweiligen Standorte zwischen den Szenarien nicht. Allerdings wies die TUE und auch die WUE eine deutliche Standortabhängigkeit auf (RE > HA > MA). Dies ist vor allem durch den unterschiedlich hohen Verdunstungsanspruch an den Standorten begründet. So wies zum Beispiel MA in den meisten Jahren eine niedrigere TUE auf, da, bedingt durch das hohe Sättigungsdefizit (HA < MA = RE) und die hohe mittlere Windgeschwindigkeit (RE < HA < MA), der Verdunstungsanspruch in diesen Jahren im Vergleich zu den beiden anderen Standorten höher war (Abb. 1).

Vergleich unterschiedlicher Energiepflanzenanbausysteme für die Biogasproduktion

Die intensivierten Fruchtfolgen in HS (FF2 und FF3) sowie das Dauergrünland nahmen, bedingt durch eine verlängerte Blattflächendauer, deutlich mehr Strahlung auf im Vergleich zu den Maismonokulturbeständen (Tab. 2). Dennoch erreichten die intensivierten Fruchtfolgen nur vergleichbare Biomasseerträge wie die Maismonokultur in HS, während für das Dauergrünland in KD sogar niedrigere TM-Erträge gemessen wurden. Zu begründen ist dies mit den für die Fruchtfolgen berechneten LUE-Werten, die für die Maismonokultur am höchsten und für das Dauergrünland am niedrigsten waren. Diese Unterschiede im Niveau der LUE-Werte der Fruchtfolge waren nicht oder nur teilweise (siehe FF4, T_{act} / T_{pot}) durch Unterschiede in der Höhe der Trockenstress- oder Temperaturstresswirkung zu begründen. Jedoch konnten deutliche kulturartenspezifische Unterschiede bezüglich der LUE festgestellt werden (Mais: 2,2-2,5 g MJ PAR⁻¹, Weizen: 1,5-1,7 g MJ PAR⁻¹, Senf: 1,9 g MJ PAR⁻¹ und Gras: 0,9-1,0 g MJ PAR⁻¹), die die in den Fruchtfolgen festgestellten LUE-Werte erklären. Die hohen LUE-Werte von Mais sind mit einem generell höheren Niveau der potenziellen LUE-Werte von C₄-Pflanzen im Vergleich zu C₃-Pflanzen zu begründen (Sun et al., 2009). Die niedrigen LUE-Werte des Grases sind zusätzlich zum C₃-Metabolismus mit einem erhöhten Erhaltungsumsatz für die Wurzeln (mehrjährige Kultur) und der regelmäßigen Schnittnutzung zu begründen.

Tab. 2: TM, Q, LUE und die um die Strahlungsaufnahme gewichteten Stressfaktoren f_T und T_{act} / T_{pot} , angegeben für die einzelnen Fruchtfolgen.

Standorte	Fruchtfolgen	TM [g m ⁻²]	Q [MJ PAR m ⁻²]	LUE [g MJ PAR ⁻¹]	f_T [-]	T_{act} / T_{pot} [-]
HS	FF1	1838 a	747	2,5	0,88	0,90
	FF2	1789 a	1046	1,7	0,86	0,88
	FF3	1750 a	905	1,9	0,90	0,86
KD	FF1	1676 a	761	2,2	0,89	0,90
	FF4	1333 b	1434	0,9	0,90	0,80

Fazit

Auf den beiden wärmeren Standorten konnten auf Grund von höheren Ertragspotenzialen höhere Biomasseerträge im Vergleich zu dem kühleren norddeutschen Standort erzielt werden, wobei das mittlere Ertragsniveau mit Trockenstress auf keinem der Standorte größer als 22,5 t ha⁻¹ war. Unter den klimatischen Bedingungen Schleswig-Holsteins konnten die intensivierten Fruchtfolgen zumindest erträglich eine Alternative zum Silomaisanbau in Monokultur darstellen.

Literatur

- Andrade, F.H., S.A. Uhart, A. Cirilo 1993: Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crop Research* 32:17-25.
- Loomis, R.S., J.S. Amthor 1999: Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. *Crop Science* 39:1584-1596.
- Stöckle, C.O., A.R. Kemanian, C. Kremer 2008: On the use of radiation- and water-use efficiency for biomass production models. In: Ahuja, L.R., V.R. Reddy, S.A. Saseendran and Qiang Yu (eds.) (2008). *Response of crops to limited water: Understanding and modelling water stress effects on plant growth processes*. ASA, CSSA and SSSA, Madison, USA.
- Sun, J., L.Yang, Y. Wang, D.R. Ort 2009: FACE-ing the global change: Opportunities for improvement in photosynthetic radiation use efficiency and crop yield. *Plant Science* 177:511-522.

Influence of N fertilization and genotype on N retranslocation during reproductive growth in oilseed rape

Abdullah Ulas¹, Torsten Behrens¹, Franz Wiesler², Walter J. Horst¹ and
Gunda Schulte auf'm Erley¹

¹Institute for Plant Nutrition, Leibniz University of Hannover; ²LUFA, Speyer. E-Mail: schulteaufmerley@pflern.uni-hannover.de

Introduction

Oilseed rape is one of the crops with the highest N balance surpluses in European agriculture. The high surpluses are mainly caused by two processes, a low N recovery from the soil and an incomplete N retranslocation from the vegetative biomass into the seeds. Genotypic variation in N uptake was found, which was related to yield at limiting and high N supply (Schulte auf'm Erley et al., 2011). The incomplete N retranslocation from vegetative plant parts has mostly been ascribed to insufficient leaf N retranslocation prior to leaf fall. N recoveries from leaves have been studied in detail for oilseed rape (Malagoli et al., 2005; Gombert et al. 2010), but no reports on genotypic variation in this trait are available yet.

Materials and Methods

Four winter oilseed rape cultivars differing in N efficiency were grown at three N rates in a three-year field experiment performed south of Göttingen. Harvests were performed at the beginning of flowering and at maturity. Plants were fractionated into stems, leaves, pod walls and seeds. In addition, dead leaves were collected weekly between beginning of flowering and maturity from mesh nets placed into the plots. Dry weights and N contents of all plant fractions were determined.

Results and Discussion

Cultivars differed in seed yield at all N rates (Table 1). Cultivar Apex could be characterized as N-efficient due to its highest yield at low N, while cv Bristol was superior in seed yield at high N supply. The high N efficiency of cv Apex was related to a high N uptake, while the superior yield of cv Bristol at high N was only partly due to superior N uptake.

Table 1: Seed yield and N uptake of four winter oilseed rape cultivars grown at three N rates (N0: soil Nmin; N120: 120 kg N ha⁻¹; N 240: 240 kg N ha⁻¹) in a three-year field experiment.

Cultivar	Seed yield (t ha ⁻¹)			N uptake (kg ha ⁻¹)		
	N0	N120	N240	N0	N120	N240
Apex	3,02 b	4,26 b	4,63 a	85,3 b	142,8 b	198,5 b
Bristol	2,70 a	4,26 b	4,99 b	73,3 a	129,4 a	193,1 b
Lirajet	2,69 a	3,88 a	4,57 a	75,2 ab	123,4 a	188,9 b
Capitol	2,67 a	3,94 a	4,46 a	74,9 a	122,3 a	171,7 a
F-Test:	C:***	N:***	CxN:*	C:***	N:***	CxN:*

Relative N contents remaining in the straw at maturity increased with increasing N supply (Fig. 1). Most N residues in the straw were found in the stems. In contrast, N losses by abscised leaves amounted to only 4, 5 and 6% of total N uptake until maturity at low, medium and high N supply, and were thus considerably lower than stated in other studies (Malagoli et al., 2005; Gombert et al. 2010).

Cultivars differed in relative N contents in the seeds and in the straw fractions at all N rates. At low and medium N supply, cv Apex contained relatively less N in the seeds and more N in the stems compared to the other cultivars. This was coupled to a high N uptake of this cultivar. In contrast, cv Bristol was characterized by a higher N allocation to the seeds and low N amounts in the stems and dead leaves at all N rates. Thus, at high N supply, the improved N retranslocation of this cultivar might have contributed to its high seed yield in addition to the high N uptake achieved by this cultivar.

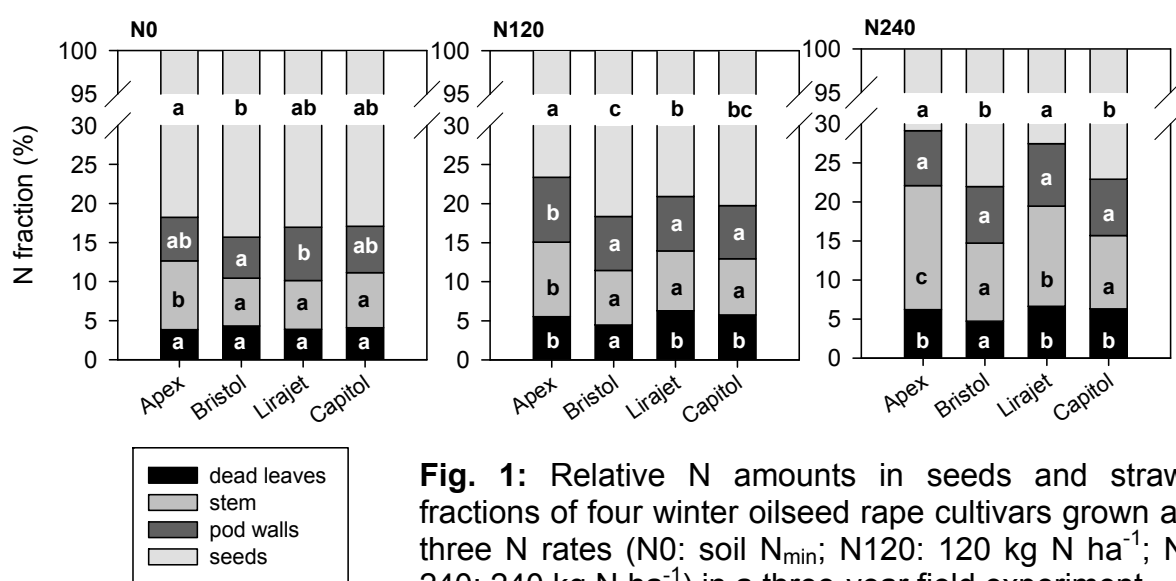


Fig. 1: Relative N amounts in seeds and straw fractions of four winter oilseed rape cultivars grown at three N rates (N0: soil N_{min} ; N120: 120 kg N ha⁻¹; N240: 240 kg N ha⁻¹) in a three-year field experiment

In summary, leaf N remobilisation was found to be very efficient at all N rates and for all genotypes. Variation in stem N remobilisation was more important for the amount of N residues. Genotypic differences in stem N remobilisation were found. Whether these differences were due to genotypic differences in N remobilisation from the stems or the consequence of differences in yield relative to total N uptake needs to be further elucidated.

References

- Gombert, J. 2010: Effect of nitrogen fertilization on nitrogen dynamics in oilseed rape using ¹⁵N-labeling field experiment. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173:875-884.
- Malagoli, M., P. Laine, L. Rossato, A. Ourry 2005: Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus*) from stem extension to harvest. I. Global N flows between vegetative and reproductive tissues in relation to leaf fall and their residual N. *Ann. Bot.* 95:853-861.
- Schulte auf'm Erley, G., T. Behrens, A. Ulas, F. Wiesler and W.J. Horst 2011: Agronomic traits contributing to nitrogen efficiency of winter oilseed rape cultivars. *Field Crops Res.*, DOI 10.1016/j.fcr.2011.06.009.

Nitratgehalt in Zucchinifrüchten in Abhängigkeit vom N-Angebot im Boden und der Fruchtgröße zum Erntezeitpunkt

Diemo Daum, Stephan Dinklage und Carmen Landvogt

Hochschule Osnabrück, Fakultät für Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur. E-Mail: d.daum@hs-osnabrueck.de

Einleitung

Rohstoffe für Babynahrung müssen besonders hohe Qualitätsanforderungen erfüllen. Als erste Beikost erhalten Säuglinge in der Regel Gemüsezubereitungen. Bei diesen pflanzlichen Produkten stellt die Einhaltung des Nitratgehaltes, der in industriell hergestellter Babynahrung auf $200 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ FM}$ begrenzt ist, eine besondere Herausforderung dar. Zucchini weisen im Vergleich zu anderen Fruchtgemüsearten einen relativ hohen Nitratgehalt auf. Mehrjährige Routineuntersuchungen in der verarbeitenden Industrie zeigten, dass Zucchinifrüchte zwischen 250 und $1.600 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ FM}$ enthalten können. Im Rahmen eines Feldversuches sollte daher untersucht werden, welchen Einfluss das mineralische N-Angebot im Boden und die Fruchtgröße zum Erntezeitpunkt auf den Nitratgehalt in Zucchinifrüchten haben.

Material und Methoden

Zucchini (*Curcubita pepo* var. *giromontiina*, cv. Cora) wurde von Anfang Juni bis Ende September auf einem sandigen Lehmboden bei 4 unterschiedlichen N_{min} -Angebotsstufen zwischen 150 und 300 kg N ha^{-1} angebaut. Die Pflanzdichte betrug 1 Pflanze je m^2 . Die Ernte der Früchte erfolgte, sobald ein Fruchtdurchmesser von ca. 3,5 cm, 5,0 cm bzw. 7,0 cm erreicht war. Der Nitratgehalt der Früchte wurde mittels Wasserdampfdestillation nach vorheriger Reduktion zu Ammonium bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Die geerntete Fruchtgröße hatte einen deutlichen Einfluss auf den Marktertrag. Er stieg von 3,1 kg FM je Pflanze bei der Ernte kleiner Früchte bis auf 8,5 kg FM je Pflanze bei der Ernte großer Früchte an. Die entsprechenden mittleren Einzelfruchtgewichte betragen 140 g FM bzw. 750 g FM. Gegenläufig hierzu entwickelte sich die Fruchtanzahl. Sie war bei der Ernte kleiner Früchte mit 22 Früchten je Pflanze etwa doppelt so hoch wie bei der Ernte großer Früchte. Unabhängig von der Fruchtgröße wurde der Höchstertrag bei einem N_{min} -Angebot von 250 kg N ha^{-1} erreicht. In den ersten Erntewochen schwankte der Nitratgehalt der Zucchinifrüchte in Abhängigkeit von der N-Versorgung der Pflanzen zwischen 500 und $1.500 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ FM}$. Mit fortschreitender Kulturdauer sank der Nitratgehalt in den Früchten stetig und glich sich zwischen den Düngungsvarianten zunehmend an. Er lag allerdings auch zu Kulturrende und bei suboptimalem N-Angebot noch über $200 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ FM}$. Zwischen der Fruchtgröße und dem Nitratgehalt der Zucchinifrüchte bestand eine positive Korrelation. Kleine Früchte wiesen im Mittel $543 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ FM}$ auf, mittelgroße Früchte $740 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ FM}$ und große Früchte $832 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ FM}$. In der Fruchtschale war der Nitratgehalt um den Faktor 2 höher als in der restlichen Frucht. Durch das Schälen der Früchte konnte der Nitratgehalt daher um bis zu 22 % reduziert werden.

Einfluss des Bodenwassergehaltes auf Wachstum und Entwicklung von Mais (*Zea mays* L.) auf einem leicht schluffigen Sandboden

Thomas Gäbert, Steffen Engelhardt, Frank Ellmer und Michael Baumecker

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät. E-Mail: thomas.gaebert@agr.ar.hu-berlin.de

Einleitung

Die Wasserverfügbarkeit stellt auf Sandböden oft den ertragslimitierenden Faktor dar und rückt durch zunehmende Trockenheitsphasen in der Vegetationsperiode zunehmend stärker in den Fokus. Zur Ermittlung des Einflusses des Bodenwassergehaltes auf Wachstum und Entwicklung sowie Ertrag von Mais wurden in einem Dauerfeldversuch auf einem leicht schluffigen Sandboden Bodenwassergehaltsmessungen und pflanzenbauliche Untersuchungen am Mais durchgeführt.

Material und Methoden

Im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow (einfaktorielle Blockanlage mit acht Prüfgliedern und vierfacher Wiederholung) wurde zweimal wöchentlich der volumetrische Bodenwassergehalt gemessen und Daten zum Silomais erfasst. Der am Standort vorherrschende Bodentyp ist eine Fahlerde-Braunerde. Die Bodenart in der Krume ist leicht bis mittel schluffiger Sand und im Unterboden sandiger Lehm. Die eingesetzte FDR-Sonde (frequency domain reflectometry; Modell PR2 von Delta-T devices, Cambridge) erfasst die Daten gleichzeitig in sechs verschiedenen Bodentiefen (10, 20, 30, 40, 60 und 100 cm). Mit der gleichen zeitlichen Auflösung wurden Entwicklungsstadium (BBCH, 2001) und Bestandeshöhe sowie der Ertrag erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Die Entwicklung des Bodenwassergehaltes verlief sehr dynamisch, bedingt durch temporäre Trockenphasen im Wechsel mit teilweise starken Niederschlägen. Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes trat insgesamt eine abnehmende Tendenz in allen Prüfgliedern und Messtiefen auf. In 10 cm Bodentiefe unterschieden sich die verschiedenen Prüfglieder nur gering. In den für die Durchwurzelung entscheidenden Bodentiefen 20 und 30 cm konnte jedoch im ersten Untersuchungsmonat eine deutliche Differenzierung in Abhängigkeit von der Düngung festgestellt werden. Die mit Stallmist versorgte Variante erreichte um 3 Vol.-% höhere Werte als die Kontrolle. In der mineralischen mit Kalk versorgten Variante konnte ein um etwa 1 Vol.-% erhöhter Wassergehalt festgestellt werden. In den unter der Pflugfurche liegenden Messtiefen zeigte sich teilweise eine umgekehrte Reihenfolge der Prüfglieder, was auf die geringere Wasserspeicherung in der Krume und die entsprechend schnellere Ableitung des Wassers in tiefere Bodenschichten zurückzuführen ist.

Mit Beginn des Schossens und einer Bestandeshöhe von etwa 60 cm wurde in der organisch-mineralisch gedüngten Variante ein im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle stark abnehmender Bodenwassergehalt festgestellt. Dies ist auf den einsetzenden hohen Wasserbedarf des Mais zurückzuführen.

Literatur

BBCH Arbeitskreis (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. 2. Aufl. Hrsg. BBA.

Effects of straw water extracts on germination of oil seed rape and wheat

Elnaz Ebrahimi, Reinhard Neugschwandtner and Hans-Peter Kaul

University of Natural Resource and Life Sciences Vienna, Department of Crop Sciences, Division of Agronomy, Tulln. E-Mail: elnaz.ebrahimi@boku.ac.at

Introduction

In order to understand agricultural crops in situ and their interaction with the environment, future agricultural research will need to incorporate ecological, physiological and molecular methods (Saffari and Torabi-Sirchi, 2011). Recently, decline in crop yield has been attributed to allelopathic effects (Jafarihyazdi and Javidfar, 2011) and much research has focused on the detrimental effects of living plants or their residues on growth of other crops and their yields. Oil seed rape, wheat and pea have been reported as allelopathic crops which can affect other crops (Batish et al., 2001). Laboratory experiments are a first step to assess plant residue influences on the germination and early growth of other plants. The aim of this study was to assess the effects of different straw extracts of oil seed rape (*Brassica napus*), pea (*Pisum sativum*) and wheat (*Triticum aestivum*) on the germination percentage, root and shoot elongation of the same plants.

Material and Methods

Extracts preparation: For obtaining the extracts, plant residues of oil seed rape (R), pea (P) and wheat (W) were ground. Ten g of residue powder from each species were extracted with 100 ml of distilled water in a shaker for 24 h at room temperature. The mixture was filtrated and the resulting filtrate was autoclaved for 45 min. The pure extracts (10%) were diluted by distilled water to obtain concentrations of 5% and 1%.

Experimental design and measurements: The germination experiment was conducted as factorial based on a completely randomized design with four replications. One layer of Whattman's filter No.1 was placed into 10 cm Petri dishes. Ten surface-sterilised (NaClO) seeds of oil seed rape and wheat were placed on the Petri dishes and watered separately by different concentrations (1%, 5% and 10%) of extracts or distilled water as control treatment. Each Petri dish was wrapped with Parafilm to reduce evaporation. All dishes were maintained in a growth chamber at 24±2°C and 16 h photoperiod. Germination (%), root and shoot length (cm) were observed after 7 d.

Result and Discussion

Seed germination: The analysis of variance for oil seed rape extract showed that there was a highly significant effect of concentrations × seeds (Fig. 1a). Different concentrations of wheat extracts showed a general effect on both seeds (Fig. 1b). Increasing the oil seed rape extract concentrations reduced germination percentage especially in R when compared with distilled water as control, but there was no large different between 1%, 5% concentration in R and 1%, 5% and 10% in W seeds and the control. In wheat extract, lowest germination percentage across both seeds was observed in 10% concentration. These results indicate inhibition effects of oil seed rape and wheat extracts in high concentrations on seed germination maybe due to

allelochemicals. Inhibition or delay of seed germination and root growth by allelochemicals from oil seed rape and wheat were reported also by Batish et al. (2001).

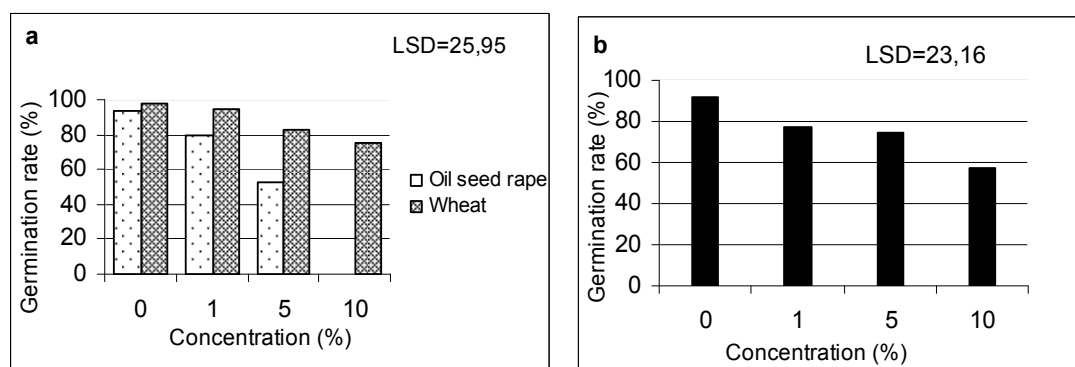


Fig. 1: Effects of different concentration of (a) oil seed rape extract on oil seed rape and wheat seeds and (b) wheat extracts on both seeds on average

Seedling growth: The analysis of variance indicated a significant difference for oil seed rape and wheat extracts among concentrations and seeds (Table 1). Both extracts significantly reduced R seedling growth while W seedling growth was increased by the 1% extracts and decreased with higher extract concentrations. Oil seed rape seedlings were stronger affected by extract addition than wheat seedling. Shoot lengths of oil seed rape and wheat were significantly reduced by the highest concentration of the oil seed rape extract (10%). Applying wheat extracts to oil seed rape or wheat seeds had no effect on either shoot length. The results show that root elongation was affected more than shoot elongation. This might be due to more intensive contact of roots with the extract and consequently with inhibitory chemicals (Jafariehyazdi and Javidfar, 2011).

Table 1: Effect of different concentrations of two extracts on seedling growth

Extract	Concentration (%)	Root length (cm)		Shoot length (cm)	
		R seedling	W seedling	R seedling	W seedling
Rape	0	4.59 a	8.28 b	1.23 a	8.30 a
	1	1.61 b	11.14 a	1.57 a	8.63 a
	5	0.65 c	8.37 b	1.42 a	7.96 a
	10	0.00 c	4.63 c	0.00 b	5.85 b
	LSD	0.67	1.77	0.34	1.55
Wheat	0	4.59 a	8.28 b	1.23 ns	8.30 ns
	1	1.65 b	11.71 a	1.52 ns	8.23 ns
	5	1.60 b	10.55 ab	2.03 ns	11.42 ns
	10	1.09 b	8.76 b	1.28 ns	8.83 ns
	LSD	1.28	2.57	0.88	4.01

References

- Batish, D.R., H.P. Singh, R.K. Kohli, S. Kaur 2001: Crop allelopathy and its role in ecological agriculture. *Journal of Crop Production* 4:124-131.
- Jafariehyazdi, E., F. Javidfar 2011: Comparison of allelopathic effects of some *Brassica* species in two growth stages on germination and growth of sunflower: *Plant Soil Environment* 57:52-56.
- Saffari, M., M.H. Torabi-Sirchi 2011: Allelopathic effects of straw extract from two native Iranian wheat varieties (single cross 647, 704). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 10:133-139.

Evaluierung der Kühletoleranz bei Sorghum während der Jugendentwicklung

Karin Fiedler¹, Arndt Zacharias², Hartmut Stützel¹ und Ralf Uptmoor¹

¹Institut für Biologische Produktionssysteme, FG Systemmodellierung Gemüsebau, Hannover; ²KWS Saat AG, Einbeck. E-Mail: fiedler@gem.uni-hannover.de

Einleitung

Der im Wesentlichen limitierende Faktor für die Etablierung von Sorghum in gemäßigten Breiten als Alternative zu Energiemais ist die geringe Adaption an kühle Temperaturen im Frühjahr, die eine verzögerte Jugendentwicklung zur Folge hat. Niedrige Temperaturen wirken sich sowohl auf die Blattentwicklung als auch auf die Effizienz des Photosyntheseapparates negativ aus. Blatterscheinungs- und Blattstreckungsraten können eine Folge der niedrigen Photosyntheseleistung ausgelöst durch das geschädigte Photosystem II aufgrund einer Pigmentänderung der Chloroplasten (Haldimann 1998) und der reduzierten Enzymaktivität im Carbonzyklus sein (Kingston-Smith et al. 1997). Verschiedene Studien bei Mais zeigen eine hohe genetische Variabilität hinsichtlich der Photosyntheseleistung bei kühlen Temperaturen. Messungen der Chlorophyllfluoreszenz zur Quantifizierung der Effizienz des Photosystems II wurden als Selektionskriterium auf Kühletoleranz bei Mais verwendet (Fracheboud et al. 1999). Ziel dieses Projektes ist die Erfassung von Genotypen mit hohen Wachstumsraten bei niedrigen Temperaturen sowie die Identifizierung von Marker-Merkmal-Assoziationen für die Kühletoleranz beeinflussende Merkmale während der Jugendentwicklung.

Material und Methoden

Ein Diversitätsset bestehend aus 194 Linien wurde in einem Klimakammerversuch mit 8 Temperaturstufen hinsichtlich der Jugendentwicklung evaluiert. Die mittlere Lufttemperatur betrug zwischen 9,4 und 20,8 °C. Blattzahl, Blattfläche und Trockenmassen wurden 7 Tage nach Aussaat und am Ende des Experimentes gemessen, um Blatterscheinungsraten, Blattflächen- und Trockenmassenwachstumsraten zu berechnen. Chlorophyllgehalt (Spad) und Chlorophyllfluoreszenz wurden im 3-Blattstadium gemessen. Mithilfe von Regressionen wurden für die Merkmale in Abhängigkeit der Temperatur genotypspezifische Parameter ermittelt, mit denen die Basistemperatur und Wachstumsraten berechnet wurden. Auf Basis der genotypspezifischen Parameter und der Mittelwerte über alle Umwelten wurden Assoziationsstudien durchgeführt. Dafür wurde das Diversitätsset mit 171 DArT-Markern und 31 SSR-Markern molekular charakterisiert. Die Populationsstruktur wurde mit der Software „Structure“ berechnet und die Assoziationsstudien wurden mit „Tassel 2.1“ durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Das Diversitätsset zeigte in dem Klimakammerversuch eine große Variabilität hinsichtlich der Jugendentwicklung. Viel versprechende Marker-Merkmal-Assoziationen für die einzelnen Parameter konnten auf den Chromosomen 1, 4, 6 und 10 detektiert werden. Relativ häufig scheint es Regionen zu geben, in denen sowohl QTLs für das Blattwachstum als auch für Chlorophyllgehalt bzw. Fluoreszenz identifiziert werden, so dass eine unterschiedliche Photosyntheseleistung der Sorghumgenotypen eine Erklärung für die Variabilität in den Wachstumsraten sein könnte. In den interessanten Regionen sollen Feinkartierungen und Kandidatengen-Assoziationsstudien vorgenommen werden.

Literatur

- Haldimann, P. 1998: Low growth temperature-induced changes to pigment composition and photosynthesis in *Zea mays* genotypes differing in chilling sensitivity. *Plant Cell Environ.* 21:200-208.
- Kingston-Smith, A.H., Harbinson, J., Williams, J., Foyer, C.H. 1997: Effect of chilling on carbon assimilation, enzyme activation, and photosynthetic electron transport in the absence of photoinhibition in maize leaves. *Plant Physiol.* 114:1039-1046.
- Fracheboud, Y., Haldimann, P., Leipner, J., Stamp, P. 1999: Chlorophyll fluorescence as a selection tool for cold tolerance of photosynthesis in maize (*Zea mays* L.). *J. Exp. Bot.* 50:1533-1540.

Das Auflauf- und Trockenstressverhalten von Rasen unter Anwendung eines Superabsorbers

Benedikt Paeßens^{1,2}, Wolfgang Henle², Hartmut Schneider² und Wilhelm Claupein²

¹Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; ²Rasen-Fachstelle, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: paessens@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Fußball- und Golfrasen werden in Deutschland auf Rasentragschichten, die vorwiegend aus Sand bestehen und daher über eine geringe Wasserspeicherkapazität verfügen, angelegt. In Trockenzeiten wie sie in Deutschland zuletzt vermehrt im Frühjahr und Frühsommer aufgetreten sind, ist Bewässerung zur Aufrechterhaltung der Funktionalität notwendig. Eine Möglichkeit zur Verringerung des Wasserverbrauchs ist der Einsatz von Superabsorbentpolymeren, welche ein hohes Wasserspeichervermögen besitzen (Zohuriaan-Mehr und Kabiri, 2008). In zwei Versuchen wurde untersucht, wie sich ein Superabsorber (Stockosorb 500 Medium) auf das Auflauf- und Trockenstressverhalten von Rasen auswirkt.

Material und Methoden

In Versuch 1 zum Auflaufverhalten wurden eine Sportrasenmischung (RSM 3.1, *Lolium perenne* und *Poa pratensis*) und eine Golfrasenmischung (RSM 4.1, *Agrostis stolonifera*) bei einer Anwendung von 0, 50 und 100 g/m² Superabsorber ausgesät. In Versuch 2 zum Trockenstressverhalten wurde ein Rollrasen (RSM 3.1) bei Anwendungen des Superabsorbers mit 0, 15, 30 und 80 g/m² ausgelegt. Der Trockenstress wurde in diesem Versuch mit Hilfe von Folientunneln erzeugt. Bei beiden Versuchen wurde der Wassergehalt des Bodens (gravimetrisch und volumetrisch (FDR)) bestimmt. Pflanzen- und Bodenproben bis zu einer Tiefe von 10 cm wurden genommen und auf ihre Wasser- und Nährstoffgehalte untersucht. Der Deckungsgrad wurde mit einer Digitalkamera erhoben und mit SigmaScan ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

In Versuch 1 konnte festgestellt werden, dass mit steigender Anwendung des Superabsorbers der Narbenschluss schneller erfolgte, der Deckungsgrad um bis zu 14 % gegenüber der Kontrolle gesteigert war und die Trockenmasse um bis zu 55 % erhöht war.

Der Wassergehalt des Bodens wurde in Versuch 2 bei einem Aufwand des Superabsorbers von 80 g/m² unter Trockenstressbedingungen signifikant um bis zu 24,9 % gegenüber der Kontrolle erhöht. Bei beiden Versuchen konnte ein Zusammenhang von erhöhtem Superabsorberangebot und erhöhtem Gehalt an Kalium in der Pflanze und im Boden festgestellt werden. Vermutlich durch Ionenantagonismus wurden die Gehalte an zweiwertigen Kationen wie Calcium und Magnesium in der Pflanze signifikant gesenkt.

Literatur

Zohuriaan-Mehr, J. M., Kabiri, K. 2008: Superabsorbent Polymer Materials: A Review. Iranian Polymer Journal 17:451-454.

Three Novel Transporters: Guiding Manganese to the destined place

Bastian Meier, Xi Chen, Annina Gwinner, Tina Peiter-Volk and Edgar Peiter

The Plant Nutrition Laboratory, IAEW, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg. E-Mail: Bastian.Meier@landw.uni-halle.de

Introduction

At least 35 enzymes of a plant cell require Mn as a catalytic site or cofactor, examples being the water-splitting system of photosystem II and the MnSOD. Even though Mn is involved in such important processes, the amount required is relatively low. Acidic soils show elevated levels of plant-available Mn and plants can encounter Mn toxicity. Plants therefore need to regulate (sub-)cellular Mn homeostasis. *ShMTP8* from *Stylosanthes hamata*, a highly Mn-tolerant plant, encodes for a Mn transporter which translocates Mn into the vacuole (Delhaize, 2003). This transporter is a member of the Cation Diffusion Facilitator (CDF) protein family. The *Arabidopsis* genome contains four genes (*AtMTP8-AtMTP11*) closely related to *ShMTP8*. Based on their phylogenetic relationship, these genes may also encode for Mn transporters. We have previously identified a vesicle trafficking-based mechanism of Mn secretion in plants, which depends on the operation of *AtMTP11* (Peiter, 2007). Here, we present the other *Arabidopsis* CDF members with a possible role in Mn homeostasis.

Material und Methods

To analyse the Mn transport activity of the MTPs in Mn-sensitive yeast cells the respective *Saccharomyces cerevisiae* strains were dropped onto selective plates supplemented with Mn. To analyze the role of MTPs *in planta* T-DNA knockout mutants were grown on medium with excess manganese. Promotor activity analysis was done by promoter-GUS fusion. For subcellular localization *Arabidopsis* mesophyll protoplasts were transformed with EYFP fusion proteins. EYFP fluorescence was analyzed by confocal laser scanning microscopy.

Results and Discussion

The heterologous expression of the MTPs in a Mn-sensitive yeast mutant resulted in an enhanced export of Mn and therefore restored growth of the cells on high-Mn media, which is in agreement with their function as Mn transporters. Seedlings of knockout mutants displayed altered growth characteristics compared to the wild type in conditions of excess Mn and had an altered elemental composition. Interestingly, some mutants showed an improved tolerance to Mn toxicity. The analysis of promoter activity shows that the promoter of *AtMTP8* is active in flowers. The highest activity of the *AtMTP9* promoter was found in senescent leaves, suggesting an association with the sequestration of Mn from degrading photosystems. *AtMTP10* expression was visualized in the vascular system. The MTP-EYFP fusions showed that the three proteins operate in different cellular compartments like the vacuole, ER and vesicles. These results indicate specific roles of the investigated MTP genes in Mn homeostasis.

References

- Delhaize, E. et al. 2003: Genes encoding proteins of the cation diffusion facilitator family that confer manganese tolerance. *Plant Cell* 15:1131-1142.
- Peiter, E. et al. 2007: A secretory pathway-localized cation diffusion facilitator confers plant manganese tolerance. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104:8532-8537.

Manganese leaf tissue tolerance and sensitivity in rice (*Oryza sativa* L.)

Martin Duschyk, Hendrik Führs and Walter J. Horst

Institute of Plant Nutrition, Gottfried Wilhelm Leibniz University-Hannover. E-Mail: duschyk@pflern.uni-hannover.de

Introduction

On acid soils of many tropical and subtropical regions Mn toxicity reduces yields of crops (Foy, 1984). In subsistence agriculture liming is often not economic or recommended. Great differences in Mn sensitivity were observed between different species and cultivars, which could contribute to develop Mn-tolerant cultivars. Rice (*Oryza sativa*) represents a plant species with generally high Mn leaf-tissue tolerance compared to other cereals. The physiological and molecular mechanisms of Mn tolerance in rice are not yet understood.

Material and Methods

In addition to necrosis and chlorosis primarily typical Mn toxicity symptoms in rice are brown spots on old leaves which consist of oxidized Mn and oxidized phenols (Horst, 1988). Therefore, the area of brown spots was used as parameter for the screening for Mn sensitivity of a Recombinant Inbred Line (RIL) population of 92 individuals. Since preliminary studies substantiated that also in rice the apoplast is a key compartment for Mn tolerance (Führs et al. 2010), apoplastic washing fluid (AWF) was extracted from leaves and activities NADH-peroxidase, guaiacol-peroxidase, the protein, phenol and Mn concentrations were measured.

Results and Discussion

The phenotyping for Mn toxicity symptoms of the RILs revealed great differences in Mn tolerance among the population exceeding by far the differences between the parents of the population. No correlation existed between Mn toxicity symptoms and Mn bulk-leaf concentrations. Two tolerant and two sensitive RILs were selected from this population for further in-depth studies. After prolonged and high Mn supply the Mn-tolerant RILs showed lower activities of NADH- and guaiacol-POD and lower Mn concentrations in the AWF although the bulk-leaf Mn concentrations did not differ.

References

- Foy, C.D. 1984: Physiological effects of hydrogen, aluminium, and manganese toxicities in acid soils. In: Adams, F. (ed.) Soils acidity and liming. Agron. Monograph 12 ASA-CSSSA, Madison, USA, pp. 57-97
- Führs, H. et al. 2010: Physiological and proteomic characterization of manganese sensitivity and tolerance in rice (*Oryza sativa*) in comparison with barley (*Hordeum vulgare*). *Annals of Botany* 105:1129-1140.
- Horst, W.J. 1988: The physiology of Mn toxicity. In: Graham, R.D., Hannam, R.J., Uren, N.C. (eds.) Manganese in soils and plants. Kluwer, Dordrecht/Boston/London. pp 175-188.

Saure Phosphataseaktivität von Raps- (*Brassica napus* L.) und Kartoffelwurzel (*Solanum tuberosum* L.) als Maß für die Nutzungseffizienz von organisch gebundenem Phosphat

Alexandra Wening, Diedrich Steffens und Sven Schubert

Institut für Pflanzenernährung, IFZ, Justus-Liebig-Universität Gießen. E-Mail: alexandra.wening@agrار.uni-giessen.de

Problemstellung

In vorangegangenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass viele Nutzpflanzen Phosphor (P) in Form von organischem P nutzen können, jedoch genetische Unterschiede bestehen (Steffens et al. 2010). Im Gegensatz zum Raps (*Brassica napus* L. cv. Carousel), der P aus Na-Phytat annähernd so gut nutzen konnte wie aus dem leicht löslichen $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, erwies sich die Kartoffel (*Solanum tuberosum* L. cv. Belana) als relativ ineffektiv. Aus diesem Grund wurden diese beiden Pflanzenarten für weitere Experimente ausgewählt. Es sollte getestet werden, ob unterschiedliche Enzymaktivitäten der sauren Phosphatase an der Wurzel eine mögliche Ursache für die unterschiedliche Aneignungseffizienz von organischen P-Verbindungen sein können.

Ergebnisse und Diskussion

Hierzu wurden die Pflanzen in Wasserkultur unter P-Mangel ($1 \mu\text{M P}$) angezogen, die Phosphataseaktivität *in vivo* mit Hilfe des Substrates *p*-Nitrophenylphosphat (NPP) gemessen (modifiziert nach Beißner 1997) und Enzymkinetiken mittels Modellberechnungen (Dyna Fit) erstellt.

Die Wurzeln von Raps waren pro g Wurzelfrischmasse signifikant länger als die von Kartoffeln. Außerdem wurde für Rapswurzeln ein niedrigerer k_m -Wert für die Phosphatase nach Michaelis-Menten-Kinetik berechnet als für Kartoffelwurzeln. Demzufolge könnte die höhere Nutzungseffizienz von Raps für organisches Phosphat im Vergleich zu Kartoffeln auf einer höheren Affinität der Wurzelphosphatase zum Substrat beruhen.

Literatur

Beißner, L. 1997: Mobilisierung von Phosphor aus organischen und anorganischen P-Verbindungen durch Zuckerrübenwurzeln. Dissertation, Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften.
Steffens D., Leppin T., Luschin-Ebengreuth N., Yang Z.M., Schubert S. 2010: Organic soil phosphorus considerably contributes to plant nutrition but is neglected by routine soil-testing methods. J. Plant Nutr. Soil Sci. 173:765-771.

Exploring the role of poly(ADP-ribose)polymerases in plants

Dagmar Rissel^{1,2}, Kathrin Thor² and Edgar Peiter²

¹Agrochemisches Institut Piesteritz e. V., Lutherstadt Wittenberg; ²Plant Nutrition Laboratory, IAEW, Universität Halle-Wittenberg. E-Mail: dagmar.rissel@landw.uni-halle.de

Introduction

Poly(ADP-ribosyl)ation is a fast transient posttranslational protein modification. Activated upon DNA strand breaks, poly(ADP-ribose) polymerases (PARPs) add ADP-ribose molecules to nuclear proteins involved in DNA strand break repair mechanisms. Thereby NAD⁺ is used as a substrate to build up ADP-ribose polymers. In the model plant *Arabidopsis thaliana* three PARP genes (*AtPARP1*, *AtPARP2* and *AtPARP3*) have been identified. Recent studies suggest a role of poly(ADP-ribosyl)ation in the plant response to abiotic stress (De Block et al. 2005; Vanderauwera et al. 2007): Plants with reduced expression of *AtPARP1* and *AtPARP2* were shown to have an increased tolerance towards drought stress and oxidative stress induced by reactive oxygen species (ROS) [1]. However, the mechanisms of how PARPs are involved in plant stress responses are still a matter of debate.

Material and Methods

To elucidate the role of *PARPs* in plant stress response *Arabidopsis parp* knockout mutants were cultured on agar plates containing mannitol (drought stress), NaCl or methyl viologen (oxidative stress). During culture the root length of mutant and wild type plants was measured. After culture root and shoot fresh weight of the plants was determined. The *parp* single mutants were crossed with each other to create double knockout mutants. Homozygous F2 plants are currently being analysed for their stress tolerance. Apart from that seed germination of *parp* mutants was scored on agar plates.

Results and Discussion

Arabidopsis PARPs have been suggested to be involved in plant stress response. Surprisingly, in our hands *parp* single mutants did not display any enhanced stress tolerance so far. Since *PARP* genes may be functionally redundant, *parp* single mutant lines were crossed to create double mutants. The abiotic stress tolerance of these plants is currently under investigation. Interestingly, *parp* single mutants showed a delay in germination under standard growth conditions. After artificial seed aging the delay in germination was even more pronounced in the *parp* mutants indicating that this phenotype was not due to an increased seed dormancy. The mechanism underlying this phenomenon is under investigation.

References

- De Block M., Verduyn C., De Brouwer D., Cornelissen M. 2005: Poly(ADP-ribose) polymerase in plants affects energy homeostasis, cell death and stress tolerance. *Plant J.* 41:95-106.
- Vanderauwera S., De Block M., Van de Steene N., Van de Cotte B., Metzclaff M., Van Breusegem F. 2007: Silencing of poly(ADP-ribose) polymerase in plants alters abiotic stress signal transduction. *PNAS* 104:15150-15155.

The role of phytohormones in the onset and development of leaf senescence under nitrogen starvation in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) genotypes differing in nitrogen efficiency

Fabian Köslin-Findeklee¹, Sebastian Parra-Londono¹, Gunda Schulte auf'm Erley¹, Thomas Roitsch² and Walter J. Horst¹

¹Institute of Plant Nutrition, Gottfried Wilhelm Leibniz University Hannover; ²Institute of Plant Sciences, Karl-Franzens-University, Graz, Österreich. E-Mail: koeslin-findeklee@pflern.uni-hannover.de

Introduction

Winter oilseed rape is the most important oil crop in European agriculture, but one with the highest nitrogen (N) balance surpluses. This may negatively impact the environment. N starvation induces leaf senescence. Phytohormones are involved in the onset and development of leaf senescence. Cytokinins and auxins are senescence-delaying; salicylic (SA) and jasmonic acid (JA) are senescence-enhancing (Lim et al. 2007). We hypothesized that delayed leaf senescence is beneficial to yield formation because of maintained photosynthesis into the reproductive growth stage (Wiesler et al. 2001). The aim of the study was to clarify if genotypic differences in leaf senescence under N deficiency correspond to the effect of certain phytohormones.

Material and Methods

A time-course nutrient solution experiment was performed with two pairs of genotypes (NPZ-1: N-efficient & NPZ-2: N-inefficient / Apex: N-efficient & Capitol: N-inefficient) which differ in leaf senescence (stay green) and yield formation under N-limited conditions. The plants were grown after a four weeks pre-culture for another 12 days under different N levels (0.1 mM N and 4.0 mM N).

Results and Discussion

SPAD and photosynthesis rate were suitable for detecting genotypic differences in leaf senescence, but the photosynthesis rate was more sensitive. The expression profiles of selected senescence associated genes (quantitative Real Time-PCR) in senescing leaves also reflected genotypic differences in leaf senescence. Preliminary evaluation of the results revealed that N deficiency sensitively induced the transport of SA and JA transport from the roots to the shoots. Presently, an inventory of the pattern of the concentrations of phytohormones including SA and JA in roots, leaves and xylem exudates is in progress. To back up these results the expression of genes related to the metabolism of phytohormones using qRT-PCR is being analysed.

References

- Lim, P.O., Kim, H.J., Nam, H.G. 2007: Leaf senescence. Annual Review of Plant Biology. 58:115-36.
Wiesler, F., Behrens, T., Horst, W.J. 2001: Nitrogen efficiency of contrasting rape ideotypes. In: Horst, W.J. et al. (eds.) Plant nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems. Dordrecht, Kluwer, 92:60-61.

Anwendung isolierter Gibberelline im Energiepflanzenanbau

Doreen Koltermann, Gerhard Rühl und Jörg-Michael Greef

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig. E-Mail: doreen.koltermann@jki.bund.de

Einleitung

Die zunehmende Bedeutung der Nutzung von Pflanzen zur Energiegewinnung erfordert eine effizientere Anbauführung hinsichtlich Ertrags- bzw. Biomassezuwachs. Im Rahmen eines AIF-geförderten Projektes wird daher die Wirksamkeit biologisch aktiver Gibberelline (GA₄, GA₇) an potentiellen Energiepflanzen geprüft werden. Dazu wurde je nach Kulturart durch die Wahl des Sprühapplikationstermins (GA₄ und GA₇, jeweils $5 \cdot 10^{-5}$ mol/l) entweder eine Steigerung der Gesamtbiomasse (Chinaschilf, Mais), eine Veränderung der energierelevanten Inhaltsstoffe (Winterweizen, -raps) oder eine Ertragssicherung (Sonnenblume) angestrebt.

Material und Methoden

Die Feldversuche wurden 2010 auf dem Versuchsgelände des JKI in Braunschweig in einer randomisierten Blockanlage in vierfacher Wiederholung durchgeführt und werden zurzeit im zweiten Anbaujahr wiederholt.

Ergebnisse und Diskussion

Durch die GA₇-Anwendung konnte bei Winterraps das Tausendkorngewicht (TKG) signifikant erhöht werden. Auch bei Gerste konnten Rukasz und Michałek (2004) nach Behandlung mit GA₃ eine Erhöhung des Tausendkorngewichtes (TKG) nachweisen. Bei der Sonnenblume induzierte GA₇ eine Blüh- und Abreifeverfrühung. Das Längenwachstum von Chinaschilf wurde bei dreimaliger Applikation mit GA₄ bzw. GA₇ stets erneut gefördert. Bislang konnten die Gesamtbiomasse sowie das Inhaltstoffspektrum durch die Behandlung mit Gibberelline nicht beeinflusst werden.

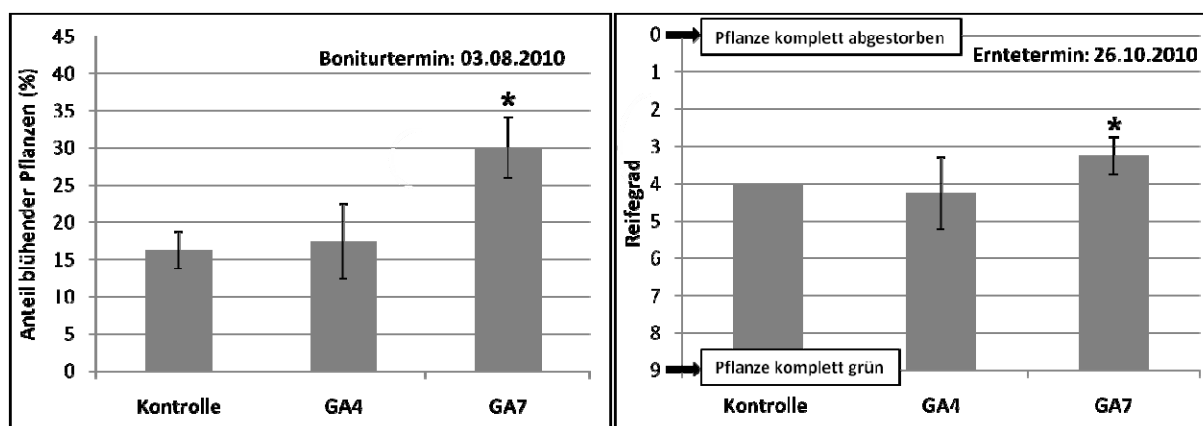


Abb. 1: prozentualer Anteil blühender Sonnenblumen am 3.08.2010

Abb. 2: Reifegrad der Sonnenblumen zum Erntetermin (26.10.2010)

Literatur

Rukasz, I., W. Michałek 2004: Effect of foliar application of phytohormones on barley yielding. Annales UMCS, Sec. E 59(4):1543-1548.

Ertragsentwicklung von Wintergerste bei variiertem N-Düngung

Klaus Sieling und Henning Kage

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

Einleitung

Dauerversuche können helfen, langfristige Entwicklungen zu identifizieren und zu quantifizieren.

Material und Methoden

In einem Stickstoff (N)-Steigerungsversuch, der seit 1974 auf dem Versuchsgut Hohenschulen im Östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins durchgeführt wird, wurde Wintergerste zu den 3 Terminen Vegetationsbeginn, Schossbeginn EC 30 und Ährenschieben EC 50/51 mit jeweils 0, 40, 80 und 120 kg N ha⁻¹ in allen Kombinationen gedüngt (4*4*4=64 N-Varianten, 0-360 kg N ha⁻¹), um *ex post* das jahresspezifische N-Optimum abschätzen zu können. Die Sorte Dura wurde als Standardsorte durchgehend von Versuchsbeginn bis 2002 angebaut, während als zweite, jeweils neuere Sorte Hasso (1983-1986), Alraune (1987-1993), Alpaca (1994-1999), Carola (2000-2004), Franziska (2005-2008) und Fridericus (ab 2009) geprüft wurden. Aus den jahres- und sortenspezifischen Ertragsfunktionen (basierend auf einem quadratischen Ansatz mit der N-Gesamtmenge) wurden der Ertrag in der ungedüngten Variante, die optimale N-Düngung und der entsprechende optimale Ertrag abgeleitet.

Ergebnisse und Diskussion

Der Ertrag in der ungedüngten Kontrolle veränderte sich im Zeitablauf nicht signifikant. Demgegenüber stieg der Ertrag bei optimaler N-Düngung bei allen Sorten um

0,81 dt ha⁻¹ a⁻¹, allerdings auf unterschiedlichem absoluten Niveau, signifikant während der Versuchsdauer an (Abb. 1). Im Gegensatz zu Winterweizen (Sieling et al., 2011) nahm parallel auch die Höhe der optimalen N-Düngung zu.

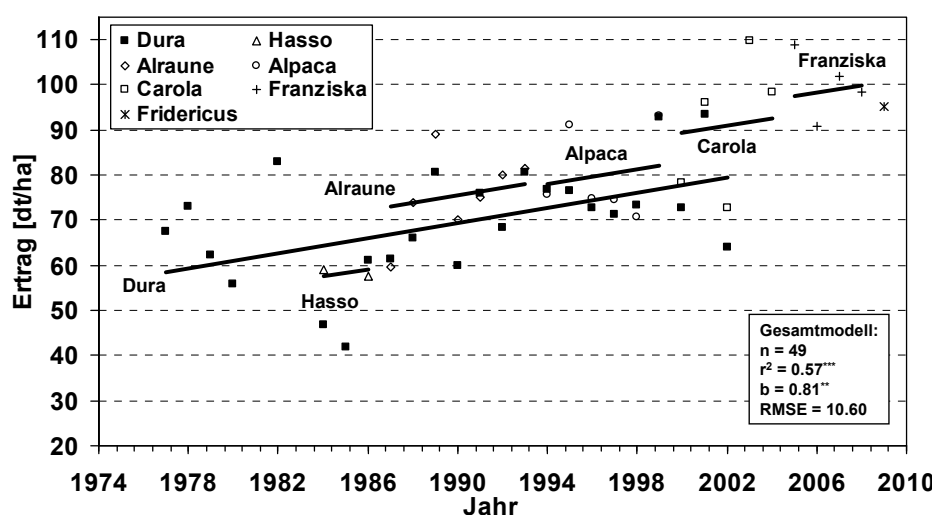


Abb. 1: Zeitlicher Trend der Optimalerträge bei Gerste

Literatur

Sieling, K., U. Böttcher, H. Kage 2011: Ertragsentwicklung von Winterweizen bei variiertem N-Düngung. Journal für Kulturpflanzen (angenommen).

Einfluss von Saattermin und Saatstärke auf die Ertragsbildung von vier Wintergerstensorten

Carola Pekrun¹, Sabine Hubert¹, Günter Stemann² und Bernhard C. Schäfer²

¹Institut für Angewandte Forschung, Abteilung Agrarwirtschaft, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen; ²Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest. E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

Problemstellung

In der praktischen Landwirtschaft besteht die Tendenz, Wintergetreide möglichst früh zu säen, um Saatgut einzusparen und um günstige Bodenverhältnisse zu nutzen. Zudem erhofft man sich von einer früheren Saat höhere Erträge. Zunehmend sind jedoch warme Witterungsbedingungen im Herbst festzustellen. Bei Wintergerste führen diese zu verstärktem Schädlings- und Krankheitsbefall. Vielfach muss ein Insektizid im Herbst appliziert werden bzw. muss ein Schutz über entsprechend gebeiztes Saatgut erfolgen. Darüber hinaus führen hohe Herbsttemperaturen bei früh gesäten Beständen zu einer übermäßigen Vorwinterentwicklung. Es stellt sich deshalb die Frage, ob der ortsüblich optimale Aussaattermin tendenziell eher nach hinten verschoben ist.

Um zu überprüfen, welche Wirkung der Aussaattermin auf die Ertragsbildung der Wintergerste besitzt, wurden in den Jahren 2008/09 sowie 2009/10 auf dem Versuchsbetrieb Merklingsen der Fachhochschule Südwestfalen in Soest sowie auf dem Versuchsbetrieb Tachenhausen der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen jeweils ein dreifaktorieller Feldversuch angelegt, bei dem Saatzeit, Saatstärke und Sorte getestet wurden. Es wurden jeweils Gelbmosaikvirus-resistente Sorten angebaut.

Ergebnisse und Diskussion

Der Kornertrag wies keine Unterschiede zwischen den Saatterminen auf. Tendenziell führte die zum ortsüblichen Zeitpunkt gesäte Gerste (23. bzw. 24. September) zu den höchsten Kornerträgen. In keinem Fall führte Frühsaat zu höheren Erträgen. Symptome einer virusbedingten Gelbverzwergung traten allerdings in keiner der Varianten auf, so dass früh gesäte Bestände hierdurch nicht beeinträchtigt waren.

Eine Wechselwirkung zwischen Saatzeit und Saatstärke bestand nicht. Die Saatstärke von 150 Körnern m^{-2} war stets zu niedrig, auch bei früher Saat. Sie führte zu signifikant geringeren Erträgen als die Saatstärken 225 und 300 Körner m^{-2} (Tachenhausen). In Merklingsen war jeweils ein Ertragsanstieg von der niedrigsten (150 Körner m^{-2}) zur mittleren (250 Körner m^{-2}) und von der mittleren zur höchsten Saatstärke (350 Körner m^{-2}) festzustellen.

Die Hybridgerste Zzoom erzielte in allen Kombinationen und an beiden Standorten die höchsten Kornerträge. Die Liniensorte Leibniz erreichte allerdings 2010 ähnlich hohe Erträge wie Zzoom. Bei allen vier Sorten war eine beachtliche Fähigkeit zur Anpassung an die jeweiligen Wachstumsbedingungen festzustellen. Über die unterschiedliche Ausprägung der Ertragskomponenten reagierten die Bestände flexibel. Die Kornqualitätsparameter variierten Jahr- und Standort-abhängig unterschiedlich.

Einfluss von Saattermin, Sorte und Insektizidbehandlung auf den Ertrag von Wintergerste

Bernhard C. Schäfer¹, Jan Petersen², Thomas Puhl³, Hans-Werner Olf⁴, Günter Stemann¹, Oliver Wellie-Stephan⁵ und Carola Pekrun⁶

¹Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest; ²Fachhochschule Bingen; ³Bayer CropScience Deutschland GmbH, Langenfeld, ⁴Fachhochschule Osnabrück; ⁵DSV-Deutsche Saatveredelung AG, Lippstadt, ⁶Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Nürtingen. E-Mail: bcschaefer@fh-swf.de

Einleitung

Die bekannten Klimaveränderungen haben eine nachgewiesene Verlängerung der Vegetationszeit zur Folge. Diese Entwicklung bedarf einer Anpassung der Produktionstechnik vor allem bei Wintersaaten. Hier ist besonders bei Wintergerste der Aussaatzeitpunkt mit Blick auf die Vorwinterentwicklung von Bedeutung. Sind die Herbstmonate von einer milden Witterung gekennzeichnet, besteht insbesondere bei zeitig gesäten Wintergerstenbeständen die Gefahr des Überwachsens. Zudem nimmt das Risiko einer frühen Blattlausbesiedlung mit der Gefahr der Übertragung des Gelbverzwergungsvirus zu. Kommt es allerdings zu einem frühzeitigen Ende bzw. einer Unterbrechung der Vegetationszeit, ist zwar der Blattlausdruck gering, besonders Spätsaaten können aber möglicherweise bei nicht ausreichender Vorwinterentwicklung ertraglich abfallen.

Material und Methoden

Die mehrfaktoriellen Exaktversuche wurden an insgesamt sechs Standorten (Bingen, Grabau, Leutewitz, Merklingsen, Nürtingen, Osnabrück (2008 und 2009)) in Deutschland mit zwei Sorten (Highlight (mehrzeilig), Sabine (zweizeilig)) über drei Jahre (2008 bis 2010) angelegt. Der Saattermin variierte von 14 Tagen vor ortsüblich über ortsüblich bis 14 Tage nach ortsüblich. Die Saatstärke wurde dem jeweiligen Aussaattermin entsprechend angepasst (früh: 220, mittel: 260 und spät: 300 keimfähige Körner/m²). Außerdem wurde der Insektizidschutz neben einer unbehandelten Variante, durch eine Zusatzbeizung sowie eine Zusatzbeizung mit bedarfsabhängiger Applikation eines Insektizides über das Blatt variiert. Die Düngung und übrigen Pflanzenschutzmaßnahmen wurden jeweils standortbezogen optimal vorgenommen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Versuche sprechen nicht für eine generelle Verschiebung der Wintergerstenaussaat auf spätere Termine. Allerdings ergibt sich aus einer um ein bis zwei Wochen nach hinten verschobenen Aussaat nur ein geringes Ertragsrisiko. Dagegen brachten die Frühsaaten keine Ertragsvorteile, sondern wurden im Jahr 2008 erheblich durch Gelbverzwergungsvirus mit entsprechenden Pflanzenausfällen geschädigt. Um frühe Saaten vor dem Auftreten von Blattläusen zu schützen, ist ein intensiver Insektizidschutz erforderlich.

Einfluss des Saattermins auf die Ertragsbildung von Linien-, Hybrid- und Zwerghybridsorten bei Raps

Carola Pekrun, Andreas Weimer, Stefan Schierstein und Sabine Hubert

Institut für Angewandte Forschung, Abteilung Agrarwirtschaft, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen. E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

Problemstellung

Ein häufig warmer Herbst und spät einsetzende Winter machen es in der jüngeren Vergangenheit oft nötig, dass bei Winterraps im Herbst Einkürzungsmaßnahmen vorgenommen werden müssen. Es stellt sich die Frage, inwiefern unter den Witterungsbedingungen Süddeutschlands die Empfehlungen für den optimalen Aussaattermin bei Raps nach hinten verschoben werden müssen. Insbesondere bei Saat von Hybrid- und Zwerghybriden müsste eine spätere Aussaat möglich und sinnvoll sein.

Um dies zu überprüfen, wurde in den Jahren 2007/08 sowie 2008/09 an drei Standorten in Süddeutschland (Tachenhausen südlich von Stuttgart, Biberach in Oberschwaben, Gründl nördlich von Freising) Versuche mit sechs Rapssorten durchgeführt. Hierbei wurden je zwei Linien-, zwei Hybrid- und zwei Zwerghybridsorten getestet. Die Aussaat erfolgte jeweils zum ortsüblich optimalen Saattermin sowie ca. 14 Tage vorher und nachher. Die Saatstärke betrug in allen Parzellen und bei allen Saatterminen 40 keimfähige Körner m⁻². Düngung und Pflanzenschutz wurden an die Saattermine angepasst.

Ergebnisse und Diskussion

Durch den Saattermin wurde die Vegetationskegelhöhe vor Winter eindeutig beeinflusst. Bei Frühsaat war er mit 20,7 cm im Mittel über alle Versuche doppelt so hoch wie bei Spätsaat (10,0 cm). Die Wurzelhalsdicke korrelierte positiv mit der Vegetationskegelhöhe. Erhöhte Auswinterung trat dagegen je nach Standort unterschiedlich auf und betraf entweder die Normal- oder die Spätsaat.

Die Sorten wiesen die zu erwartenden Unterschiede in der Vegetationskegelhöhe auf. Bei den Liniensorten wurden mit 16,5 cm Vegetationskegelhöhe signifikant höhere Pflanzen vor Winter festgestellt als bei den Hybrid- (14,8 cm) und Zwerghybridsorten (13,8 cm). Allerdings bestanden keine Unterschiede in der Auswinterung zwischen den Sortentypen. Ertraglich schnitten im Mittel über alle Standorte und beide Jahre die Liniensorte Vision, die Hybridsorte „PR 46 W09“ sowie die Halbzwerghybride „PR 45 D03“ besonders gut ab.

An keinem der Standorte konnte eine allgemein höhere Spätsaatverträglichkeit der Hybriden und Zwerghybriden festgestellt werden. Zwar ergaben die Zwerghybriden in Tachenhausen bei Spätsaat einen besonders hohen Ertrag. Jedoch war dies nicht bei den geprüften Hybridsorten der Fall. In Biberach und in Gründl führte Spätsaat bei allen Sortentypen zu deutlich geringeren Erträgen. In Biberach lag die Ertragsreduktion bei 10 dt ha⁻¹, so dass aus diesen Versuchen keine generelle Spätsaatverträglichkeit und allgemein höhere Leistungsfähigkeit der Hybriden und Zwerghybriden herausgelesen werden kann.

Bedeutung der Stoppelbearbeitung für die Ertragsbildung von Getreide

Stefan Pflaum, Dennis Jantschik und Carola Pekrun

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU), Nürtingen. E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

Problemstellung

Die zeitige Stoppelbearbeitung wird als obligatorische Maßnahme im Ackerbau betrachtet. In einer Vielzahl von Lehrbüchern finden sich Angaben von Zielen und Wirkungsweisen, die mit der Stoppelbearbeitung verfolgt werden und die sich in der Summe positiv auf die Ertragsbildung der Folgekultur auswirken sollen. Da diese in der entsprechenden Literatur jedoch kaum mit Zahlen belegt sind und Empfehlungen sich weitgehend auf Erfahrungswissen stützen, wurde von der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) im Jahr 2007 ein Dauerversuch zur Untersuchung der Wirkung der Stoppelbearbeitung angelegt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Stoppelbearbeitung führte in zwei von drei Versuchsjahren zu erhöhten Erträgen bei Getreide. Bei Winterweizen wurde keine Beeinflussung des Ertrages festgestellt. Sommergerste und Hafer reagierten jedoch mit einer signifikanten Ertragssteigerung. Ursachen hierfür konnten einstweilen nicht geklärt werden. Eine Förderung der Unkrautdichte in den unbearbeiteten Kontrollparzellen kann die Ertragsreduktion nicht erklären, da die Verunkrautung mit deutlich unter zehn Pflanzen m⁻² in allen Parzellen äußerst gering war. Denkbar wäre, dass durch eine unterlassene Stoppelbearbeitung auf Pflanzenresten befindliche Pathogene gefördert wurden und sich ertragsmindernd auf die Folgekultur auswirkten. Bonituren zur Infektion mit parasitärem Halmbruch (*Pseudocercospora herpotrichoides*) wiesen jedoch eher auf eine Förderung von *P. herpotrichoides* in den bearbeiteten Varianten hin, ähnlich wie das aus Untersuchungen zur konservierenden Bodenbearbeitung bekannt ist (Bräutigam und Tebrügge, 1994). Weitere Pathogene, welche über Erntereste übertragen werden, traten im vorliegenden Versuch nicht in nennenswertem Umfang auf. Denkbar wäre, dass erhöhte Dichten an Ausfallgetreide in der Folgekultur bei unterlassener Stoppelbearbeitung eine Erklärung liefern. Das Ausfallgetreide könnte als Reservoir für Pathogene und Schädlinge fungieren und die Folgekultur beeinträchtigen bzw. schädigen. Allerdings trat in keiner der Parzellen in nennenswertem Umfang Durchwuchsgetreide auf. Zusätzlich konnten geringere Bodenwassergehalte in den Parzellen mit Stoppelbearbeitung nachgewiesen werden, was für eine Ertragsförderung der Parzellen ohne Stoppelbearbeitung sprechen müsste. Möglicherweise könnte eine positive Beeinflussung der Bodenstruktur, welche sich durch die Bearbeitung der Stoppel ergab, Effekte auf die Ertragsbildung der Folgekultur gehabt haben.

Literatur

Bräutigam V., Tebrügge F. 1994: Wirkung langjährig pflugloser Bodenbearbeitungssysteme auf *Pseudocercospora herpotrichoides* (Fron) Deighton; *Fusarium* spp. und *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx et Olivier. Mededelingen Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent 59:1009-1015.

Bewertung von Pflugsaat-, Mulchsaat- und StripTill-Anbauverfahren für Zuckerrüben

Johanna Link-Dolezal¹, Michael Neubauer¹, Markus Pflugfelder², Wilfried Hermann² und Wilhelm Claupein¹

¹Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Stuttgart; ²Universität Hohenheim, Versuchsstation Ihinger Hof, Renningen. E-Mail: Johanna.Link@uni-hohenheim.de

Einleitung

Die Streifenlockerung (ST) ist ein Bodenbearbeitungssystem, das eine interessante Alternative zu bestehenden Anbauverfahren (Pflugsaat (PS) und Mulchsaat (MS)) bietet (Hermann, 2008). Beim ST wird der Boden nur dort bearbeitet, wo im darauf folgenden Frühjahr das Saatgut abgelegt wird, so dass lediglich eine streifenförmige Bearbeitung des Bodens stattfindet, der Zwischenreihenbereich bleibt unbearbeitet und damit ungelockert. Ziel dieser Arbeit war, den Anbau von Zuckerrüben in PS und MS mit dem ST-Anbauverfahren zu vergleichen. Besonderes Augenmerk lag hierbei auf der Beurteilung der Jugendentwicklung in allen untersuchten Verfahren.

Material und Methoden

Der Exaktversuch wurde im Jahr 2011 auf der Versuchsstation Ihinger Hof der Universität Hohenheim mit 3 Wiederholungen angelegt. In der ST-Variante wurden die gelockerten Streifen vor der Saat in drei Qualitätsstufen eingeteilt und ausgesteckt, in der PS- und MS-Variante wurden Vergleichsstreifen angelegt.

Ergebnisse und Diskussion

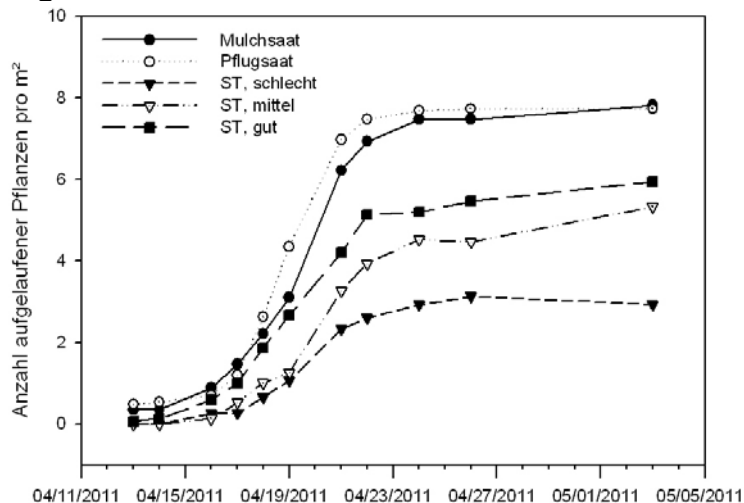


Abb. 1: Anzahl aufgelaufener Pflanzen (Mittelwert) pro m².

Durch lange Trockenphasen und nicht optimale Saatbedingungen wurde der Feldaufgang teilweise verzögert bzw. führte zu Fehlstellen im Bestand. Die PS- und MS-Variante mit knapp 8 Pflanzen pro m² war der ST-Variante mit 3-5 Pflanzen pro m² deutlich überlegen (Abb. 1). Innerhalb der Streifenqualitäten lagen nach ca. 4 Wochen deutliche Unterschiede hinsichtlich der Anzahl aufgelaufener Pflanzen vor.

Fazit

Der Versuch zeigte, dass die Streifenqualität bei ST eine wichtige Rolle spielt, um optimale Auflaufbedingungen (Bodenschluss) zu schaffen. Eine flache Stoppelbearbeitung vor der Streifenlockerung (5 cm Arbeitstiefe) oder der Einsatz breiterer Schare würde vermutlich Abhilfe schaffen und die Keimbedingungen verbessern.

Literatur

Hermann, W. 2008: Rüben und Mais in Streifen säen? DLG-Mitteilungen 07/2008.

Mähdruschsaat – eine Möglichkeit zur frühzeitigen Etablierung einer Zwischenfrucht ohne zusätzliche Arbeitsgänge

Carolin Zimmermann¹, Rebecca Schiefer¹, Christian Gall², Karlheinz Köller², Sabine Gruber³, Wilhelm Claupein³, Katharina Weiß⁴ und Carola Pekrun¹

¹Institut für Angewandte Forschung, Abteilung Agrarwirtschaft, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen; ²Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Stuttgart-Hohenheim; ³Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart-Hohenheim; ⁴Landratsamt Tübingen. E-Mail: carolin.zimmermann@hfwu.de

Problemstellung

Der Zwischenfruchtanbau wird in der landwirtschaftlichen Praxis bislang häufig vernachlässigt. Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen werden Zwischenfrüchte oft erst sehr spät ausgesät. Üblicherweise wählen Landwirte Gelbsenf (*Sinapis alba*), den sie im Zuge der Stoppelbearbeitung ausbringen. Die Folge sind häufig schwach entwickelte Bestände, mit denen die Ziele des Zwischenfruchtanbaus nicht in dem Maße erzielt werden, wie es insbesondere für einen effektiven Wasser- und Bodenschutz wünschenswert wäre.

Eine Möglichkeit, Zwischenfrüchte möglichst früh und ohne separaten Arbeitsgang zu bestellen, bietet die Mähdruschsaat, bei der die Aussaat der Folgefrucht und der Drusch des Getreides in einem Arbeitsgang erledigt werden. Hierfür gibt es verschiedene technische Ansätze, die in der Praxis bislang jedoch kaum zu finden sind.

Ergebnisse und Diskussion

In einem Kooperationsprojekt der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen und der Universität Hohenheim wurde ein Prototyp für die Mähdruschsaat von Zwischenfrüchten entwickelt und erprobt, bei dem das Zwischenfruchtsaatgut beim Drusch auf die bloßen Getreidestoppel ohne Einarbeitung ausgestreut wird.

Der Prototyp wurde in den Jahren 2009 und 2010 bei Landwirten im Raum Rottenburg-Tübingen mit positiven Ergebnissen zur Etablierung von Senf eingesetzt. Es wurden sehr stark entwickelte Senfbestände in kurzer Zeit etabliert. 2009 boten diese bereits im September eine gute Bienenweide. 2010 waren die Bestände witterungsbedingt weniger stark entwickelt. Der zeitliche Vorsprung gegenüber den betriebsüblich später ausgesäten Zwischenfruchtbeständen war in beiden Versuchsjahren deutlich sichtbar.

In parallel dazu durchgeführten Modellversuchen auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Tachenhausen stand die Frage im Mittelpunkt, welche Rolle die Strohhäckelschicht für das Auflaufen der Zwischenfrucht Senf spielt. Sowohl mit als auch ohne Strohmulchschicht zeigte die Mähdruschsaat keine Nachteile im Vergleich zur betriebsüblichen Bestellung im Zuge der Bodenbearbeitung (Grubber + Schneckenkornstreuer). Die Strohmulchdecke war für den Feldaufgang des Senfs eher förderlich als hinderlich. Dies liegt vermutlich an deren evaporationsmindernden Wirkung. Auch gegenüber der Bestellung mit einem Direktsaatgerät zeigte die Mähdruschsaat keine Nachteile. Feldaufgang und Bestandesdichte waren bei der Direktsaat zwar tendenziell höher, der Bestand lieferte aber nicht mehr oberirdische Biomasse.

Negative Effekte auf die Entwicklung von Unkräutern und Ausfallgetreide auf der Stoppel wurden bislang weder in den Praxisversuchen bei den Landwirten noch in den Exaktversuchen in Tachenhausen festgestellt.

Wirkung von ACCase- und ALS-Inhibitoren zur Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz in Abhängigkeit vom Termin der Herbizidapplikation und vom Aussattermin des Weizens

Ingo Meiners und Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Gießen. E-Mail: Ingo.Meiners@agrar.uni-giessen.de

Einleitung

Gegenwärtig wird eine zunehmende Herbizidresistenz von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) beobachtet. Betroffen sind davon vor allem Herbizide aus den Wirkstoffgruppen der ACCase (Acetyl-Coenzym A-Carboxylase)- und der ALS (Acetolactatsynthase)-Inhibitoren. Faktoren, die diese Entwicklung beschleunigen, sind Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil an Wintergetreide, die konservierende Bodenbearbeitung sowie die Vorverlegung der Aussattermine für Winterweizen. Im Allgemeinen kann Ackerfuchsschwanz im Getreide durch Anwendung von Boden- oder Blattherbiziden (im VA- oder NA-Verfahren) gut kontrolliert werden. Da die Wirkung der Herbizide sehr von biologischen, klimatischen und agronomischen Faktoren abhängig ist, kann die optimale Strategie der Ungrasbekämpfung oft nicht klar identifiziert werden. Das Ziel der Untersuchungen bestand deshalb darin, die Wirksamkeit von unterschiedlichen Herbiziden gegen Ackerfuchsschwanz bei unterschiedlicher Populationsdichte und Entwicklung der Ungräser, bedingt durch unterschiedliche Aussaatzeit des Winterweizens, zu klären.

Material und Methoden

Im Jahr 2009/2010 wurden an den Standorten Gießen (schluffiger Ton, wendende Bodenbearbeitung) und Rauischholzhausen (schluffiger Lehm, nicht-wendende Bodenbearbeitung) zwei Feldversuche mit jeweils 11 Herbizidvarianten im früh (20-30. Sept.) und spät gesäten Winterweizen (Anfang Nov.) durchgeführt. Bei der Frühsaat wurden die überwiegend über den Boden wirkenden Herbizide Herold SC (0,6 l/ha) und Cadou SC (0,5 l/ha) eingesetzt. Im 2-3-Blattstadium des Weizens wurden Herbizide aus der Klasse der ACCase-Inhibitoren (Ralon Super 1,2l/ha, Topik 100 0,6 l/ha, Axial 50EC 0,9 l/ha, Ralon Super + Axial 50EC 1,0+0,9 l/ha, Ralon Super + Topik 100 1,0+0,6 l/ha) und ALS-Inhibitoren (Atlantis WG 0,4kg/ha, Alister 1,0 l/ha und Broadway 0,22 kg/ha) appliziert. In Rauischholzhausen wurden wegen der bestehenden ACCase-Resistenz Axial 50EC und die ALS-Hemmer Broadway, Atlantis WG, Lexus, Alister und Attribut mit unterschiedlichen Dosierungen angewendet. Zur Bekämpfung dikotyler Unkräuter wurden in allen Prüfgliedern Starane eingesetzt. Als Prüfmerkmale wurden erhoben: Herbizidwirksamkeit, Ungrasbesatz, Ährenzahl/m² und Kornertrag. Zusätzlich wurde das Keimungsverhalten der Ungräser während der Vegetationsperiode dokumentiert. Die Daten wurden varianzanalytisch mit PIAF-STAT verrechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Am Standort Gießen (langjährig gepflügter Boden, geringere Häufigkeit der Herbizidapplikation) konnte bislang keine Resistenz von Ackerfuchsschwanz gegenüber ACCase- und ALS-Hemmern beobachtet werden. Die angewendeten

Herbizide erreichten an diesem Standort somit einen Wirkungsgrad von 88 % (Cadou SC) bis 99 % (Broadway) (Tab. 1). Der Kornertrag des Weizens lag in der unbehandelten Kontrolle bei 35,5 dt/ha. Die wirksame Bekämpfung des Ackerfuchschwanzes führte in allen Varianten zu einer Ertragssteigerung auf > 100 dt/ha.

Tab. 1: Wirkung von Herbiziden unterschiedlicher Wirkstoffklassen im Winterweizen an den Standorten Gießen (gepflügter Boden, keine Herbizidresistenz) und Rauschholzhausen (nicht-wendende Bodenbearbeitung, Herbizidresistenz) im Jahr 2010

Nr.	Variante	Aufwand kg, l/ha	Standort Gießen			Standort Rauschholzhausen		
			Wirkungsgrad (%)	Kornertrag (dt/ha)		Wirkungsgrad (%)	Kornertrag (dt/ha)	
			28.06.	GD 5% =10,1	Sign.	28.06.	GD 5% =5,4	Sign.
1	Kontrolle		-	35,5	A		17,0	A
2	Ralon Super	1,2	90	103,9	B	12	30,0	B
3	Topik 100	0,6	92	110,6	BC	12	26,1	B
4	Axial 50EC	0,9	93	111,1	BCD	20	36,9	C
5	Broadway	0,22	99	120,4	D	80	62,9	E
6	Atlantis WG	0,4	96	114,2	CD	97	78,0	F
7	Alister	1	96	115	CD	95	75,1	F
8	Ralon Super	1	96	115,9	CD	18	31,2	C
	+Topik 100	0,4						
9	Ralon Super	1	96	116	CD	30	40,4	C
	+Axial 50EC	0,9						
10	Herold SC	0,6	96	106,8	BC	60	56,6	D
11	Cadou SC	0,5	88	102,6	B	55	58	DE

In Rauschholzhausen (nicht-wendende Bodenbearbeitung) war ein sehr hoher Besatz mit Ackerfuchsschwanz vorhanden, der in der Kontrolle zu einem sehr geringen Kornertrag des Winterweizens von 17,0 dt/ha führte (Tab. 1). Die Anwendung von Herbiziden mit ACCase-Hemmern führte zu sehr geringen Wirkungsgraden von minimal 18 % (Ralon Super + Topik 100) bis maximal 40 % (Ralon Super + Axial 50 EC). Die alleinige Anwendung dieser Mittel war weitestgehend wirkungslos (12 bis 20 % Wirkungsgrad, Kornerträge: 26,1 bis 36,9 dt/ha). Bei ALS-Hemmern wurde an diesem Standort dagegen noch ein guter Wirkungsgrad gegenüber Ackerfuchsschwanz von 80 % (Broadway) bis 97 % (Atlantis WG) beobachtet, die zu Kornerträgen von 62,9 bis 78,0 dt/ha führten. Die Verzögerung der Aussaat des Winterweizens hatte am Standort Rauschholzhausen eine deutliche Verminderung des Feldaufgangs und der Konkurrenz mit Ackerfuchsschwanz zur Folge (Daten hier nicht dargestellt). Aus den Ergebnissen wird abgeleitet, dass bei einer bestehenden Herbizidresistenz mit den Maßnahmen der wendende Bodenbearbeitung und der Verzögerung der Weizenaussaat die Wirksamkeit der Ungrasbekämpfung deutlich verbessert werden kann.

Klimaoptimierte Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft (optimierter Klimabetrieb)

Bernhard C. Schäfer¹, Jürgen Braun¹, Joachim Brunotte², Jörg-Michael Greef³,
Franz-Ferdinand Gröblichhoff¹, Martin Heckmann¹, Harald Laser¹,
Norbert Lütke Entrup¹, Viola Richter³, Paul Schattschneider¹, Thomas Weyer¹ und
Sarah Lütke Börding¹

¹Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest; ²Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Braunschweig; ³Julius Kühn-Institut (JKI), Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig. E-Mail: BCSchaefer@fh-swf.de

Einleitung

Vor dem Hintergrund der sich ändernden Klimabedingungen werden Anpassungsstrategien im Pflanzenbau immer wichtiger. Dazu wird im Projektvorhaben der FH Südwestfalen in Zusammenarbeit mit dem JKI und vTI der Fragestellung nachgegangen, welche Möglichkeiten konventionell wirtschaftenden Betrieben zur Verfügung stehen, einerseits einen effektiven Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und sich andererseits selbst auf die Folgen des Klimawandels einzustellen.

Vorgehensweise

Für das Projekt wurden an den Standorten Merklingsen bei Soest und Salzdahlum bei Braunschweig Feldversuche in Großparzellen angelegt. Die jeweils drei dort abgebildeten Beispielbetriebe unterscheiden sich in ihrem Bewirtschaftungsverfahren. Ein Marktfruchtbetrieb mit einer engen Rapsfruchtfolge pflügt zum Stoppelweizen und zum Raps und setzt ausschließlich mineralische Stickstoffdünger ein. Der zweite Betrieb mit Veredelung und einer Biogasanlage mit dreifeldriger Fruchtfolge pflügt zur Gerste und zum Weizen und verwertet die Gärrückstände aus der Biogasanlage für die Düngung seiner Kulturen. Der dritte - Optimierte Klimabetrieb - zeichnet sich durch eine achtfeldrige Fruchtfolge mit ganzjähriger Bodenbedeckung und stark eingeschränkter Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat aus. Dieser Modellbetrieb ist ebenfalls mit Mastschweinen und einer Biogasanlage ausgestattet.

Projektziele

In dem Forschungsvorhaben sollen für die Praxis übertragbare Erkenntnisse und Strategien für eine an den Klimawandel angepasste Landwirtschaft mit Reduzierungspotential von klimaschädlichen Gasen und deren Auswirkung auf ökologische und ökonomische Eckdaten erarbeitet werden. Im „optimierten Klimabetrieb“ wird die Umstellung auf Direktsaat (Merklingsen: Cross Slot, Salzdahlum: Amazone Primera) angestrebt. Dadurch wird die Tragfähigkeit des Bodens verbessert und die Zeitspanne für die Gärrückstandsausbringung erweitert. Durch Einsparung fossiler Energieträger und von mineralischem Stickstoff in Folge eines effizienteren Einsatzes der Gärrückstände und dem Anbau von Körnerleguminosen kann die CO₂-Bilanz des Betriebes verbessert werden. Mit dem Modul SALCA (Agroscope Reckenholz-Tänikon) wird eine ausführliche Ökobilanz für die drei Modellbetriebe unter praxisnahen Bedingungen ermittelt. Ein weiteres Ziel zur besseren Beurteilung von Risiken und möglichen Folgen des Klimawandels ist die Weiterentwicklung und Anpassung des Prognosemodells APSIM (vgl. Poster Nr. 1402).

Ökostabilität von Winterroggen unter Standortbedingungen Brandenburgs

Janna Sayer¹, Gert Barthelmes² und Frank Ellmer³

¹Humboldt-Universität zu Berlin, FG Acker- und Pflanzenbau; ²Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF), Güterfelde; ³Humboldt-Universität zu Berlin, FG Acker- und Pflanzenbau. E-Mail: janna.sayer@agr.ar.hu-berlin.de

Einleitung

Die Differenziertheit der Anforderungen an Sorten landwirtschaftlicher Nutzpflanzen wird sich im Zuge des Klimawandels hinsichtlich der sich ändernden Anbaubedingungen zukünftig erhöhen. Der Einsatz von ökostabilen Sorten als bedeutende innovative Produktionsmittel stellt somit einen zunehmend wichtigen Faktor in landwirtschaftlichen Betrieben dar.

Material und Methoden

Auf Basis von Versuchsdaten der Landessortenversuche in Brandenburg für den Zeitraum 2003 bis 2010 und unter Nutzung biostatistischer Parameter wurden verschiedene Sortentypen von Winterroggen hinsichtlich ihrer Ertragsstabilität auf den vorwiegend leichten Böden in Brandenburg analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

In den Landessortenversuchen Brandenburg zeigt der Faktor Standort mit einem Anteil von 90 % in dem geprüften Zeitraum von 2003 bis 2010 den stärksten Einfluss auf die Ertragsvariabilität. Der Faktor Sorte erreicht einen Anteil von 9 % und die Wechselwirkung aus Standort und Sorte 1 %. Im Vergleich der Sortentypen zeigen die Hybridsorten mit einem mittleren Kornertrag von 76,6 dt ha⁻¹ die höchsten und tendenziell stabileren Kornerträge auch unter trockneren Witterungsbedingungen. Die Populationssorten und Synthetischen Sorten erreichen im Vergleich zu den Hybridsorten ein signifikant geringeres Ertragsniveau, zeigen aber mit Ökovalenzwerten von 4,3 s % ÖV noch eine relativ gute Ökostabilität (Tab. 1).

Tab. 5: Parameter zur Bewertung der Ertragsstabilität von Winterroggen, Einteilung nach Sortentyp (Landessortenversuche Brandenburg 2003 bis 2010, Geprüfte Umwelten: 67)

Parameter	Populations- sorten	Synthetische Sorten	Hybrid- sorten
Mittelwert Kornertrag [dt ha ⁻¹]	66,67 ^a	69,16 ^a	76,62 ^b
Reaktionsparameter b (Ökoregression)	0,92	0,97	1,01
Stabilitätsparameter s (Ökoregression)	2,59	3,06	1,29
Ökovalenz s % ÖV (Wricke, 1964)	4,32	4,31	1,66
Floating Checks [%] (Jensen, 1976)	87,0	90,3	99,9
Rangsumme (Kang, 1988)	4,7	4,3	3,1

Literatur

- Jensen, N.F. 1976: Floating checks for plant breeding nurseries. Cereal Research Communications 4:285-295.
- Kang, M.S. 1988: A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communications 16:113-115.
- Wricke, G. 1962: Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung 47:92-96.

Vergleichende Untersuchung zur Wirkung erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentrationen auf die Stomatadichte bei Mais und Sorghum-Hirse

Remy Manderscheid, Martin Erbs und Hans-Joachim Weigel

Institut für Biodiversität, VTI, Braunschweig. E-Mail: remy.manderscheid@vti.bund.de

Einleitung

Der H₂O- und CO₂-Gasaustausch zwischen Blatt und Atmosphäre wird über die Öffnungsweite der Stomata und ihre Anzahl pro Blattfläche (=Stomatadichte) reguliert. Studien an *Arabidopsis* weisen darauf hin, dass die Transpirationsrate der Pflanze die Stomatadichte beeinflusst (Lake und Woodward, 2008). In einem Versuch mit Mais und Sorghum-Hirse wurde untersucht, ob mehr CO₂ in der Atmosphäre, was in der Regel die Transpiration reduziert, die Stomatadichte verringert.

Material und Methoden

Mais (Sorte Simao) und Sorghum-Hirse (*Sorghum bicolor* x *sudanese* cv. Inka und *Sorghum bicolor* cv. Zerberus) wurden 2010 auf dem FACE-Versuchsfeld des VTI bei unterschiedlicher CO₂-Konzentration (385 ppm, 600 ppm) und Wasserversorgung (feucht: nFK stets > 60 %, trocken: nFK meist < 50 %) angebaut. Im Herbst wurden Epidermisabdrücke der Unterseiten des 2. und 10. Blatts (gezählt von oben) entnommen und mikroskopisch die Stomatadichte ermittelt (an 3 Blättern pro Versuchsparcelle, 3 Parzellenwiederholungen).

Ergebnisse und Diskussion

Die statistische Auswertung ergab signifikante Effekte ($p < 0.05$) für die Faktoren Pflanze, Blattnummer und CO₂, aber nicht für die Wasserversorgung. Signifikante Interaktion gab es nur zwischen Pflanze und Blattnummer. Demnach ist die Stomatadichte bei Sorghum höher als bei Mais und beim zweiten höher als beim zehnten Blatt (Tab. 1). Die CO₂-Anreicherung führte bei allen untersuchten Pflanzen zu einer Reduktion der Stomatadichte, und dieser Effekt betrug im Mittel 6 %. Eine schwache Interaktion ($p = 0.07$) zwischen Blattnummer und CO₂ ($p = 0.07$) weist darauf hin, dass der CO₂-Effekt auf die Stomatadichte im Verlauf der Vegetationsperiode ansteigt (mittlerer Effekt beim 10. Blatt: -3 %, beim 2. Blatt: -7 %).

Tab. 1: Stomatadichte (mm⁻²) an unterschiedlich alten Blättern und für zwei CO₂-Konzentrationen sowie Angabe des CO₂-Effekts.

Pflanze	Blatt 10			Blatt 2		
	385 / 600 ppm	% Eff.		385 / 600 ppm	% Eff.	
Simao	63	59	-7	75	70	-7
Inka	74	75	1	138	131	-5
Zerberus	78	76	-3	158	138	-13

Literatur

Lake, J.A., F.I. Woodward 2008: Response of stomatal numbers to CO₂ and humidity: control by transpiration rate and abscisic acid. *New Phytol.* 179:397-404.

Untersuchung zur Wechselwirkung unterschiedlicher CO₂-Konzentrationen und Wasserversorgung auf das Wachstum von Mais und Sorghum-Hirse

Remy Manderscheid, Martin Erbs und Hans-Joachim Weigel

Institut für Biodiversität, VTI, Braunschweig. E-Mail: remy.manderscheid@vti.bund.de

Einleitung

Ein Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration beeinflusst den CO₂ und H₂O-Gasaustausch der Pflanze und hat Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum. In einem Feldversuch haben wir für eine Maissorte nachgewiesen, dass erhöhte CO₂-Konzentrationen bei dieser C₄-Pflanze primär nur die Transpiration verringern. Daher konnte ein Effekt auf das Pflanzenwachstum ausschließlich bei limitierter Wasserversorgung nachgewiesen werden (Manderscheid et al., 2009). Sorghum-Hirse ist auch eine C₄-Pflanze und gut angepasst an trockene Standortbedingungen. Diese Pflanze wird daher in zunehmendem Maße als Alternative zu Mais angebaut, insbesondere an Grenzstandorten. Im vorgestellten Versuch wurde die Wechselwirkung von CO₂- und Wasserversorgung auf das Pflanzenwachstum bei einer weiteren Maissorte und mehrere Sorten von Sorghum-Hirse untersucht.

Material und Methoden

Mais (cv. Simao) und verschiedene Sorghum-Hirsen (*Sorghum bicolor* x *sudanese* cv. Inka, *Sorghum bicolor* cvs. Bulldozer und Zerberus) wurden 2010 auf dem FACE-Versuchsfeld des VTI bei unterschiedlicher CO₂-Konzentration (385 ppm, 600 ppm) und Wasserversorgung (feucht: nFK stets > 60 %, trocken: nFK zeitweise < 50 %) angebaut, wobei die FACE-Technik mit Rainshelters kombiniert wurde (Erbs et al., 2011). Es gab jeweils drei Versuchsfelder pro CO₂-Konzentration und jede Fläche war nochmals unterteilt in eine feuchte und trockene Hälfte. Wegen der kühlen Maiwitterung war erst die Zweitaussaat im Juni erfolgreich. Anfang Oktober wurden die Pflanzen auf den Teilflächen geerntet und die Trockenmasse ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Wegen der extrem feuchten Sommerwitterung konnte trotz Ausschluss von über 80 % des Augustniederschlags mittels der Rainshelter nur ein schwacher Trockenstress erzeugt werden. Eine Varianzanalyse zum Einfluss der einzelnen Faktoren auf die Trockenmasse ergab signifikante Effekte für die Faktoren Pflanzenart bzw. Sorte (p=0.000), Wasserversorgung (p=0.08) und die Interaktion zwischen CO₂ und H₂O-Versorgung (p=0.08). Der Mais und die Sorghum-Hirse Zerberus hatten eine höhere Biomasseproduktion als die beiden anderen Sorghum-Hirse-Sorten (Tab. 1). Bei ausreichender Wasserversorgung hatte eine Erhöhung der atmosphärischen CO₂-Konzentration auf 600 ppm keinen Einfluss auf das Pflanzenwachstum beim Mais und den drei untersuchten Sorghum-Hirsen. Erst bei begrenzter Wasserverfügbarkeit zeigte sich ein leichter positiver CO₂-Effekt auf die Biomasseproduktion. Dieser Effekt betrug im Mittel über alle vier Versuchspflanzen +5 % und war damit deutlich geringer als das Ergebnis aus einem früheren Maisexperiment. In diesem Feldversuch, in dem noch eine niedrigere CO₂-Anreicherung gewählt worden war (von 380 ppm auf 550 ppm), wurde eine CO₂-bedingte Steigerung der oberirdischen Trockenmasse um ca. 25 % gefunden

(Manderscheid et al., 2009). Bei diesem Experiment war jedoch der Trockenstress viel stärker ausgeprägt. So betrug beispielsweise die nutzbare Feldkapazität in den Monaten August und September im Durchschnitt nur ca. 20 %, während in dem jüngsten Versuch mit Sorghum-Hirse nur im September eine anhaltend niedrige Bodenfeuchte auf einem Niveau von ca. 35 % der nutzbaren Feldkapazität vorlag.

Tab. 1: Oberirdische Trockenmasse ($t\ ha^{-1}$) von Mais (Sorte Simao) und drei verschiedene Sorghum-Hirsen (Bulldozer, Inka, Zerberus) in Abhängigkeit von der Wasserversorgung (W1: trocken, W2: feucht) und der atmosphärischen CO_2 -Konzentration (C1: 385 ppm, C2: 600 ppm). Angegeben sind die Mittelwerte und in Klammern der Standardfehler ($n=3$) sowie das Ausmaß des CO_2 -Effekts.

Pflanze	W1C1	W1C2	CO_2 -Eff. in %	W2C1	W2C2	CO_2 -Eff. in %
Simao	13,7 (1,1)	14,7 (0,6)	+7	14,7 (0,5)	15,0 (0,8)	2
Bulldozer	11,9 (0,5)	12,5 (1,0)	+5	13,6 (0,7)	12,1 (0,5)	-11
Inka	11,3 (0,4)	12,5 (0,2)	+10	12,7 (0,9)	12,5 (1,1)	-2
Zerberus	14,4 (1,2)	14,6 (0,2)	+1	15,4 (0,5)	14,6 (0,2)	-5
mittel	12,9	13,6	+5	14,1	13,5	-4

Der zweite FACE-Versuch mit C_4 -Kulturpflanzen bestätigte somit die früheren Befunde zu Mais. Demnach hat der Anstieg der atmosphärischen CO_2 -Konzentration keinen Einfluss auf das Wachstum von Mais und Sorghum-Hirse, solange die Wasserversorgung ausreichend ist. Erst bei einer Begrenzung der Wasserverfügbarkeit sorgt aller Wahrscheinlichkeit nach die CO_2 -bedingte Reduktion der Transpiration für eine höhere Biomasseproduktion.

Im Versuchsjahr 2011 soll versucht werden, einen stärkeren Trockenstress zu setzen. Dann kann geprüft werden, ob es unter Bodentrockenheit für die hier ausgewählten C_4 -Pflanzen inter- oder intraspezifische Variabilitäten im CO_2 -Effekt auf das oberirdische Wachstum gibt.

Literatur

- Erbs, M., R. Manderscheid, H.J. Weigel 2011: A combined rain shelter and free-air CO_2 enrichment system to study climate change impacts on plants in the field. *Methods in Ecology and Evolution* (in press).
- Manderscheid, R., M. Erbs, E. Nozinski, H.J. Weigel 2009: Wechselwirkung zukünftiger atmosphärischer CO_2 -Konzentrationen und unterschiedlicher Wasserversorgung auf das Wachstum eines Maisbestandes: Effekte auf Wasser- und Strahlungsausnutzungseffizienz. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 21:53-54.

Wassernutzung und Ertrag von mediterranen und mitteleuropäischen Weizensorten unter dem Einfluss von Wassermangel nach der Blüte

Ines Bräsemann, Marco Grabe, Klaus-Peter Götz und Helmut Herzog

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, FG Pflanzenbau der Tropen und Subtropen. E-Mail: helmut.herzog@agrar.hu-berlin.de

Einleitung

Einer effizienten Wassernutzung von Pflanzenbeständen kommt aufgrund der globalen Klimaveränderungen und den damit verbundenen ansteigenden Temperaturen und unregelmäßigeren sommerlichen Niederschlägen auch in der mitteleuropäischen Landwirtschaft zukünftig eine wachsende Bedeutung zu. Da in mediterranen Weizensorten eine gewisse Anpassung an diese in Europa zu erwartenden Bedingungen zu vermuten ist, wurden die Komponenten der Wassernutzungseffizienz und der Ertrag in mehreren Gefäßversuchen unter optimaler und eingeschränkter Wasserversorgung nach der Blüte bei 2 Weizensorten mediterraner (cvs. *Golia* und *Gönen*) und 4 mitteleuropäischer Herkunft (cvs. *Monsoon*, *Taifun*, *Triso* und *Naxos*) untersucht.

Material und Methoden

Die Pflanzen wurden von April bis Juli 2007, 2009 und 2010 unter Freilandbedingungen mit Regenschutz in 5L- bzw. 10L-Gefäßen (lehmig-sandig Oberboden eines Luvisol) angezogen und unter annähernd optimalen Bedingungen bezüglich phytosanitärer Maßnahmen, Nährstoffen und Wasser gehalten. In einer 3-wöchigen Phase ab Blüte wurde durch Bewässerung alle 1 bis 2 Tage der Bodenwassergehalt einer Gruppe weiterhin bis zur vollen Feldkapazität aufgefüllt (Kontrolle,+) und der einer zweiten Gruppe bei $\frac{3}{4}$ bzw. $\frac{1}{2}$ der Feldkapazität (Wasserdefizit,-) gehalten und danach wieder optimal eingestellt. Die drei 2-faktoriellen Experimente (Sorten,S, Wasserregime,W) wurden als randomisierte Blockanlagen mit 5 Wiederholungen angelegt und varianz- und regressionsanalytisch (SPSS 17.00) ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Der milde nach-Blüte-Wassermangel (Hauptwirkung, Abb. 1) erhöhte die Wassernutzungseffizienz (WNE: Ertrag/Wasserverbrauch) nur 2010 signifikant und zeigte nur 2007 leichte Wechselwirkungen mit den Sorten, ohne deren Rangfolge nennenswert zu beeinflussen. *Taifun* hatte in allen 3 Versuchen eine eindeutig höhere WNE als die Sorte *Golia*, welche *Gönen* wiederum klar übertraf (2 Versuche). Die WNE von *Monsoon* lag 2007 und 2009 und die von *Triso* und *Naxos* 2010 über den Werten von *Golia*, sodass insgesamt die mediterranen Sorten beträchtlich niedrigere WNE-Werte als die mitteleuropäischen aufwiesen. Die beiden Komponenten der WNE, die Evapotranspirationseffizienz (ETE) und der Ernteindex (EI) korrelierten eng mit WNE ($r \sim 0.96$ bzw. 0.90 , $n=20$).

Hinsichtlich des Kornertrages (Hauptwirkung, Abb. 2) erbrachte die Sorte *Taifun* mittelhohe Werte, die in allen 3 Versuchen jeweils erheblich über denen von *Golia* lagen. Gegenüber *Taifun* erwiesen sich *Monsoon* ertraglich deutlich bzw. leicht (2 Versuche) und *Triso* sowie *Naxos* ebenfalls deutlich (1 Versuch) überlegen, während der Ertrag von *Gönen* erheblich unter dem von *Golia* lag (2 Versuche). Insofern

resultierte im Hinblick auf den Samenertrag eine klare Sortenrangfolge: *Triso* ~ *Naxos* ~ *Monsun* > *Taifun* > *Golia* > *Gönen*.



Abb. 1: Hauptwirkung von Sorten und Nach-Anthesis-Bewässerung (+,-) auf die Wassernutzungseffizienz. Mittelwerte mit unterschiedlichen Indizes (Sorten: A,B,C, D, Tukey-Test; Bewässerung: α,β, t-Test) unterscheiden sich signifikant bei $P=0.05$

Die Defizitbewässerung nach Blüte erzeugte nur 2007 und 2010 signifikante Ertragsminderungen von 0,3 bzw. 0,4 g/Pflanze, wobei sie bei allen Sorten außer *Taifun* in 2007 signifikant war, aber die relativen Minderungen (Empfindlichkeit) sich im Mittel zwischen den Sorten kaum unterschieden (6-15 %). Andererseits ist zu erkennen, dass die mediterranen Sorten *Golia* und vor allem *Gönen* bei optimaler Wasserversorgung erheblich weniger Ertrag produzieren als die 4 mitteleuropäischen bei mildem Wassermangel nach Blüte.

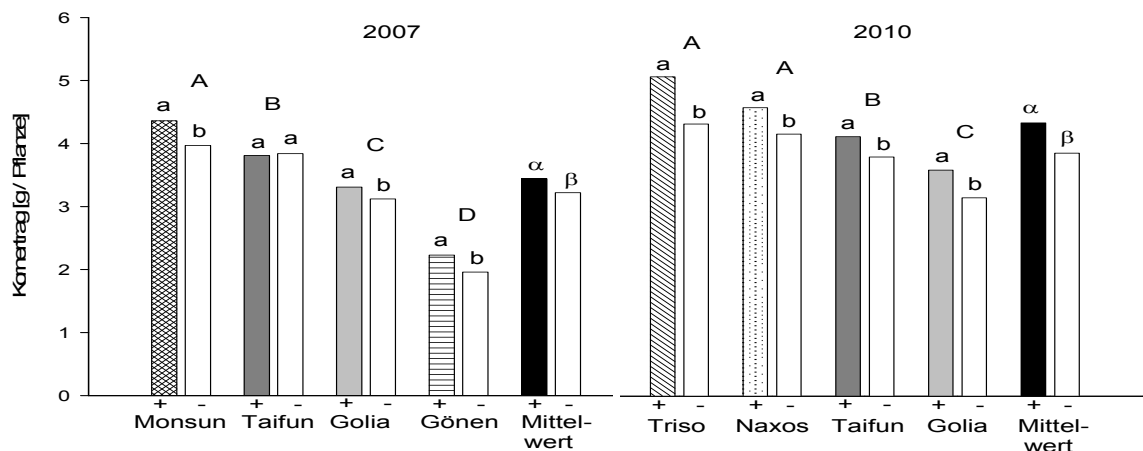


Abb. 2: Wirkung von Sorten und Nach-Blüte-Bewässerung(+,-) auf den Ertrag. Werte mit unterschiedlichen Indizes (Hauptwirkung von W:α,β , von W: A,B,C,D , Wirkung von W innerhalb einer Sorte: a,b)

Fazit ist, dass die 2 mediterranen Sorten in der Wassermangelempfindlichkeit des Ertrages sich zwar nicht eindeutig von den mitteleuropäischen unterscheiden, sie aber selbst bei optimaler Wasserversorgung ertraglich hinter den mitteleuropäischen unter Defizitbewässerung zurückblieben. Auch hinsichtlich einer Verbesserung der Wassernutzungseffizienz (WNE), welche bei knappen Niederschlägen gegen Ende der Anbausaison höhere bzw. sichere Erträge erlauben würde, erwiesen sich die 2 mediterranen Sorten als nicht erfolgversprechend. Die Beziehungen der WNE zu ihren Komponenten zeigen, dass eine Verbesserung der WNE gleichermaßen über den Ernteindex und die Evapotranspirationseffizienz zu erreichen ist.

Nährstoffeffizienz in der ökologischen Milchproduktion – Ergebnisse einer 14-jährigen Fallstudie

Hendrik Sommer¹ und Günter Leithold²

¹Institut für LifeAgriScience [ILAS], Frankenberg; ²Professur für organischen Landbau, Gießen. E-Mail: hendrik.sommer@escon-de.com

Problemstellung

Anhand der Entwicklung des Lehr- und Versuchsbetriebes der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gladbacherhof, im Zeitraum von 1993 bis 2006 wird die Zunahme der Produktionsintensität beispielhaft analysiert, dargestellt und bewertet. Besonderer Ausdruck für die Intensitätssteigerung im Untersuchungszeitraum ist die gezielte Erhöhung des Rinderbesatzes auf ca. 1 GV ha⁻¹LF, verbunden mit einer Steigerung der Jahresmilchleistung auf annähernd 8.000 kg pro Kuh. Eine derartige Entwicklung birgt jedoch die Gefahr einer Überforderung des Betriebssystems mit negativen Folgen für die Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit der Produktion in sich. Es galt daher, unter Nutzung des Betriebsbilanzierungsmodells REPRO und betrieblicher Daten der Mengenbuchhaltung, die Entwicklung des Betriebes für den o.g. Untersuchungszeitraum abzubilden, um daraus Schlussfolgerungen für dessen weitere Entwicklung abzuleiten.

Ergebnisse und Diskussion

Die qualitative und quantitative Verbesserung des Futterangebotes, die Verbesserung der Haltungsbedingungen sowie die Nutzung des Zuchtfortschrittes ermöglichten eine Leistungssteigerung in der Milcherzeugung von anfangs 6.243 auf 8.157 kg Milch je Kuh und Jahr in 2003. Der **N-Aufwand** für die Erzeugung von 1000 kg Milch sank von 38 kg auf 32 kg. Die Höhe der N-Umwandlung in Milch und Fleisch lag anfänglich bei 14 % der eingesetzten N-Menge. Im Untersuchungszeitraum konnte sie auf 19 % gesteigert werden.

Die über Stalldung und Jauche bzw. Gülle jährlich angefallene und eingesetzte Düngertrockenmasse erhöhte sich je Hektar AL von ca. 14 auf ca. 33 dt bzw. je Hektar LF von ca. 18 auf ca. 27 dt. Die kontinuierliche Steigerung des Angebotes an Nährstoffen und organischer Primärschubstanz je Flächeneinheit als ein Ausdruck der Steigerung der Produktionsintensität konnte im Untersuchungszeitraum nicht zur Ertragssteigerung bei wichtigen Ackerkulturen beitragen. Das mittlere Ertragsniveau von Winterweizen lag bei 41 dt ha⁻¹ und von Kartoffeln bei 235 dt ha⁻¹. Im Untersuchungszeitraum erfolgte eine kontinuierliche Verbesserung der Resultate der Humus- und NPK-Bilanzen je ha Ackerland. Der Humusversorgungsgrad stieg von 80 auf 120 %. Der N-Bilanzsaldo stieg unter Berücksichtigung von Gehaltsveränderungen im Boden von 40 auf 80 kg ha⁻¹ an. Die N-Verwertung sank von anfänglich 80 % auf schließlich 65 %. Insgesamt werden erhebliche Reserven für eine Ertragssteigerung auf dem Ackerland deutlich, die es zu nutzen gilt.

Literatur

Sommer, H. 2010: Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.

Ertrag und Futterqualität von Wiesenlieschgras (*Phleum pratense* L.) und Wiesenschweidel (*Festulolium*) im Vergleich zu Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L.) im 1. Aufwuchs

Doreen Tobi, Antje Herrmann, Martin Gierus und Friedhelm Taube

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, Universität Kiel. E-Mail: dtobi@email.uni-kiel.de

Einleitung

Deutsches Weidelgras gilt als die bedeutendste Grasart für die Erzeugung von Grundfutter in Nordwesteuropa, weist jedoch hinsichtlich der Futterqualität nur eine geringe Variabilität auf (Salama 2010). Ziel des folgenden Beitrages ist es daher, das Potential von zwei alternativen Futtergräsern, Wiesenlieschgras und Wiesenschweidel, im Hinblick auf ihre Eignung für die Fütterung von Hochleistungs-Milchkühen zu untersuchen.

Material und Methoden

Für einen Vergleich der Arten wurden je zwei Sorten Deutsches Weidelgras (cvs. Trend, Delphin), Wiesenlieschgras (cvs. Tiller, Comer) sowie Wiesenschweidel (cvs. Felopa, Sulino) in Reinsaaten in einer Blockanlage mit vierfacher Wiederholung an zwei Standorten in Schleswig-Holstein (Hohenschulen, Schuby) angebaut. Der erste Aufwuchs wurde beim Ährenschieben der jeweiligen Sorte geerntet. Die N-Düngung zum 1. Aufwuchs betrug 170 kg N ha^{-1} (Kalkammonsalpeter).

Ergebnisse und Diskussion

Am Standort Schuby wurde mit allen Arten ein vergleichbares Ertragsniveau erreicht. In Hohenschulen zeigte sich eine Differenzierung zwischen den Arten, wobei die Erträge des Wiesenschweidel mit 27,1 bzw. 33,1 dt ha⁻¹ gering waren (Tab. 1). Die Verdaulichkeit der organischen Substanz des Wiesenlieschgrases war an beiden Standorten signifikant niedriger als der anderen Arten. Aufgrund der bisher vorliegenden Ergebnisse können die verwendeten Wiesenschweidelsorten nicht für den Ackerfutterbau empfohlen werden. Bei der Nutzung von Wiesenlieschgras kann durch einen früheren Schnitzeitpunkt die erforderliche Futterqualität erreicht werden.

Tab. 1: TM-Ertrag und Verdaulichkeit des 1. Aufwuchses.

Art	Sorte	TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)		Verdaulichkeit (% OS)	
		Hohenschulen	Schuby	Hohenschulen	Schuby
Deutsches Weidelgras	Trend	56,7 b	56,4 a	80,8 a	80,3 a
	Delphin	74,1 a	63,9 a	79,8 a	77,7 a
Wiesenschweidel	Felopa	27,1 d	56,1 a	83,5 a	78,3 a
	Sulino	33,1 cd	55,7 a	82,5 a	79,8 a
Wiesenlieschgras	Tiller	40,1 c	61,7 a	74,4 b	68,4 b
	Comer	53,7 b	62,4 a	71,8 b	70,8 b

Literatur

Salama, H. 2010: Process-oriented evaluation of yield performance and nutritive value of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) genotypes. Dissertation Kiel.

Effekte der Applikation von Gärresten auf die N-Aufnahme und die N-Nutzungseffizienz von *Lolium perenne* L.

Meike Benzenberg¹, Christine Wachendorf², Thomas Fricke¹ und Michael Wachendorf¹

¹Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, 37213 Witzenhausen; ²Universität Kassel, Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung, 37213 Witzenhausen. E-Mail: m.benzenberg@uni-kassel.de

Einleitung

Gärreste aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden vermehrt als Dünger eingesetzt. Sie weisen jedoch aufgrund von Variationen in Ausgangsmaterial, Anlagentyp und angewandtem Verfahren ein hohes Maß an Heterogenität auf.

Material und Methoden

In einem fünfmonatigen, voll randomisierten Gefäßexperiment mit Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L., Sorte Aberavon) wurden Trockenmasse(TM)-Ertrag, N-Gehalt, N-Ertrag sowie N-Nutzungseffizienz (Nitrogen Use Efficiency; NUE_{min}) der erntbaren Biomasse in drei Schnittterminen und in Abhängigkeit verschiedener Gärreste sowie N_{min} -Aufwandmengen (0, 50, 100, 150 und 200 kg N_{min} ha⁻¹) untersucht. Appliziert wurden (i) ein Gärrest aus der Vergärung von Presssaft aus Grünlandsilage aus dem Verfahren „Integrierte Festbrennstoffe und Biogas aus Biomasse“ (IFBB) (TM 1,4 [% d. FM]; C_{org} 24,8 [% d. TM]; NH_4^+ 6,3 [% d. TM]; C_{org}/N_{tot} 2,8) (ii) ein Gärrest aus der Ganzpflanzenvergärung (GPV) (TM 11,3 [% d. FM]; C_{org} 34,8 [% d. TM]; NH_4^+ 4,6 [% d. TM]; C_{org}/N_{tot} 5,0) und (iii) KAS als N-Mineraldüngervariante (MIN) (NH_4^+ 13,5 [% d. TM]; NO_3^- 13,5 [% d. TM]).

Ergebnisse und Diskussion

Der TM-Ertrag lag zwischen 0,3 und 0,8 kg m⁻² und nahm mit steigender N_{min} -Aufwandmenge signifikant zu (ANOVA; $p < 0,001$). Es wurde jedoch kein signifikanter Effekt der Düngervariante festgestellt. Hingegen konnten für den N-Gehalt (15,6-31,6 g kg⁻¹ TM) ($p < 0,001$) und den N-Ertrag (5,0-19,9 g m⁻²) ($p < 0,001$) signifikante Effekte der Düngervarianten festgestellt werden. Dabei erzielte IFBB ähnliche N-Gehalte und N-Erträge zu MIN, GPV meist niedrigere. Für die NUE_{min} (45,9-83,8 %) wurden ebenfalls signifikante Effekte der N_{min} -Aufwandmenge ($p < 0,001$) und der Düngervariante festgestellt ($p < 0,001$), wobei die NUE_{min} für die Gärreste mit steigender N_{min} -Aufwandmenge abnahm. Für MIN lag sie hingegen stetig bei 70-75 %. IFBB wies im Mittel um 2,9 % und GPV um 13,6 % geringere NUE_{min} -Werte auf als MIN. Diese Ergebnisse legen nahe, dass Gärreste unterschiedlicher Eigenschaften bei ähnlicher N_{min} -Aufwandmenge einen signifikant unterschiedlichen Effekt auf die kurzfristige N-Aufnahme (N-Gehalt und N-Ertrag) und NUE_{min} haben können. Aufgrund des geringeren TM-Gehaltes von IFBB gegenüber GPV könnte dies in besseren rheologischen Eigenschaften von IFBB begründet sein. Wie bei Merz und Trösch (1989) erwähnt, führt dies zu einer verbesserten N-Wirkung.

Literatur

Merz, H.U., W. Trösch 1989: Vergleichende Untersuchungen zur N-Bilanz unter *Dactylis glomerata* L. nach Gülle-, Biogas-Gülle- und Mineraldüngung 1. Mitteilung: TM-Erträge und N-Entzüge. Wirtschaftseig. Futter 35:205-225.

Einfluss von Artenzusammensetzung und Düngung auf spektrale Eigenschaften von Dauergrünland ermittelt mit dem Yara-N-Sensor

Berit Greune¹, Jörg Jasper², Manfred Kayser¹ und Johannes Isselstein¹

¹Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften; ²Yara International, Dülmen. E-Mail: berit.greune1@stud.uni-goettingen.de

Einleitung

Der Einsatz von Sensoren zur teilflächenspezifischen Düngebedarfsermittlung in Getreidebeständen wird in der Praxis schon vielfach verwendet. Weniger Erfahrungen gibt es in der Verwendung von Sensoren im Dauergrünland zur Erfassung der Heterogenität des Pflanzenaufwuchses und des aktuellen Stickstoff-Düngebedarfs sowie der vorhandenen Nährstoffgehalte.

Untersucht wurde, wie sich das Spektrum in Abhängigkeit von Düngung und Artenzusammensetzung verändert und ob die spektralen Eigenschaften stärker von der Düngung als von der Artenzusammensetzung des Grünlandbestandes beeinflusst werden.

Material und Methoden

Es wurde ein Feldversuch im Hohen Solling auf altem Dauergrünland mit drei Versuchsfaktoren durchgeführt: Diversität (unbehandelte Kontrolle; Herbizid gegen Dikotyle; Herbizid gegen Monokotyle), Düngung (ohne oder mit (180kg N, 30 kg P, 100 kg K/ha und Jahr)), Mahdhäufigkeit (ein Schnitt je Jahr oder drei Schnitte je Jahr).

Versuchsaufnahmen an drei Messterminen (Juni, Juli und August 2010): Mit dem Handheld Field Spectrometer der Firma YARA® wurde die Reflexion des Grünlandbestandes erfasst und aus den aufgenommenen Spektren wurde der Spektralindex REIP berechnet. Auf derselben Fläche wurden Pflanzenarten kartiert und Ertragsanteile geschätzt, die Grasnarbenhöhe gemessen, die oberirdische Biomasse geerntet und Frisch- und Trockenmasse sowie Nährstoffgehalte mittels NIRS-Analyse ermittelt. Die statistische Auswertung erfolgte mit GenStat® 6.1.

Ergebnisse und Diskussion

Für gedüngte Parzellen wurden mit einem Mittelwert von 725,8 nm signifikant höhere REIP-Werte in allen drei Versuchsdurchgängen berechnet als für ungedüngte Parzellen mit einem Mittelwert von 722,5 nm ($p < 0,001$). Die Grasnarbenzusammensetzung hatte einen geringeren Einfluss auf den REIP-Wert; signifikante Effekte wurden im ersten und zweiten Messdurchgang ermittelt, wobei die Dicotyl reduzierten Parzellen höhere REIP-Werte aufwiesen. Im dritten Durchgang konnten keine signifikanten Effekte festgestellt werden.

Es bestand ein positiver linearer Zusammenhang zwischen dem REIP und dem Rohproteingehalt der beprobten Flächen für den 1. und 2. Messtermin ($R^2 > 0,70$). Ebenso gab es einen Zusammenhang zwischen REIP und der N-Aufnahme für alle drei Durchgänge ($R^2 = 0,61$). Die Stickstoffkonzentration spielt eine größere Rolle als die vorhandene N-Menge, was durch einen höheren Blattflächenindex in Grünlandbeständen und der vermehrt schichtartig aufgebauten Architektur im Vergleich zu Getreidebeständen erklärt werden kann. Um diese Zusammenhänge besser verstehen zu können, werden weitere Untersuchungen durchgeführt.

The relationship between biodiversity and productivity of temperate semi-natural grasslands – The effect of scale of sampling

Tatiana From¹, Nicole Wrage² and Johannes Isselstein³

¹Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften; ²Hochschule Rhein-Waal, Kleve/Life Sciences, Kleve; ³Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften. E-Mail: tfrom@gwdg.de

Introduction

So far, some biodiversity experiments on sown grasslands (Jena, BIODDEPTH) have reported a positive relationship between biodiversity and productivity (Hooper et al. 2005). Some authors discussed that the dominant species' traits are more important in determining the yield than the species diversity (Mokany et al. 2008). We suppose that the sampling scale also affects the relationship between diversity and productivity.

Material and Methods

This study was conducted in the framework of the GrassMan experimental project. Study site is a semi-natural moderately-species rich permanent grassland in the Solling uplands, Germany at Neuhaus (51°44' N, 9°32' E, 490 m a.s.l.). Plant community is *Lolio-Cynosuretum*. Latin square design of the experiment (15x15 m plots, 6 replications) is a combination of 3 factors: sward type (Control, Dicot-reduced, Monocot-reduced), cutting frequency (1 or 3 cuts a year), and nutrient input (no fertilization and 180-30-100 kg/ha of N-P-K per year). Yield sampling and vegetation surveys were conducted at 4 spatial scales: 0.16 m², 1 m², 9 m², 225 m².

Results and Discussion

Taking yield samples at four spatial scales, we found an increasing variation in species number and yield with decrease of the sampling scale. Vegetation composition in samples grouped by scale size showed dissimilarities in the number and identity of species contributing to the yield. Most important species contributing to the yield were *Dactylis glomerata* and *Lolium perenne*. At the scale of 0.16 m² only several species showed increasing contribution to the yield (e.g. *Agrostis capillaris*). Our results suggest that sampling scale matters for yield determining. Sampling on a larger scale takes into account elimination of plant identity effects, which can be influencing yield values at smaller spatial scales.

References

- Hooper, D. et al. 2005: Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75(1):3-35.
- Mokany, K. et al. 2008: Functional identity is more important than diversity in influencing ecosystem processes in a temperate native grassland. *Journal of Ecology* 96:884-893.

Energiegewinnung aus extensivem Grünland im Überschwemmungsgebiet eines Fließgewässers

Marco Aurélio Salvaro de Souza, Felix Richter, Rüdiger Graß und
Michael Wachendorf

Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Witzenhausen.
E-Mail: salvarobr@gmail.com

Einleitung

Mit dem Ziel, zum Schutz überflutungsgefährdeter Flussauengebiete beizutragen, die bei ackerbaulicher Nutzung besonders vulnerabel sind, untersucht dieses Teilprojekt des „KLIMZUG Nordhessen“-Projektes (www.klimzug-nordhessen.de) eine alternative extensive Grünlandnutzung als Anpassungsmaßnahme an mögliche klimatische Veränderungen (z.B. Überschwemmungen, Sommergewitter) und ihre Folgen (Bodenabtrag, Nährstoffauswaschung in Flüsse).

Material und Methoden

Im Jahr 2009 wurde ein Versuch an der hessischen Werra mit variiertem Grünlandansaat (Rohrglanzgras, Klee-Gras-Mischung, Diversitäts-Mischung mit 36 Arten), 2 Dünger-Varianten (0 und 100 kg N/ha als Hühnermist) durchgeführt, der durch zwei Schnitte (Anfang Juli und Anfang Oktober) genutzt wurde. Ermittelt wurden der TM-Ertrag, das Methanbildungspotential sowie Leistungsparameter des Integrierten Festbrennstoff- und Biogasverfahrens (IFBB, Wachendorf et al. 2009). In diesem Prozess wird das pflanzliche Material als Silage konserviert und der flüssige Teil (Presssaft) vom festen (Presskuchen) durch hydrothermale Konditionierung gefolgt von mechanischem Druck getrennt. Verglichen werden Methanerträge des Presssaftes und der Ganzpflanzensilage sowie Asche- und Stickstoff (N)-Gehalt und Heizwert (HHV) des Presskuchens und des Heus.

Ergebnisse und Diskussion

Der jährliche TM-Ertrag der Klee-Gras-Mischung (11.8 t ha⁻¹) war signifikant höher als der der Diversitätsmischung (7.4 t ha⁻¹) und des Rohrglanzgrases (6.6 t ha⁻¹). Die Methanausbeute der Presssäfte (352 L_N CH₄ kg⁻¹ oTS) war signifikant höher als aus Silage (273 L_N CH₄ kg⁻¹ oTS) und lag auf dem Niveau von Mais. IFBB-Presskuchen hatten signifikant geringere Asche- und Stickstoffgehalte und höhere Heizwerte im Vergleich zum Heu. Die Presskuchenqualität zum ersten Schnitt war signifikant höher als zur zweiten Ernte. Im Mittel beider Ernten hatte die Klee-Gras-Mischung den niedrigeren Aschegehalt (65.5 g kg⁻¹ TM) und den höchsten Heizwert (18.67 MJ kg⁻¹ TM). Rohrglanzgras hatte den niedrigsten N-Gehalt (9.5 g kg⁻¹ TM). Die N-Düngung hatte keinen Effekt auf Ertrag, Methanausbeute, N- und Aschegehalt, lediglich der Heizwert wurde signifikant (P<0.05) gesenkt.

Literatur

Wachendorf M., Richter F., Fricke T., Graß R., Neff R. 2009: Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. I. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. Grass and Forage Science 64:132-143.

Modellierung der Ertragsbildung unterschiedlicher Anbausysteme für Energiepflanzen mit dem Simulationsmodell HERMES

Burga Thies¹, Kurt-Christian Kersebaum², Rüdiger Graß¹ und Michael Wachendorf¹

¹Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Witzenhausen;
²ZALF Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V., Institut für Landschaftssystemanalyse, Müncheberg. E-Mail: b.thies@uni-kassel.de

Einleitung

Die Bewertung landwirtschaftlicher Anbau- und Nutzungssysteme unter zukünftigen Klimabedingungen erfordert eine Validierung von Pflanzenwachstumsmodellen auf Basis systematischer Feldversuche. Innerhalb des Forschungsvorhabens KLIMZUG Nordhessen werden Anpassungsstrategien für die landwirtschaftliche Nutzung, insbesondere im Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen, hinsichtlich der zu erwartenden Klimaänderungen unter Einsatz des Simulationsmodells HERMES (Kersebaum 1995) untersucht.

Material und Methoden

Die für eine Modellvalidierung benötigten Daten wurden in zweijährigen Feldversuchen (vollständig randomisierte Split-Plot-Anlage mit vier Wiederholungen) auf den Versuchsflächen der Universität Kassel (Neu-Eichenberg, Löss-Parabraunerde, Temperaturmittel 8,3 °C, Jahresniederschlagsmittel 650 mm) erhoben. Neben der Standardkultur Silomais (SM) (*Zea mays* L., Sorte Atletico) wurden Sonnenblume (SB) (*Helianthus annuus* L., Sorte Methasol), Hirse (SH) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, Sorte Róna1) und Sudangras (SU) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* (Pieper) Stapf, Sorte Susu) sowohl im herkömmlichen Anbausystem als Hauptkultur als auch im Zweikulturnutzungssystem, das den Anbau einer Winterkultur, hier Winterroggen (WR) (*Secale cereale* L., Sorte Vitallo), und einer Sommerkultur innerhalb eines Jahres umfasst, geprüft. Die Ertragsentwicklung wurde durch die Ermittlung des Trockenmasse(TM)-Ertrages mittels 14-tägiger Zeiternten erfasst. Zur Evaluierung der Modellgüte erfolgten für jede der fünf Kulturarten eine lineare Regression und die Bestimmung des mittleren absoluten Fehlers (MAE).

Ergebnisse und Diskussion

Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit den gemessenen TM-Erträgen durch eine lineare Regression zeigte für die Erstkultur Winterroggen ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß r^2 von 0,98 (MAE: 0,37 t ha⁻¹). Für die Haupt- bzw. Zweitkulturen wurden Bestimmtheitsmaße von 0,95 (1,72 t ha⁻¹) für SM, 0,81 für SB (MAE: 1,56 t ha⁻¹), 0,87 (1,87 t ha⁻¹) für SH und 0,85 (1,48 t ha⁻¹) für SU erreicht. Insgesamt gibt es eine tendenzielle Modellüberschätzung im Bereich geringer TM-Erträge. Die Enderträge werden mit einem mittleren Fehler von 0,86 t ha⁻¹ gut simuliert.

Literatur

Kersebaum, K.C. 1995: Application of a simple management model to simulate water and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* 81:145-156.

Klimafarm - Modellierung unterschiedlicher Anbausysteme zur Ertragsabsicherung unter veränderten Klimabedingungen

Martin Heckmann, Viola Richter und Jörg-Michael Greef

Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde/Julius Kühn-Institut, Braunschweig. E-Mail: martin.heckmann@jki.bund.de

Einleitung

Ausgehend von einer Vielzahl unterschiedlicher Klimaszenarien wird in Zukunft eine Anpassung der Anbausysteme landwirtschaftlicher Kulturen erforderlich sein. Mögliche Anpassungsstrategien zur Ertragsstabilisierung sollen im Projekt „Klimafarm“ erarbeitet werden.

Material und Methoden

Mit dem Ertragsprognosemodell „APSIM“ (Keating et al., 2003) werden die Felderträge dreier virtueller Modellbetriebe mit unterschiedlichen Strategien in der Bodenbearbeitung, Düngung und Fruchtfolgegestaltung unter Berücksichtigung vorher definierter Klimaszenarien prognostiziert. Anhand einer Stärken-Schwächen-Analyse der angebauten Kulturen und Fruchtfolgen wird anschließend ein risikominimiertes Anbausystem erstellt, das bei den erwähnten Szenarien eine optimale Ertragssicherheit verspricht.

Ergebnisse und Diskussion

Bisherige Ergebnisse zeigen, dass die Zeitfenster für eine optimale Bewirtschaftung des Ackerlandes bedingt durch klimatische Veränderungen immer schmaler werden. Vor diesem Hintergrund scheint eine Systemumstellung in Richtung reduzierter Bodenbearbeitung sinnvoll, um auch in Zukunft stabile Erträge gewährleisten zu können. Inwieweit sich darüber hinaus eine ausgeweitete Fruchtfolge neben ökologischen Aspekten auch aus finanzieller Sicht rentieren kann, werden die kommenden Versuchsjahre zeigen. Erste Erkenntnisse deuten darauf hin, dass z.B. der Anbau von GPS-Getreide als Zwischenfrucht in engen Maisfruchtfolgen eine lohnenswerte Maßnahme zur Risikominimierung sein kann.

Literatur

Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn, D.M., Smith, C.J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy* 18:267-288.

Crop model calibration for improving simulations of regional impacts of climate change in Europe

Carlos Angulo¹, Reiner Lock¹, Andreas Enders¹, Reimund Rötter², Stefan Fronzek³, Timothy R. Carter³ and Frank Ewert¹

¹Crop Science Group, Institute of Crop Science and Resource Protection, Faculty of Agriculture, University of Bonn; ²MTT Agrifood Research Finland, Mikkeli, Finland; ³Finnish Environment Institute (SYKE), Helsinki, Finland. E-Mail: klav@uni-bonn.de

Introduction

Process based crop models are a commonly used tool for large area impact assessment of climate variability and change on crop yields. While the importance of model calibration for the overall reliability of model output is well recognized, systematic evaluation of the effects of model calibration on yield simulations is hardly performed. This study aims to assess the importance of a region-specific calibration of crop phenology and selected growth parameters for yield simulations of five important (winter and spring) crops across the 25 member countries of the European Union (EU25). We compare three model calibration methods and their effects on model performance in simulating spatial and temporal crop yield variability and responses to climate change.

Materials and Methods

Simulation model. The model FAST (Fast Agro-Simulation Technique) implemented in ACE (ACE-FAST) is used for the simulations in our study. FAST is an extended version of LINTUL2 for potential and water-limited production implemented with a calibration algorithm to allow fast simulations for large numbers of spatial units and years. Weather and soil input data for FAST were obtained from the SEAMLESS database (van Ittersum et al., 2008). Sowing and harvest dates for grain maize, potatoes, sugar beet, winter barley and winter wheat, required by FAST for simulation and calibration, were obtained from the JRC/MARS Crop Knowledge Base for 233 NUTS-2 regions across Europe (JRC, 1998).

Calibration procedure and methods. We tested the effect of three different methods of calibrating the crop model ACE-FAST; (1) Region-specific calibration of phenology parameters only, (2) Region-specific calibration of phenology parameters and a correction factor for yield estimations (Therond et al., in press) and (3) Region-specific calibration of phenology and three selected growth parameters (leaf area index, specific leaf area and drought tolerance), instead of a yield correction factor. The best performing method is then applied to generate information about the impacts of climate change, increasing CO₂ concentration and technology development on yields for the five crops across EU25, and for seven climate change scenarios for the period 2041-2064.

Results and Discussion

The results of our study show that yield simulations improve substantially if the crop model is calibrated for individual regions using crop phenology and growth parameters (calibration method 3, Figure. 1c). For instance for winter wheat yield RMSE values are 1.75, 1.40 and 0.7 Mgha⁻¹ for calibration methods 1, 2 and 3, respectively. The calibration method affected not only the model simulations but also the extent of the simulated climate change impacts. Applying the calibrated model for

impact assessment revealed that climate change will reduce crop yields which will, however, differ depending on the crop and region. Simulated climate change impacts were more pronounced for spring as compared to winter crops. Consideration of the effects of increasing CO₂ concentration and technology development resulted in yield increases as compared to the baseline for all crops except maize, and differed depending on the scenario and the region. Our simulations also suggest some increase in yield variability due to climate change which, however, is less pronounced than the differences among scenarios which are particularly large when the effects of CO₂ concentration and technology development are taken into account. Our results clearly stress the need for region-specific calibration of crop models used for pan-European assessments. We conclude that future work should focus on obtaining better data and improved methods for model calibration to account for spatial differences but also temporal changes in development and growth parameters as used in crop models.

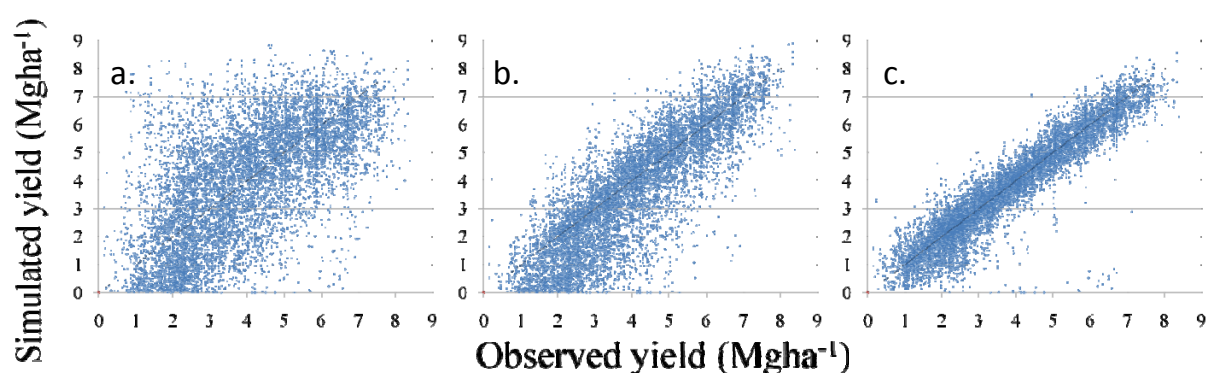


Fig. 1: Comparison between observed and simulated yields from three calibration methods; (a) phenology only, (b) using a yield correction factor, and (c) an extended calibration of selected growth parameters of winter wheat for 533 climate zones in Europe in the period from 1983 to 2006. See text for explanation of calibration methods.

References

- JRC 1998: Estimation of the phenological calendar, Kc-curve and temperature sums for cereals, sugar beet, potato, sunflower and rapeseed across Pan Europe, Turkey and the Maghreb countries by means of transfer procedures. In: Willekens, A., J. van Orshoven, J. Feyen (eds.) European Commission (JRC-SAI) Agrometeorological transfer procedures: Vol. 1-3.
- Ittersum van, M.K., F. Ewert, T. Heckelei, J. Wery, J. Alkan Olsson, E. Andersen, I. Bezlepkina, F. Brouwer, M. Donatelli, G. Flichman et al. 2008: Integrated assessment of agricultural systems-A component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agric. Syst.* 96:150-165.
- Therond, O., H. Hengsdijk, E. Casellas, D. Wallach, M. Adam, H. Belhouchette, R. Oomen, D. Russell, F. Ewert, J. Bergez, S. Janssen, J. Wery, M.K. van Ittersum 2011: Using a cropping system model at regional scale: Low-data approaches for crop management information and model calibration. *Agric. Ecosyst. Environ.* (in press).

Spatio-temporal patterns of phenological development in Germany in relation to temperature and day length

Stefan Siebert and Frank Ewert

Institute of Crop Science and Resource Conservation, University of Bonn. E-Mail: s.siebert@uni-bonn.de

Introduction

Phenological development of crops has been extensively studied in field experiments but less at larger scales for which data availability is often limited. To which extent the spatio-temporal variability of crop development can be explained by relationships derived from field studies as the temperature sum concept (e.g. McMaster et al., 2008; Ewert et al., 1999), used in many crop models is unclear but would support the large scale application of these models. The aim of this study was to analyze the spatio-temporal patterns of crop phenological development in response to temperature and day length.

Material and Methods

We used a comprehensive data set (656234 phenological observations at 6019 observation sites) about the phenology of oat (*Avena sativa* L.) and related climate data from Germany for the period 1959 to 2009.

Results and Discussion

Our results show that the statistically significant warming trend since 1959 resulted in an earlier onset of all phenological stages and a shortening of most phenological phases with a 17 days earlier onset of yellow ripeness and a shortening of the phase sowing to yellow ripeness by 14 days. There was also a distinct spatial pattern in phenological development with differences among eco-regions in the occurrence of development stages of 15-26 days depending on the stage and the length of the phases between stages of 6-21 days depending on the phase. Most of this spatio-temporal variability could be explained through the effect of temperature and day length. However, temperature sums (thermal times) and day length corrected temperature sums (photothermal times) also varied in time and space pointing to the use of different varieties over time and across eco-regions. The good agreement of the thermal and photothermal requirements of oat computed in this study with relationships known from field experiments supports the use of the temperature sum concept for large scale application to simulate crop phenology in response to temperature and day length.

References

- Ewert, F., van Oijen, M., Porter J.R 1999: Simulation of growth and development processes of spring wheat in response to CO₂ and ozone for different sites and years in Europe using mechanistic crop simulation models. *European Journal of Agronomy* 10:231-247.
- McMaster, G.S., White, J.W., Hunt, L.A., Jamieson, P.D., Dhillon, S.S., Ortiz-Monasterio, J.I. 2008: Simulating the influence of vernalization, photoperiod and optimum temperature on wheat developmental rates. *Annals of Botany* 102:561-569.

Entwicklung eines Nachhaltigkeitsindikators zur standortspezifischen Bewertung landwirtschaftlicher Anbausysteme in Bezug auf die Abschätzung der Winderosionsgefährdung

Bernhard Wagner¹, Michael Steininger², Peter Deumelandt³ und Olaf Christen⁴

¹Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle; ²Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz, Halle; ³ Privates Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH, Halle; ⁴Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle. E-Mail: bernhard.wagner@landw.uni-halle.de

Einleitung

Das Gefährdungspotenzial durch Winderosion wird gegenwärtig in Deutschland mittels des qualitativ ausgerichteten Ansatzes nach DIN 19706 bewertet.

Das durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderte Vorhaben verfolgt das Ziel, den quantitativen Ansatz der "Wind Erosion Equation" (WEQ) (Woodruff and Siddoway, 1965) in das Bewertungssystem REPRO zu überführen, auf die deutschen Verhältnisse zu applizieren und einen Indikator zur Abbildung des Gefährdungspotenzials von Agrarökosystemen zu erstellen.

Material und Methoden

Grundlage für den Indikator bildet die WEQ, die den mittleren jährlichen Bodenabtrag durch Winderosion in t/ha als Funktion von Boden, Rauigkeit, Klima, ungeschützte Feldlänge und Bodenbedeckung abbildet. In den USA wurden hierzu standortspezifische Nomogramme und Tabellen entwickelt. Williams et al. (1984) legten ein Gleichungssystem vor, welches die Grundlage für die Überführung in ein GIS und in das Programm REPRO bildet.

Ergebnisse und Diskussion

Es wird ein praxistauglicher Lösungsansatz zur Indikation des Gefährdungspotenzials durch Winderosion für die Systemumgebung des Modells REPRO und die Schaffung eines Bewertungsansatzes zur Abbildung der standortspezifischen ackerbaulichen Landnutzungssysteme in Bezug auf die Winderosionsgefährdung erarbeitet. Dieser Ansatz geht weit über die aktuell praktizierten Bewertungen nach Cross-Compliance hinaus und berücksichtigt den Einfluss der Bodennutzung und -bearbeitung. Mit der Entwicklung dieses Nachhaltigkeitsindikators wird erstmals für das Gefährdungspotenzial durch Winderosion ein standort- und betriebspezifischer Vergleich sowohl in vertikaler als auch horizontaler Bewertungsebene ermöglicht. Dem Schutzgut Boden kann nunmehr auch auf den leichten und mittleren Standort in der landwirtschaftlichen Produktion verstärkt Rechnung getragen werden.

Literatur

Williams N.P., Jones C.A., Dyke P.T. 1984: A Modeling approach to determine the relationship between erosion and soil productivity. In: Transaction of the ASAE, 27(1):129-144.
Woodruff, N.P., F.H. Siddoway 1965: A wind erosion equation. - In Soil Sci. Soc. Am. proc. 29:602-608.

Blattrollen von Sorghum bei Trockenstress

Ria Duensing, Hartmut Stützel und Ralf Uptmoor

Institut für Biologische Produktionssysteme, Fachbereich Systemmodellierung Gemüsebau, Leibniz Universität Hannover. E-Mail: duensing@gem.uni-hannover.de

Einleitung

Pflanzenmorphologie und Pflanzenarchitektur sind maßgeblich bestimmende Faktoren der Ertragsbildung, welche sowohl genetisch festgelegt als auch durch Umweltfaktoren bestimmt werden. Beispielsweise führen die Veränderung der Blattstellung und Blattrollen unter Trockenstress zu einer verminderten Lichtaufnahme und damit zu abnehmenden Wachstumsraten. Zielsetzung ist, das Blattrollen als Reaktion auf Trockenstress bei zwei verschiedenen Sorghumhybriden zu ermitteln.

Material und Methoden

Sorghum bicolor x *sudanense* 'Inka' und *S. bicolor* x *bicolor* 'Wotan' wurden in einem CRBD in sechs Wiederholungen im Gewächshaus angebaut. Die Behandlungen waren ausreichende Wasserversorgung und Trockenstress. Als ausreichende Versorgung galt 70 % der Wasserhaltekapazität (WHC). Der Trockenstress wurde zyklisch induziert, indem die WHC von 70 auf 10 % über die Zeit durch Verbrauch reduziert wurde. Nach Auflauf wurden kartesische Koordinaten der Pflanzenstruktur in einem elektromagnetischen Feld in einer standardisierten Sequenz mit Hilfe eines 3D-Digitizers (Fastrak, Polhemus, Inc, Colchester, VT, USA) aufgenommen. Der Blattrollwinkel wurde zwischen Blattmittelrippe und den Blatträndern am höchsten Blattpunkt berechnet. Ein kleiner Blattrollwinkel gibt ein stärker gerolltes Blatt an. Der Mittelwert der Winkel aller Blattränge am Haupttrieb wurde zum Bodenwasserstatus in Beziehung gesetzt. Wöchentlich wurden Blätter und Bestockungstriebe gezählt. Nach zehn Wochen wurden Blattfläche und Trockenmasse bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Für beide Hybriden nahm der Blattrollwinkel bei Wasserverlust ab. Bei ausreichender Wasserversorgung von 70 % WHC betrug der Blattrollwinkel zwischen 154°(±19) ('Wotan') und 143°(±27) ('Inka'). Bei 50 % Wasserverlust verringerte sich der Blattrollwinkel bei 'Inka' auf 58° (±37), bei 'Wotan' auf 62° (±33). Bei weiterem Wasserverlust konnte für 'Inka' kein stärkeres Blattrollen beobachtet werden, während die Blätter bei 'Wotan' sich auf 23° (±3) weiter rollten. Erst bei starkem Wasserverlust zeigte sich ein Unterschied im Blattrollwinkel zwischen den Hybriden. 'Inka' zeigte bereits bei geringem Wasserverlust eine starke Reaktion, während 'Wotan' erst bei stärkerem Trockenstress ein verstärktes Blattrollen zeigte. Das verzögerte Blattrollen bei Trockenstress bei 'Wotan' könnte zu einer höheren Lichtaufnahme und damit zu höheren Wachstumsraten führen.

Simulationsgestützte Ertragspotentiale von Winterrüben – Erste Ergebnisse zur Vorwinterentwicklung

Helge Stephan, Antje Herrmann und Henning Kage

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

Einleitung

Die Winterrübe kann theoretisch sowohl als schossende Variante für die Biomasseproduktion als auch als nicht-schossende Variante für die Zuckergewinnung verwendet werden.

Ein in Entwicklung befindliches dynamisches Pflanzenwachstumsmodell soll die Ertragspotentiale beider Nutzungsformen in Wechselwirkung mit den Standortfaktoren abbilden können. Hier sollen erste Modellergebnisse zur Vorwinterentwicklung von Winterrüben dargestellt werden.

Material und Methoden

Das dynamische Modell basiert auf einem LUE-Ansatz (Lichtnutzungseffizienz) und ist mit einem bestehenden Bodenwasser- und einem Transpirationsmodul gekoppelt. Für die Kalibration des Modells wurden zweijährige Versuchsdaten (2009 und 2010) des Standorts Hohenschulen (Schleswig-Holstein, Östliches Hügelland) genutzt. Die Hauptversuchsfaktoren waren drei Aussattermine (April, Juni, August) und drei Bestandesdichten (148 Tsd., 246 Tsd., 370 Tsd. Pflanzen ha⁻¹). Es wurden an den Daten eine Parametrisierung des Modells durchgeführt und in einem ersten Schritt die LUE geschätzt. In einem zweiten Schritt wurde die Trockenmasseallokation in die einzelnen Pflanzenorgane parametrisiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die geschätzte LUE ist im Modell mit 3.95 g TM MJ⁻¹ PAR⁻¹ höher als die in den Daten gefundene von 3.2 g TM MJ⁻¹ PAR⁻¹ (ohne Abbildung). Dies ist damit zu begründen, dass die im Modell genutzte LUE noch durch Stressfaktoren im Feld modifiziert wird. Für die Allokation der Trockenmasse in die verschiedenen Pflanzenorgane konnten verschiedene empirische Funktionen gefunden werden.

Wie der Abb. 1 zu entnehmen ist, ist die Gesamtgüte des Modells für die Gesamttrockenmasse mit einem RMSE von 103,5 und einer Effizienz des Modells von 0.98 gut.

Für die im Juni 2009 gesäten Winterrüben unterschätzt das Modell die Trockenmasseproduktion. Im nächsten Schritt muss die Kalibration für die Vorwinterentwicklung an Validationsdaten getestet werden, bevor die Überwinterung und der Wiederaustrieb modelliert werden können.

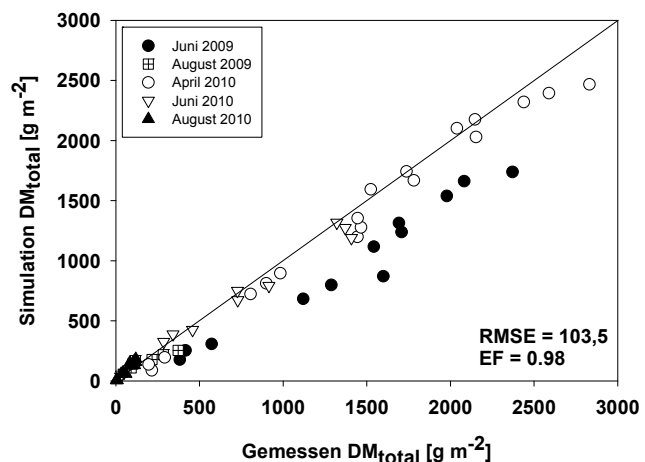


Abb. 1: 1:1 Plot der gemessenen und simulierten Gesamttrockenmasse

Einfluss simulierter Vernalisationsreaktionen auf die Vorhersagbarkeit des Erntetermins bei Blumenkohl

Karsten Zutz und Hartmut Stützel

Leibniz Universität Hannover, Institut für Biologische Produktionssysteme, Fachgebiet Systemmodellierung Gemüsebau, Hannover. E-Mail: zutz@gem.uni-hannover.de.

Einleitung

Bei Blumenkohl (*Brassica oleracea* L. *botrytis*) verzögern Perioden hoher Temperatur die Vernalisation und damit geplante Erntetermine. Es ist daher Zuchtziel, Sorten mit hoher Temperaturtoleranz zu schaffen. Unklar ist, wie die Vernalisationsreaktion beschaffen sein muss, um über die Jahre hinweg stabile und vorhersagbare Kulturauern zu gewährleisten. Zielsetzung ist, durch Simulationen einen idealen Vernalisationstyp zu finden und damit dieses Zuchtziel besser zu definieren.

Material und Methoden

Zur Simulation der Kulturdauer wurde das Modell von Kage und Stützel (1999) in ModelMaker4™ neu codiert. Um mögliche Vernalisationsreaktionen zu simulieren, wurden vier unterschiedliche Vernalisationsfunktionen implementiert. Die Parameter der Sorte `Fremont` dienen als Standard (Typ 1). Dagegen wurde als ein Extrem eine reine Temperatursummenfunktion (Typ 4) gegenübergestellt. Bei den anderen beiden Varianten wurden Plateaubreite und Höhe variiert. Die maximale Entwicklungsrate der Variante `Typ 1` liegt bei 0.06 d^{-1} zwischen 8-18 °C, die maximale Entwicklungsrate der Variante `Typ 2` beträgt 0.16 d^{-1} bei einer Temperatur von 12-13 °C. Die Simulationen wurden für einen Standort in Rheinland-Pfalz für die Jahre 1994-2010 durchgeführt. Es wurden 8 Sätze pro Jahr (alle 10 Tage ein neuer Satz nach Simulationsbeginn 1. Mai) simuliert. Als Dateninput wurden tägliche Globalstrahlungs- und Temperaturdaten verwendet. Als Modelloutput wurde die Kulturdauer gewählt. Die Abweichungen der Kulturdauer einzelner Jahre und Sätze gegenüber der mittleren Kulturdauer wurden zu Beurteilung der Stabilität herangezogen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Variante Typ 1 weist eine simulierte, mittlere Kulturdauer von 88 ± 20 Tagen auf. Bei spätem Simulationsbeginn tritt eine erhöhte Variabilität auf. Die Kulturdauer der Variante Typ 2 beträgt 78 ± 7 Tage. Bei der Variante Typ 3 dauert die Entwicklung bis zur Erntereife im Mittel 74 ± 11 Tage. Die simulierte Kulturdauer der Variante Typ 4 liegt bei 66 ± 5 Tagen. Hier ist keine Zunahme der Variabilität bei späten Sätzen ersichtlich. Bei einem Vergleich (Tukey, $\alpha = 0,05$) der quadrierten Abweichungen der Varianten (Wurzeltransformiert um Normalverteilung herzustellen) zeigt sich, dass die Streuung bei allen Typen gegenüber Typ 1 abnimmt. Die Varianten Typ 4 und Typ 2 unterscheiden sich nicht signifikant. Die Ergebnisse deuten an, dass eine stabilere Kulturdauer durch eine Verbreiterung des Plateaus in einem für Blumenkohl üblichen Vernalisationsbereich (8-18 °C) erreicht werden kann.

Literatur

Kage, H., Stützel, H. 1999: A simple empirical model for predicting development and dry matter partitioning in cauliflower (*Brassica oleracea* L. *botrytis*) Scientia Horticulturae 80:171-190.

Interaction of salinity and boron toxicity on ion relations, antioxidants and protein pattern of wheat leaves

Sajid Masood¹, Monika Wimmer², Katja Witzel¹, Christian Zörb¹, Christoph Plieth³, Livia Saleh³ and Karl H. Mühling¹

¹Inst. of Plant Nutrition and Soil Science, Christian-Albrechts-University, Kiel; ²Inst. of Crop Science and Resource Conservation, University of Bonn, Bonn; ³Zentrum für Biochemie und Molekularbiologie (ZBM), Christian-Albrechts-University, Kiel. E-mail: smasood@plantnutrition.uni-kiel.de

Introduction

Salinity affects the crop growth in two phases. In the first phase, the reduced osmotic potential of the soil solution reduces the water availability for plants. In the second phase, the accumulation of elements such as Na⁺, Cl⁻ or B to excess concentrations induces ion toxicities [1]. On the other hand, abiotic stress conditions cause the accumulation of reactive oxygen species (ROS) [2]. Reactive oxygen species are strong oxidizing species that cause oxidative damage to membrane lipids and proteins [3]. We therefore investigated the subcellular ion concentrations, low molecular weight and high molecular weight antioxidants and subcellular distribution of apoplastic proteins in wheat leaves.

Materials and Methods

Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Thasos) plants were grown in nutrient solution for 6 weeks. Boron concentrations were measured spectrophotometrically according to a miniaturized curcumin method. Antioxidant enzymes activities were quantified via luminescence assays [4], while apoplastic proteins were separated using two dimensional gel electrophoresis (2D-PAGE).

Results and Discussion

Antioxidant activity of all enzymes, Na⁺, Cl⁻ and subcellular B concentrations were increased under salinity compared to control. Contrary, B concentrations in both subcellular compartments were significantly reduced in NaCl + B compared to B toxicity alone due to reduced transpiration under salinity [5]. In NaCl + B, superoxide scavenging activity (SOSA), glutathione reductase (GR) and catalase (CAT) activities remained the same compared to NaCl alone [6] which indicates that the oxidative stress is mainly caused by NaCl rather than B toxicity. Contrary, total antioxidant capacity of low molecular weight enzymes (TAC) and luminol converting peroxidase (LUPO) activities were increased in combined stress compared to NaCl alone because H₂O₂ production is enhanced under combined stresses which is mainly catalysed by peroxidase.

References

1. Yamaguchi, T., E. Blumwald 2005: Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. Trends Plant Sci. 10:615-620.
2. Mittler, R. 2002: Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci. 7:405-410.
3. Molassiotis, A., T. Sotiropoulos, G. Tanou, G. Diamantidis, I. Therios 2006: Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9 (*Malus domestica* Borkh). Environ. Exp. Bot. 56:54-62.
4. Saleh, L., C. Plieth 2009: Fingerprinting antioxidative activities in plants. Plant Methods 5:2.
5. Alpaslan, M., A. Gunes 2001: Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, membrane permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. Plant Soil 236:123-128.
6. Eraslan, F., A. Inal, O. Savasturk, A. Gunes 2007: Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity. Scientia Horti. 114:5-10.

Effect of Ca supply on cytosolic pH and Ca in leaves of wheat plants growing under NaCl stress

Sherif H. Morgan^{1,2,3}, Sylvia Lindberg² and Karl H. Mühling¹

¹Institute for Plant Nutrition and Soil Science, Christian-Albrechts-University, Kiel, Germany; ²Botany Department, Stockholm University, Stockholm, Sweden; ³Plant Physiology Section, Plant Botany Department, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, Egypt. E-Mail: dr.morgan77@yahoo.com

Introduction

Calcium maintains the cell wall and membranes structures as well as many other physiological processes. Also Ca influence both growth and, as a ubiquitous second messenger in plants, Ca influencing the plant responses to stress. Perception of salt stress in plant cells induces a change in cytosolic Ca, $[Ca^{2+}]_{cyt}$, Na^+ , $[Na^+]_{cyt}$ and pH, $[pH]_{cyt}$, which in resistant cultivars transfers downstream reactions toward salt resistant [1]. Upon short-term salt stress (minutes or hours) there are transient shifts in $[Ca^{2+}]_{cyt}$ and pH_{cyt} but little is known about the long-term effects (days) by salinity on $[Ca^{2+}]_{cyt}$ and $[pH]_{cyt}$ levels. Therefore, we focused on measuring the $[Ca^{2+}]_{cyt}$ and $[Na^+]_{cyt}$ concentrations and $[pH]_{cyt}$ to investigate if a relation existed between changes in $[Ca^{2+}]_{cyt}$ and $[pH]_{cyt}$ in response to external supplied Ca^{2+} and/or NaCl approaching to have more clear vision to understand the behaviour of the plant under salinity.

Materials and Methods

The effect of salinity (0 and 50 mM NaCl) was investigated on wheat seedlings cv. Seeds1 during 7 d of cultivation in hydroponics, with and without extra Ca addition (0 and 5 mM $CaSO_4$). Protoplasts were isolated by an enzymatic method [2] and Fura2-AM, SBFI-AM and BCECF-AM were loaded for detecting $[Ca^{2+}]_{cyt}$ [3], $[Na^+]_{cyt}$ [4] and $[pH]_{cyt}$ [2], respectively, using fluorescence microscopy. Data were statistically analyzed using two factorial completely randomized design (CRD) and means were compared using the least significant difference test (L.S.D.) at 5% level of probability.

Results and Discussion

Less Ca^{2+} was taken up into the cytosol of leaf protoplast under salinity when compared with control plants. While contrarily was reported with *extra* Ca^{2+} addition only at saline condition, which could indicate that, the long-term changes of $[Ca]_{cyt}$ level are both salinity and Ca dependant. Moreover, irrespective of Ca^{2+} treatment, the $[pH]_{cyt}$ increased upon salinity treatment, while $[Na]_{cyt}$ did not change significantly.

References

1. Kader MA, Lindberg S. 2010: Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. *Plant Signaling Behavior* 5(3):233-238.
2. Lindberg S, Strid H. 1997: Aluminium induces rapid changes in cytosolic pH and free calcium and potassium concentrations in root protoplasts of wheat (*Triticum aestivum*). *Physiol Plant* 99:405-14.
3. Shishova M, Lindberg S. 2004: Auxin induces an increase of Ca^{2+} concentration in the cytosol of wheat leaf protoplasts. *J Plant Physiol* 161:937-945.
4. Kader MA, Lindberg S. 2005: Uptake of sodium in protoplasts of salt-sensitive and salt-tolerant cultivars of rice, *Oryza sativa* L. determined by the fluorescent dye SBFI. *J Exp Bot* 56:3149-3158.

Unterschiede in der β -Expansin Abundanz und im apoplastischen pH zwischen wachsenden Blättern eines salzresistenten und eines salzsensitiven Maishybriden

Christoph-Martin Geilfus¹, Dietrich Ober², Karl Hermann Mühling³ und Christian Zörb⁴

¹Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität, Kiel; ²Botanisches Institut, Biochemische Ökologie und molekulare Evolution, Christian-Albrechts-Universität, Kiel; ³Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität, Kiel; ⁴Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität, Kiel. E-Mail: cmgeilfus@plantnutrition.uni-kiel.de

Einleitung

Salzempfindliche Pflanzen wie Mais (*Zea mays* L.) reagieren mit einer Wachstumsreduktion auf NaCl Stress. Dies ist vermutlich auf eine Reduktion der Zellteilung und -dehnung zurückzuführen. Zellwandauflockernde Substanzen wie Expansine sind von großer Bedeutung für die Extensibilität der Blätter. Unter anderem vermitteln sie das säureinduzierte Wachstum. Ziel dieser Studie war zu untersuchen, ob (i) die Abundanz von β -Expansinen und (ii) der apoplastische pH-Wert in wachsenden Blättern von Maispflanzen, die sich in ihrer Salzresistenz unterscheiden, infolge von NaCl Stress unterschiedlich sind.

Material und Methoden

Die Proteinabundanz wurde mit einem 2D Western blot untersucht. Der apoplastische pH-Wert wurde mittels ratiometrischer Fluoreszenzmikroskopie gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

In expandierenden Blättern des sensitiven Hybriden erwies sich eine von vier β -Expansin-Isoformen durch eine 8-tägige 100 mM NaCl Behandlung als quantitativ reduziert (2D Western blot). Diese Reduktion steht möglicherweise in einem direkten Zusammenhang mit der Wachstumsreduktion der Blätter. Darüber hinaus ergaben ratiometrische *in planta*-Untersuchungen, dass der Blattapoplast des salzresistenten Hybriden ansäuert. Interessanterweise behielt dieser resistente Hybrid das Blattwachstum bei. Möglicherweise stellt diese Ansäuerung ein Teil des Mechanismus dar, der einem verminderten Wachstum unter Salinität entgegenwirkt. Eine Bestätigung dieser Annahme könnte sein, dass der salzsensitive Hybrid eine signifikante Wachstumsreduktion zeigt, wobei der Blattapoplast nach NaCl Behandlung aber nicht acidifiziert.

Effect of salt stress on vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter activity in maize hybrid SR05 during the second phase

Abdel-Kareem Mohamed, Stefan Hanstein, Britta Pitann and Sven Schubert

Institute of Plant Nutrition, Justus-Liebig-University, Gießen. E-Mail: Abdel.k.Mohamed@ernaehrung.uni-giessen.de

Hypothesis

Salinity limits plant growth and impairs plant productivity. In order to overcome these limitations, plants have evolved different strategies to improve resistance against high Na⁺ concentrations. At the cellular level, Na⁺ compartmentation into vacuoles provides an efficient mechanism to maintain Na⁺ at non-toxic concentrations in the cytosol (Sottosanto et al., 2007). The transport of Na⁺ into the vacuole is mediated by an Na⁺/H⁺ antiporter (NHX) that is driven by the electrochemical proton gradient generated by the H⁺-ATPase and H⁺-PPase (Blumwald, 2000). The aim of this work was to investigate the effect of salt stress on NHX activity in the newly developed maize hybrid SR 05 that shows improved salt resistance (Schubert et al. 2009).

Results and Discussion

Tonoplast vesicles were isolated from young leaves (Queiros et al., 2009) of *Zea mays* L. genotype SR 05 grown under control (1 mM NaCl) and saline conditions (200 mM NaCl). The proton pumping activity across tonoplast vesicles was measured as the initial rate of fluorescence quenching of 9-amino-6-chloro-2-methoxyacridine (ACMA) after adding Mg-ATP. In order to describe NHX activity, pumping activity of tonoplast H⁺-ATPase and maximum pH gradient in the absence and in the presence of Na⁺ were compared.

Addition of Na⁺ to the pumping assay significantly decreased the pH gradient in vesicles of salt-treated plants by 51% (n = 3). This strongly indicates that Na⁺/H⁺ antiporters were operating in vesicles from salt-treated plants. In control plants addition of Na⁺ to the pumping assay decreased the pH gradient by 38%, which was not significant. The findings support the hypothesis that salt stress increases the activity of tonoplast Na⁺/H⁺ antiporters in leaves of the salt-resistant maize genotype SR 05 and thus increases Na⁺ transport from the cytoplasm to the vacuole.

References

- Blumwald, E. 2000: Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current Opinion in Cell Biology* 12: 431-434.
- Queiros, F., Fontes, N., Silva, P., Almeida, D., Maeshima, M., Geros, H. and Fidalgo, F. 2009: Activity of tonoplast proton pumps and Na⁺/H⁺ exchange in potato cell cultures is modulated by salt. *Journal of Experimental Botany* 60:1363-1374.
- Schubert, S., Neubert, A., Schierholt, A., Sümer, A., Zörb, C. 2009: Development of salt-resistant maize hybrids: The combination of physiological strategies using conventional breeding methods. *Plant Science* 177:196-202.
- Sottosanto, J.B., Saranga, Y., Blumwald, E. 2007: Impact of AtNHX1, a vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter, upon gene expression during short-term and long-term salt stress in *Arabidopsis thaliana*. *BMC Plant Biology* 7:18.

Are non-methylated uronic acids involved in limiting extension growth of maize shoot in the first phase of salt stress?

Nesar Uddin, Ruben Leubner, Philipp Eitenmüller, Stefan Hanstein and Sven Schubert

Institute of Plant Nutrition, Universität Gießen. E-Mail: mnesar_bau@yahoo.com

Introduction

The carboxyl groups in pectins are highly esterified with methyl groups during biosynthesis in the golgi and are deesterified later, as the cells ceasing growth, due to the action of pectin methylesterases. De-esterified pectins form stiff gels through Ca^{2+} -mediated cross-linking of carboxyl groups through ionic and coordinate bonds (Cosgrove, 2005). Changes in pectins and methylesterification of pectins in cell walls of different maize genotypes in the first phase of salt stress may explain their differential inhibition of growth.

Results and Discussion

In order to investigate the changes of non-methylated pectin concentrations in cell-wall as affected by salt stress, three maize genotypes namely Pioneer 3906, SR 12 and SR 03 were cultivated in 1 mM (control) and 100 mM NaCl. Pectin and methylesterification of pectin were determined colorimetrically. The concentrations of non-methylated uronic acids were increased in young growing shoot cell-wall of Pioneer 3906 and SR 12 but decreased in SR 03. However, studies with the youngest and younger shoot cell-wall of SR 12 and Pioneer 3906 revealed that the relative increase of non-methylated uronic acid concentration is delayed in SR 12 compared to Pioneer 3906, which perhaps favored SR 12 to grow relatively better than Pioneer 3906 under salt stress. Previous studies revealed that only SR 03 can maintain proton pump-mediated acidification of apoplast while SR 12 and Pioneer 3906 cannot maintain wall acidification under salt stress (Pitann et al., 2009; Hatzig et al., 2010). This suggests that increasing concentrations of non-methylated uronic acids may be involved in decreasing shoot elongation by forming Ca-pectate and other types of wall cross-links in cv. Pioneer 3906 and SR 12. However, the growth inhibition in SR 03 might come from other types of cross-links rather than non-methylated uronic acid in the first phase of salt stress.

References

- Cosgrove, D.J. 2005. Growth of the plant cell wall. *Nat. Rev. Mol. Cell. Biol.* 6(11):850-861.
- Hatzig, S., Hanstein, S., Schubert, S. 2010. Apoplast acidification is not a necessary determinant for the resistance of maize in the first phase of salt stress. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173:559-562.
- Pitann, B., Schubert, S., Mühling, K. H. 2009. Decline in leaf growth under salt stress is due to an inhibition of H^+ -pumping activity and increase in apoplastic pH of maize leaves. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172:535-543.

Wurzelbürtige Signale – Die Rolle von Abscisinsäure in der Ausbildung von Salzresistenz bei Mais

Britta Pitann, Ahmad N. Shahzad und Sven Schubert

Institut für Pflanzenernährung, IFZ, Justus-Liebig-Universität Gießen. E-Mail: Britta.Pitann@ernaehrung.uni-giessen.de

Problemstellung

In der ersten, osmotischen geprägten Phase von Salzstress kommt es generell zu einer starken Wachstumsdepression der Pflanze (Munns, 1993). Obwohl in den letzten Jahren viel zum Verständnis von Salzstress beigetragen wurde, konnten bisher noch nicht alle zugrunde liegenden Mechanismen aufgeklärt werden.

Physiologisch ist die Wachstumshemmung nicht auf einen verminderten Turgor, sondern zum Teil auf eine Hemmung der Pumpaktivität der Plasmalemma H^+ -ATPase und somit eine reduzierte Zellwandansäuerung (Pitann et al., 2009) zurückzuführen. Weiterhin ist bekannt, dass das Phytohormon Abscisinsäure (ABA) in der Anpassung an abiotischen Stress eine wesentliche Rolle spielt, wobei dessen Bedeutung immer noch kontrovers diskutiert wird. Ziel dieser Arbeit war es daher, auf physiologischer sowie molekularer Ebene den Einfluss von ABA auf die Ausbildung von Salzresistenz bei Mais zu untersuchen.

Ergebnisse und Diskussion

Unter Salzstress kommt es generell zu einer Akkumulation von ABA im Sprossgewebe, die in salzresistenten Maisgenotypen deutlich stärker ausgeprägt ist (De Costa et al., 2007). In dieser Arbeit zeigte sich, dass ABA (10 μ M) und Salzstress in der ersten Phase (100 mM NaCl) eine vergleichbare Wirkung auf das Sprosswachstum von Mais haben, wobei der salzempfindliche Pioneer 3906 besonders sensitiv reagierte. Interessanterweise spiegelte sich dieser ABA-Effekt aber nicht in der Ansäuerung des Apoplasten wider. Ein Vergleich mit dem resistenteren SR 03 zeigte, dass sowohl Salzstress als auch ABA bei Pioneer 3906 die Zellwandansäuerung reduzierten, SR 03 diese aber unter Salzstress aufrechterhielt (Pitann et al., 2009) und durch ABA sogar verstärkt wurde. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit der Wirkung von ABA auf die Pumpeffizienz der Plasmalemma H^+ -ATPase, welche bei SR 03 erhöht, bei Pioneer 3906 hingegen signifikant vermindert war. Dieses ist vor allem auf die Hochregulierung der effizienten Plasmalemma- H^+ -ATPase-Isoform *MHA3* bei SR 03 unter Salz- und ABA-Behandlung zurückzuführen. Hieraus und der insgesamt besseren Wachstumsleistung von SR 03 kann geschlossen werden, dass ABA ein wichtiges wurzelbürtiges Signal ist, welches an der Ausbildung von Salzresistenz beteiligt ist.

Literatur

- De Costa, W., Zörb, C., Hartung, W., Schubert, S. 2007: Salt resistance is determined by osmotic adjustment and abscisic acid in newly developed maize hybrids in the first phase of salt stress. *Physiologia Plantarum* 131:311-321.
- Munns, R. 1993: Physiological processes limiting plant growth in saline soils: Some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ* 16:15-24.
- Pitann, B., Schubert, S., Mühling, K.H. 2009. Decline in leaf growth under salt stress is due to an inhibition of H^+ pumping activity and increase in apoplastic pH of maize leaves. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:535-543.

Apoplastic Na⁺ in *Vicia faba* leaves rises after salt stress – Evidence for the Oertli hypothesis

Muhammad Shahzad, Christian Zörb and Karl H. Mühling

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Kiel. E-Mail: khmuehling@plantnutrition.uni-kiel.de

Introduction

Salinity primarily affects plants by shoot-growth inhibition. It has been suggested that the ability of salt sensitive plants to stack up more Na⁺ in their leaf apoplast under salinity leads to their reduced water status. Evidence relating extra-cellular salt accumulation is still enigmatic and was focused under short term saline conditions. Silicon (Si) as found to alleviate deleterious salt effect, its role in the leaf apoplast under salinity was also examined.

Materials and Methods

Vicia faba was subjected to increasing levels of salinity 1, 50, 75 and 100 mM NaCl. 1 mM Si treatment was added with the full nutrient concentration in Si treated pots. For apoplastic washing fluid (*AWF*) collection, 3rd, 4th, 5th and 6th paired leaves from bottom of the plants were excised 10 d after reaching the maximum salinity level at 100 mM NaCl.

Results and Discussion

We observed drastic increase in Na⁺ concentration in leaf apoplast with increasing salinity levels. Si treatment significantly reduced Na⁺ concentration in the leaf apoplast at higher salinity treatment. In addition, Si was also found to improve Ca²⁺ status in the leaf apoplast at high salinity level. In our study, though high Na⁺ in the leaf apoplast of field bean partially support Oertli's hypothesis that extracellular salt accumulation can lead to wilted leaves, plant growth reduction, and later cell death. However, significant decrease in Na⁺ concentration in the leaf apoplast but with no difference in fresh weight under salinity by silicon addition is also noticeable. These findings do not favour earlier premise that Na⁺ in the leaf apoplast is responsible for the decline in leaf growth.

References

- Mühling, K.H., Läuchli, A. 2002: Effect of salt stress on growth and cation compartmentation in leaves of two plant species differing in salt tolerance. *J. Plant Physiol.* 159:137-146.
- Oertli, J.J. 1968: Extracellular salt accumulation, a possible mechanism of salt injury in plants. *Agrochimica.* 12:461-469.
- Slabu, C., Zörb, C., Steffens, D., Schubert, S. 2009: Is salt stress of faba bean (*Vicia faba*) caused by Na⁺ or Cl⁻ toxicity? *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172:644-650.

(How) do polyamines mediate stress tolerance in barley?

Nancy Nowak, Heidrun Beschow, Liane Freitag and Edgar Peiter

The Plant Nutrition Laboratory, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle. E-Mail: nancy.nowak@landw.uni-halle.de

Introduction

Worldwide, drought is the main yield-limiting factor in crop production. Drought resistance is therefore a major goal for crop research. Polyamines play a central role in abiotic stress tolerance of plants in general and drought tolerance in particular (Alcazar et al. 2006). Common polyamines in plants are putrescine, spermidine and spermine. Recent studies show that spermine seems to play a specific role in stress tolerance. The aim of this project is to investigate the role of spermine and its structural isomer thermospermine in drought stress tolerance of barley. We hypothesise that polyamines modulate abiotic stress-related Ca^{2+} signals, which in turn would affect stress tolerance mechanisms.

Materials and Methods

Barley (*Hordeum vulgare* L.) plants were grown in a growth chamber at 22°C, 65% relative humidity and a photoperiod with 16h light and 8h darkness. Genes encoding proteins possibly mediating of the synthesis of spermine and thermospermine in barley were identified and full-length cDNA sequences were obtained according to standard methods. For overexpression and RNAi-induced silencing of those genes we cloned cDNAs into the binary vector pLH6000. The vector was transformed into *Agrobacterium tumefaciens* by electroporation. Genetic transformation of barley was performed as described by Tingay et al. 1997. For cell culture experiments we established a new suspension culture from callus. Callus and cell cultures were grown in modified Murashige and Skoog medium. Pharmacological experiments on tissue cultures and intact plants were carried out on hydroponically-grown plants.

Results and Discussion

For the reverse genetic analysis of spermine synthases in barley, an immature embryo-based transformation protocol has successfully been established in the laboratory, with transformation efficiencies of around 30%. Initial pharmacological experiments on whole plants have yielded the unexpected result that application of spermine to the root medium affected the plant's osmotic stress tolerance in a negative way. Current examinations indicate that this effect may have been caused by bacterial degradation products. Also, in first suspension culture experiments the application of the polyamine spermine caused a diminished cell growth. For a better understanding of polyamine action in barley the regulation of stress-related $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{cyt}}$ signalling by polyamines is currently being analysed.

References

- Alcazar, R., F. Marco, J.C. Cuevas, M. Patron, A. Ferrando, P. Carrasco, A.F. Tiburcio, T. Altabella 2006: Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnol. Lett* 28:1867-1876.
- Tingay, S., D. McElroy, R. Kalla, S. Fieg, M. Wang, S. Thornton, R. Brettell 1997: *Agrobacterium tumefaciens*-mediated barley transformation. *Plant J.* 11:1369-1376.

Ertragsphysiologische Untersuchungen zur Trockentoleranz bei Getreide

Siegfried Schittenhelm¹, Martin Kraft² und Klaus-Peter Wittich³

¹Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Julius Kühn-Institut, Braunschweig; ²Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Braunschweig; ³Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung, Braunschweig. E-Mail: siegfried.schittenhelm@jki.bund.de

Einleitung

Angesichts einer zunehmenden Verknappung und Verteuerung des Produktionsfaktors Wasser wird es immer wichtiger, den pflanzlichen Wasserstatus bzw. Wasserbedarf schnell, kostengünstig sowie möglichst berührungs- und zerstörungsfrei beurteilen zu können. Zwei potenziell geeignete sensoroptisch messbare Pflanzeigenschaften sind die Bestandestemperatur und die spektrale Reflexion.

Material und Methoden

In der Vegetationsperiode 2009/2010 wurden in Braunschweig je vier Sorten der Winterformen von Gerste, Roggen, Triticale und Weizen in einem Rainshelter (Regenausschluss nach dem 6. April) bzw. auf einer benachbarten regelmäßig bewässerten Kontrollfläche angebaut. Zu verschiedenen Entwicklungsstadien wurde mittags die Bestandesoberflächentemperatur gemessen und die Differenz ΔT zur Lufttemperatur berechnet. Außerdem wurde die spektrale Reflexion der Bestände bei 780, 900 und 1.675 nm mit einem Spektrometer erfasst und die Wasserindizes NDWI (Normalized Difference Water Index) und MSI (Moisture Stress Index) berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Der durchschnittliche Rückgang im Strohertrag (-36 %) aufgrund von Trockenstress war deutlich geringer als der im Kornertrag (-57 %). Der Grund ist, dass Wasser den Pflanzen im Rainshelter nur in Form der Winterbodenfeuchte zur Verfügung stand, von welcher die vegetativen Pflanzenteile stärker profitierten als die sich später entwickelnden generativen Pflanzenteile. In der Höhe der Kornertragsreduktion von Gerste (-50 %), Roggen (-54 %), Triticale (-62 %) und Weizen (-63 %) spiegelt sich die zunehmende Dauer des Trockenstresses aufgrund der zunehmend späteren Reifezeit wider. Beim Strohertrag fiel die Ertragsreduktion bei Roggen (-19 %) deutlich niedriger aus als bei Gerste (-27 %), Triticale (-50 %) und Weizen (-47 %). Sowohl die Differenz aus Bestandes- und Lufttemperatur als auch die spektraloptischen Indexwerte NDWI und MSI korrelierten eng mit dem Biomasseertrag. Die Tatsache, dass NDWI und MSI auch eine enge Beziehung zum Vegetationsindex GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) aufwiesen, wirft die Frage auf, ob die „Wasser“-Indexwerte tatsächlich etwas über den Wasserstatus der Pflanzen aussagen oder ob sie, ebenso wie der GNDVI, nur einen Schätzwert für die Biomasse darstellen. Die enge Beziehung zwischen MSI und stomatärer Leitfähigkeit bei sämtlichen Getreidearten ($r^2 = 0,68$ bis $0,95$) zeigt, dass die spektralen Reflexionsindizes ein brauchbares Werkzeug für die Bestimmung physiologischer Pflanzeigenschaften darstellen.

Auswirkung tiefer Nachttemperaturen auf den Hülsenansatz verschiedener Soja-Genotypen

Ralf Schill, Sabine Gruber, Sabine Zikeli und Wilhelm Claupein

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

Einleitung

Der Anbau von Sojabohnen (*Glycine max*) ist auf Grund hoher Temperaturansprüche in Deutschland nur in klimatisch begünstigten Regionen verbreitet. Besonders der Zeitraum Mitte Juni gilt als kritische Phase, in der die Pflanzen auf tiefe Nachttemperaturen mit dem Abwurf von Blüten und Hülsen reagieren können (Gass et al., 1996). In der Studie sollte unter kontrollierten Bedingungen untersucht werden, ob Sojagenotypen Unterschiede im Hülsenansatz zeigen, wenn sie zu Blühbeginn tiefen Nachttemperaturen ausgesetzt sind.

Material und Methoden

Der Versuch wurde von März bis Juni 2011 an der Universität Hohenheim in Klimakammern durchgeführt. Die sechs untersuchten Genotypen (Sorten und Zuchtlinien) wurden von einem deutschen Tofu-Produzenten zur Verfügung gestellt. Der Versuchsaufbau in jeweils einer von drei Klimakammern war eine randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen und drei zeitlich aufeinander folgenden Durchgängen. Die Pflanzen wurden in 15×15×15 cm großen Töpfen (beimpft mit Force 48) angezogen. Zu Blühbeginn (BBCH 61) wurden die Pflanzen für eine Woche in den Klimakammern jeweils drei unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt (2 °C/25 °C, 10 °C/25 °C, 20 °C/25 °C; Nacht/Tag). Nach einer Woche Kältereiz wurden die Anzahl der Hülsen sowie die Spross-, Wurzel- und Knöllchenmasse erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Die Genotypen 3, 5 (Referenzsorte: Merlin) und 6 zeigten eine reduzierte Hülsenanzahl bei tiefen Temperaturen um bis zu 24 % (Tab. 1). Die anderen Genotypen tolerierten offenbar die Kälte und könnten für die Züchtung von Sorten für kühlere Lagen Verwendung finden; allerdings war der Ertrag gerade bei diesen Genotypen niedriger als bei den kälteempfindlichen Typen. Es bleibt zu prüfen, inwieweit ein Zusammenhang zwischen dem Ertragsniveau und der beobachteten Kältetoleranz besteht.

Tab. 1: Mittlere Anzahl der Hülsen pro Sojapflanze (BBCH 75) in Abhängigkeit von Genotyp (GT) und Nachttemperatur, Standardabweichung in Klammern.

Temp.	Anzahl Hülsen/Pflanze					
	GT 1	GT 2	GT 3	GT 4	GT 5	GT 6
20 °C	14,0 (3,9)	15,2 (4,7)	41,7 (11,3)	16,3 (5,5)	31,6 (12,4)	38,4 (12,8)
10 °C	15,6 (8,3)	14,1 (4,4)	37,8 (7,2)	19,8 (4,5)	31,2 (14,3)	32,4 (10,5)
2 °C	14,1 (3,7)	15,7 (4,3)	32,1 (10,5)	19,2 (6,6)	27,5 (10,0)	29,4 (9,3)

Literatur

Gass T., A. Schori, A. Fossati, A. Soldati, P. Stamp 1996: Cold tolerance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) during the reproductive phase. *European Journal of Agronomy* 5:71-88.

Comparative yield performance of newly developed salt-resistant maize hybrids in non-saline and salt-affected field conditions

Muhammad Saqib¹ and Sven Schubert²

¹Institute of Soil and Environmental Science, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan; ²Institute of Plant Nutrition, Justus Liebig University, Giessen, Germany. E-Mail: drhmsab@yahoo.com

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is an important grain crop with a potential to increase the food security of the world's poor if its salt resistance is improved. A field study was conducted to compare the newly developed salt-resistant maize hybrids (SR 05, SR 12, SR 15 and SR 16; Schubert et al. 2009) with Pioneer 3906 in a salt-affected field.

Materials and Methods

The experiment was designed in a randomized complete block design (RCBD) with four replications using a plot size of 50 m² and 150 plants per plot. The soil was sandy clay loam in texture with pH, EC (dS m⁻¹) and SAR (mmol L⁻¹)^{1/2}: 8.1-8.4, 2.0-2.5 and 6.0-7.5 in non-saline field, and 8.4-8.7, 10.0-12.0 and 14-16 in the salt-affected field. The local recommended agronomic practices were followed. At maturity all the plants in each plot were harvested, air-dried and threshed manually.

Results and Discussion

The salt-resistant maize hybrids (SR 05, SR 12, SR 15 and SR 16) produced significantly higher grain yield, kernel number per plant and harvest index than Pioneer 3906 under the salt-affected soil conditions (EC 10 dS m⁻¹) but did not differ significantly from Pioneer 3906 under non-saline soil conditions (EC 2.5 dS m⁻¹). The grain yield of the salt-resistant maize hybrids was 21-28% higher than that of the Pioneer 3906 under the salt-affected soil conditions but the salt-resistant hybrids did not differ significantly from each other under these conditions. This field study demonstrates that the salt-resistance of the newly developed salt-resistant maize hybrids has been improved significantly compared with Pioneer 3906.

References

Schubert, S., A. Neubert, A. Schierholt, A. Sümer, C. Zörb 2009. Development of salt-resistant maize hybrids: The combination of physiological strategies using conventional breeding methods. *Plant Sci.* 177:196-202.

Early effects of drought stress on the primary metabolism of sugar beet (*Beta vulgaris* L.)

Monika Wimmer¹, Rita Krechel¹, Yves Gibon² and Heiner Goldbach¹

¹Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz – Pflanzenernährung, Universität Bonn; ²INRA, Biologie du Fruit et Pathologie, UMR 1332, Bordeaux. E-Mail: m.wimmer@uni-bonn.de

Introduction

Drought stress is one of the main causes for yield losses (up to 30%) in sugar beets, and significantly impairs their technical quality. Drought inhibits the expansion of leaves, but also causes an alteration of carbon fluxes (Hummel et al. 2010), in order to maintain root growth and promote the synthesis of osmotically active compounds. Little is known about early responses to drought, or the reversibility of metabolic changes upon re-watering. We here address the question whether changes in the central metabolism occur before the onset of visible stress symptoms, and whether these changes can be reversed upon re-watering of the plants.

Materials and Methods

Sugar beets were grown for 4 weeks in prick out soil in a temperature-controlled greenhouse (22/17°C day/night conditions). Plants were kept at 70% water holding capacity (WHC) and adjusted daily by weighing the pots. After 4 weeks, a gradual drought stress was imposed during 6 days by slowly reducing the water content to 30% WHC, and was maintained for another 3 days. A subset of plants was re-watered to 60% WHC. Each day at the end of the light period, the youngest fully expanded leaves were harvested and used for determination of osmotic potential and analysis of major metabolites using a robotized platform and enzyme-based assays.

Results and Discussion

Significant changes in metabolite concentrations were observed as soon as 3-5 days after the onset of drought stress. These changes clearly occurred before the respective leaves showed any visible sign of wilting. The first alterations were an increase of chlorophyll, sucrose, citrate and malate, followed by increases of glutamate. The increase in soluble C metabolites coincided with a decrease in starch concentration. We also observed a strong accumulation of proline after 5 days. While nitrate content was reduced over time in well-watered plants, no such reduction was seen under drought stress. Our results suggest that soil water deficit in sugar beets results in a very rapid remobilization of stored C, and therefore better availability for root growth and osmotic adjustment. Strikingly, changes of sugars, starch, proline and nitrate returned to control levels after re-watering within 1-2 days, but organic acid levels did not fully recover within 3 days of re-watering.

References

Hummel, I., Pantin, F., Sulpice, R., Piques, M., Rolland G., Dauzat, M., Christophe, A., Pervent, M., Bouteillé, M., Stitt, M., Gibon, Y., Muller, B. 2010: Arabidopsis plants acclimate to water deficit at low cost through changes of carbon usage: an integrated perspective using growth, metabolite, enzyme and gene expression analysis. *Plant Phys.* 154:357-372.

Quantitative Erfassung der Stickstoffdynamik im System Boden-Pflanze unter Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus zur Beurteilung des Zusammenhangs zwischen N-Bilanz und Humusreproduktion

Christopher Brock und Günter Leithold

Professur für Organischen Landbau, Justus-Liebig-Universität Gießen. E-Mail: christopher.brock@agrار.uni-giessen.de

Problemstellung

Die Stickstoffversorgung der Ackerkulturen im ökologischen Landbau basiert auf dem Umsatz organischer Substanz im Boden und ist so eng mit Humusdynamik und Humusreproduktion verbunden. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob bzw. inwiefern unter Bedingungen des ökologischen Landbaus von der N-Flächenbilanz (Bilanz ohne Berücksichtigung von in der Praxis i.d.R. nicht verfügbaren repräsentativen Werten zur Veränderung der organischen Bodensubstanz) auf die Humusreproduktion im Ackerbausystem geschlossen werden kann. Der Vorteil eines solchen Vorgehens wäre, dass im Gegensatz zur Anwendung der etablierten Humusbilanzmethoden relativ einfach differenzierte Ergebnisse für die jeweilige spezifische Situation produziert werden könnten. Der vorliegende Beitrag untersucht und diskutiert vor diesem Hintergrund Implikationen der N-Bilanz in Systemen des ökologischen Landbaus für die Humusreproduktion am Beispiel von drei unterschiedlichen Fruchtfolge-Düngungs-Systemen in einem Dauerfeldversuch.

Dazu wurden N-Bilanzen für drei unterschiedliche jeweils sechsfeldrige Fruchtfolgen im „Ökologischen Ackerbauversuch Gladbacherhof“ (vgl. Schmidt et al. 2006) für den Zeitraum 1998-2005 berechnet. Zu Pflanzenerträgen, Düngermengen, N-Gehalten in Pflanzenmaterial und Düngern sowie zur Veränderung der N-Mengen in der organischen Bodensubstanz (OBS) lagen Messwerte vor, die symbiotische N-Fixierung wurde nach Hülsbergen (2003) geschätzt. Eine der drei Fruchtfolgen (GM) simuliert einen Gemischtbetrieb mit leguminosenbasiertem Futterbau und Anwendung von Stallmist, die anderen beiden Fruchtfolgen simulieren die Bedingungen viehloser Bewirtschaftung mit (VL-RB) und ohne (VL-MF) Rotationsbrache.

Ergebnisse und Diskussion

Tab. 1 zeigt Parameter und Salden der N-Flächenbilanzen für die drei untersuchten Fruchtfolgen, sowie die linearen Trends zur Veränderung der N-Mengen in der organischen Bodensubstanz.

Grundsätzlich waren die N-Flächenbilanzsalden positiv mit der Veränderung der N-Mengen in der organischen Bodensubstanz korreliert ($r = 0,9$). Allerdings wies das gründüngungsbasierte Fruchtfolgesystem VL-RB trotz der wesentlich höheren N-Flächenbilanz einen geringeren Anstieg der OBS-Mengen auf als das Fruchtfolgesystem GM. Dieser Umstand ist auf die schnelle Umsetzbarkeit des Grünmaterials, die möglicherweise erheblichen Umsatzverluste und den schwierigen Transfer des punktuell großen N-Angebotes nach Umbruch der Rotationsbrache zu den bedürftigen Kulturen zurückzuführen (z.B. Dreyman 2005). Der gegenüber GM höhere N-Flächenbilanzsaldo muss hier daher doch als Ausdruck eines höheren N-Verlustpotentials interpretiert werden und nicht als Indikator einer umfangreicheren

Humusreproduktion. In der reinen Marktfruchtfolge VL-MF schließlich wurde der im negativen N-Flächenbilanzsaldo ausgedrückte N-Bedarf durch einen Abbau der N-Vorräte in der organischen Bodensubstanz gedeckt. Die ausgewiesene Überkompensation, die zu einer schwach positiven N-Bilanz führt, kann dabei auch analytisch bedingt sein und soll hier nicht weiter interpretiert werden.

Tab. 1: Ausprägung von Parametern der Stickstoffdynamik in drei Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus. GM = simulierter Gemischtbetrieb mit leguminosenbasiertem Futterbau und Anwendung von Stallmist, VL-RB = simulierter Betrieb ohne Viehhaltung, mit Rotationsbrache und optimiertem Zwischenfruchtbau, VL-RB = simulierter Betrieb ohne Viehhaltung, nur Marktfrüchte in Hauptfruchtstellung, optimierter Zwischenfruchtbau. Angegeben sind jeweils Mittelwerte (n=4) und Standardabweichung.

Fruchtfolge	N-Export Ernteprod. (gemessen)	N-Input symb.Fix. (geschätzt)	N-Input Stallmist (gemessen)	Saldo N-Flächenbilanz (berechnet)	Veränderg. N in OBS* (gemessen)
	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹
GM	202,1 (6,8)	211,3 (7,1)	29,6 (0,0)	38,8 (5,8)	17,8 (49,2)
VL-RB	42,2 (8,0)	109,1 (11,5)	0	66,9 (8,5)	10,2 (48,9)
VL-MF	88,9 (10,5)	68,6 (6,1)	0	-20,3 (6,0)	-33,5 (51,1)

*=organische Bodensubstanz

Insgesamt zeigt sich, dass eine im Zusammenhang mit der Beurteilung der Humusreproduktion anwendbare lineare Beziehung zwischen N-Bilanzen und der Veränderung der N-Vorräte in der organischen Bodensubstanz trotz einer insgesamt engen positiven Korrelation nicht besteht, da die unbedingt notwendige korrekte Unterscheidung gründungsbasierter viehloser Systeme von solchen mit Futterbau und Stallmistanwendung nicht möglich war.

Eine Beurteilung der Humusreproduktion allein aufgrund der N-Flächenbilanz ist daher nicht möglich.

Literatur

- Dreyman, S. 2005: N-Haushalt unterschiedlich bewirtschafteter Rotklee-Bestände und deren Bedeutung für die Folgefrucht Weizen im ökologischen Landbau. Schriftenreihe des Instituts f. Pflanzenbau u. Pflanzenzüchtung der CAU Kiel 41, Eigenverlag CAU, Kiel.
- Hülsbergen, K.-J. 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Berichte aus der Agrarwirtschaft. Shaker Verlag, Aachen.
- Schmidt, H., F. Schulz, G. Leithold 2006: Organic Farming Trial Gladbacherhof. Effects of different crop rotations and tillage systems. ISOFAR Scientific Series 1, Verlag Dr. Köster, Berlin, 165-182.

Carbon and nitrogen mineralization kinetics in various soils amended with wheat straw and biochars

Muhammad Farooq Qayyum¹, Diedrich Steffens¹, Hans Peter Reisenauer² and Sven Schubert¹

¹Institute of Plant Nutrition, Justus Liebig University, Gießen; ²Institute of Organic Chemistry, Justus Liebig University, Gießen. E-mail: farooq.qayyum@ernaehrung.uni-giessen.de

Introduction

Carbon (C) sequestration in soils by applying carbonized compounds (biochars) can be an important step towards soil organic matter (SOM) stabilization and conservation. With the discovery of Terra Preta it is evident that charcoal can be used to increase SOM (Glaser 2002). The objectives of our research were to study C and N mineralization kinetics of biochars in comparison to wheat straw in three soils and to study their contribution to C stabilization.

Materials and Methods

Three soils (Ferralsol, Luvisol topsoil and Luvisol subsoil) were incubated with wheat straw, charcoal, hydrothermal carbonization coal (HTC), low-temperature conversion coal (LTC), and a control (un-amended soil). The characterization of biochar materials was performed by chemical analysis and Fourier transformation infrared spectroscopy (FTIR). The soils were amended with the C compounds with an amount equivalent to the C content of 50 t charcoal ha⁻¹. Carbon mineralization was measured in a long-term incubation by capturing CO₂ released in KOH at regular intervals over a time scale of 635 d. Soil samples were taken after 5 d and 365 d of incubation and analyzed for 0.01 M CaCl₂-extractable C_{org}, NO₃-N and NH₄-N.

Results and Discussion

The results show higher C mineralization and a lower half-life of straw C as compared to all biochars. The HTC was next to wheat straw which showed higher C mineralization and lower half-life. Overall, C mineralization was the lowest in charcoal and LTC treatments and these treatments showed higher half-lives. In Ferralsol, charcoal-C had longer half-life whereas in Luvisol topsoil and subsoil, LTC showed longer half-lives. At the start of the incubation experiment, the total N supply (application of mineral N in form of NH₄NO₃ + N coming from C compounds) was adjusted to the same level in all treatments. Incubation of the Ferralsol with straw for a period of 365 d strongly reduced both NO₃-N and NH₄-N. In the LTC treatment, a slight increase of NO₃-N was recorded but no significant change of NO₃-N and NH₄-N was found in any other treatment. In Luvisol topsoil and Luvisol subsoil, there was a significant increase of NO₃-N in all treatments except straw. The concentration of NH₄-N was significantly decreased in all treatments after 365 d of incubation. It is concluded that the various biochars have different stabilization behavior in soils and it is the soil mineral and organic contents that affect the stabilization of biochar-C. It is also concluded that, as the biochar C is stable in soil, it prevents the immobilization of N in soil.

References

Glaser, B., J. Lehmann, W. Zech 2002: Biol. Fert. Soil. 35:219-23.

Stickstoffwirkung mehrjähriger Feldfutter-Vorfrüchte bei einjähriger und dreijähriger Anbaudauer

Paul Martin Küpper, Hannah Antonia Becker, Timo Kautz und Ulrich Köpke

Institut für Organischen Landbau, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. E-Mail: pkuepper@uni-bonn.de

Einleitung

Futterleguminosen haben günstige Wirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit und die Ertragsbildung der Nachfrüchte (Kautz et al. 2010). Mit einem Düngungssteigerungsversuch wurde die Stickstoffwirkung von Luzerne (*Medicago sativa* L.) im Vergleich zur nicht-legumen Referenzpflanze Wegwarte (*Cichorium intybus* L.) geprüft.

Material und Methoden

Auf einem tiefgründigen Lösslehm (*Campus Klein Altendorf*, Uni Bonn) wurde im Jahr 2010 Sommerweizen nach jeweils ein- und dreijähriger Kultur von Luzerne und Wegwarte bei differenzierter N-Düngung (0, 40, 80, 120 und 160 kg N ha⁻¹ als Kalkammonsalpeter) angebaut. Zu EC 59 wurden der Spross-N- und Blatt-Chlorophyll-Gehalt (SPAD) sowie der Blattflächenindex (BFI) von Weizen untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

In den Varianten ohne N-Düngung (N₀) waren nach Luzerne im Vergleich zur Vorfrucht Wegwarte die Spross-N-Gehalte, SPAD- und BFI-Werte höher. Die dreijährige Anbaudauer hatte im Vergleich zum einjährigen Anbau lediglich tendenzielle Effekte auf die untersuchten Parameter. Während die Unterschiede hinsichtlich Blattflächenindices und SPAD durch hohe N-Düngung kompensiert wurden, blieben die Spross-N-Gehalte des Sommerweizens auch bei Düngung von 160 kg N ha⁻¹ nach Wegwarte niedriger als nach Luzerne. Die Ergebnisse belegen eine überwiegend auf verbesserter N-Nachlieferung basierende günstige Vorfruchtwirkung der Luzerne auf Sommerweizen.

Tab. 1: Einfluss von Vorfrucht, Anbaudauer der Vorfrucht und Düngung auf ausgewählte Parameter von der Folgefrucht Sommerweizen

N-Düngung (kg ha ⁻¹)	Spross-N-Gehalt (%)				SPAD				BFI			
	Art		Anbaudauer		Art		Anbaudauer		Art		Anbaudauer	
	Lu	Ww	1	3	Lu	Ww	1	3	Lu	Ww	1	3
0	2,3 a	1,7 b	1,9	2,1	51,9 a	41,0 b	46,0	47,0	3,4	2,2	2,6	3,0
40	2,5 a	2,1 b	2,3	2,4	53,0 a	47,1 b	49,7	50,5	4,2	2,9	3,3	3,9
80	2,8 a	2,2 b	2,4	2,6	53,7 a	51,1 b	52,1	52,8	2,8	2,6	2,6	2,8
120	2,8 a	2,3 b	2,4	2,7	54,1	52,9	53,9	53,2	3,4	2,6	3,0	2,9
160	3,0 a	2,6 b	2,8	2,9	53,8	54,0	53,6	54,2	3,6	3,3	3,4	3,5

Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant innerhalb der jeweiligen Düngungsstufe (zweifaktorielle ANOVA).

Literatur

Kautz, T., Stumm, C., Kösters, R., Köpke, U. 2010: Effects of perennial fodder crops on soil structure in agricultural headlands. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173:490-501.

Unterschiedliche N-Düngeintensitäten im Zuckerrübenanbau der Praxis - Ursachensuche mit einer Faktorenanalyse

Heinrich Reineke und Nicol Stockfisch

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

Problemstellung

Im Zuckerrübenanbau bestehen deutliche Unterschiede in der Höhe der N-Düngung. Obwohl 100 bis 120 kg N ha⁻¹ für optimale Zuckererträge ausreichend sind (Märländer et al., 2003), wird auf manchen Schlägen höher gedüngt. Daraus können erhöhte N-Salden und höhere Kosten resultieren. Um die Beratung von Landwirten zur Anpassung der N-Düngung zu unterstützen, kann es hilfreich sein, mögliche Ursachen der unterschiedlichen N-Düngung im Zuckerrübenanbau zu ermitteln.

Material und Methoden

Grundlage für die Untersuchung war eine Befragung zum Zuckerrübenanbau 2004 auf 285 Schlägen (Stockfisch et al., 2008). Mit einer Faktorenanalyse (SAS, Proc FACTOR) wurden Ursachen für unterschiedliche Intensitäten der N-Düngung ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Einfluss auf die Höhe der Düngung hatten die Anbauregion, der Einsatz organischer Düngemittel und die Methode der Düngebedarfsermittlung. Ein Einfluss der Anbauregion ergab sich durch die eher verhaltene N-Düngung größerer Betriebe, die überwiegend in Ostdeutschland angesiedelt sind (Abb. 1).

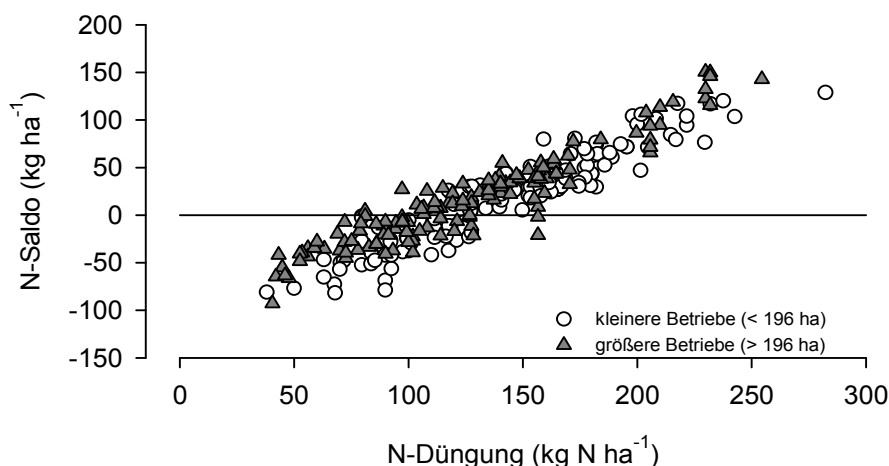


Abb. 1: N-Düngung und N-Saldo im Zuckerrübenanbau 2004 bei unterschiedlichen Betriebsgrößen (n = 283 Schläge).

Literatur

- Märländer, B., C. Hoffmann, H.-J. Koch, E. Ladewig, R. Merkes, J. Petersen, N. Stockfisch 2003: Environmental situation and yield performance of the sugar beet crop in Germany: Heading for sustainable development. *J. Agronomy & Crop Science* 189:201-226.
- Stockfisch, N., Deumelandt, P., Fuchs, J., Reineke, H., Starcke, J.U., Märländer, B. 2008: Verbundprojekt Umweltwirkungen im Zuckerrübenanbau: Aufgaben und Ziele. *Sugar Industry* 133(9):573-579.

Mögliche Auswirkungen der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung auf die Stickstoffdüngung im Winterraps

Ingo Pahlmann, Klaus Sieling, Ulf Böttcher und Henning Kage

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

Einleitung

Zwei Drittel der deutschen Winterrapsfläche dienen der Erzeugung nachwachsender Rohstoffe für die Biodieselproduktion. Änderungen der rechtlichen Grundlagen dieses Marktes besitzen daher ein immenses Potential, sich auf den Rapsanbau auszuwirken. In der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung werden Treibhausgas-Minderungspotentiale für Biokraftstoffe vorgegeben. Ab 2017 müssen mindestens 50 % Minderungspotential erreicht werden, was bei Verwendung der ebenfalls dort hinterlegten Standardwerte für Biodiesel aus Winterraps nicht gelingt.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es festzustellen, welche Möglichkeiten und Auswirkungen sich daraus auf der Stufe des Pflanzenbaus ergeben können.

Material und Methoden

Die Datengrundlage zur Auswertung bietet ein im Jahre 2005 angelegter Anbau-System-Versuch. Die vier geprüften Anbausysteme unterscheiden sich in Fruchtfolge und/oder Grundbodenbearbeitung und beinhalten wiederholte N-Steigerungsstufen (vgl. Henke et al. 2008). Die Auswertung der Rapsenerträge erfolgt mittels N-Responsekurven, so dass für Raps eine kontinuierliche Ertragsreaktion auf veränderte N-Düngemengen in verschiedenen Anbausystemen vorliegt. Diese werden genutzt, um in einer Modellkalkulation der verschiedenen Anbausysteme die Treibhausgasemissionen als Funktion der N-Düngung zu beschreiben. Die Berechnung der Treibhausgasemissionen richtet sich dabei nach dem von BioGrace (Neeft 2011) veröffentlichten Berechnungsverfahren. Da die 50 % Einsparpotential entlang der gesamten Prozesskette erzielt werden müssen, wird auch der Einfluss der nachgelagerten verarbeitenden Industrie in verschiedenen Szenarien untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Auf der Stufe des Pflanzenbaus kann mit einer Verringerung der N-Düngung auf die Vorgaben der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung reagiert werden. Ein weiteres Werkzeug stellt die Fruchtfolgegestaltung dar. In Abhängigkeit der Emissionen der nachgelagerten Industrie ergeben sich hierbei jedoch Szenarien, die eine extreme Reduzierung der N-Düngung erfordern und den Rapsanbau für die Biodieselproduktion somit in Frage stellen.

Literatur

- Henke J., U. Böttcher, D. Neukam, K. Sieling, H. Kage 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* 82:299-314.
- Neeft J. 2011: BioGrace_GHG_calculations. Version 4. <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/excelghgcalculations>, Zugriff am 12.05.2011

Vergleich der Treibhausgasemissionen beim Anbau verschiedener Energiepflanzen

Martin Gauder¹, Klaus Butterbach-Bahl², Simone Graeff-Hönniger¹,
Wilhelm Claupein¹ und Regina Wiegel²

¹Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart; ²Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruhe Institute of Technology, Garmisch. E-Mail: gauder@uni-hohenheim.de

Einleitung

Ziel dieser Arbeit war es, mögliche bodenbürtige Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄ und N₂O) beim Anbau von Miscanthus, Weiden und Energiemais über den Zeitraum von einem Jahr zu quantifizieren.

Material und Methoden

Auf dem Versuchsstandort Ihinger Hof wurden beginnend vom 30.11.2009 wöchentliche Gaswechsellmessungen mit dem Kammersystem (Hutchinson und Mosier 1981) bis zum 1.12.2010 durchgeführt. Die Messungen erfolgten in einem 2002 angelegten Dauerversuch, es wurden drei Wiederholungen Weiden-KUP, Miscanthus und Energiemais beprobt. Die untersuchten Düngungsvarianten waren 0 und 80 kg N / ha bei den Dauerkulturen sowie 0 und 240 kg N / ha beim Mais.

Ergebnisse und Diskussion

Die bodenbürtigen Emissionen von CO₂ zeigten einen klar saisonalen Trend, der vor allem durch die Bodentemperatur beeinflusst wurde. Die höchsten Emissionen wurden in den N-gedüngten Miscanthusparzellen gemessen (1.062,7 kg CO₂-Äquivalente / ha a). Die N₂O-Messungen zeigten große Differenzen zwischen den Varianten, da die Emissionen stark von Zeitpunkt und Art der N-Düngung abhingen (Tab. 1). Hierbei stach die Weidenkultur mit besonders geringen N₂O-Emissionen hervor, selbst in der N-gedüngten Variante (14,4 kg CO₂-Äquivalente / ha a).

Tab. 1: mittlere Erträge der Anbausysteme, N₂O-Düngeverluste sowie absolute und relative N₂O-Emissionen

Anbausystem	Ertrag [t TM / ha a]	N ₂ O-Emission [g N ₂ O / ha a]	N ₂ O-N-Verluste [kg N ₂ O-N / kg N-Dünger]	relative N ₂ O-Emission [g N ₂ O / t TM Ertrag]
Mais 0 kg N / ha a	8,4	229	-	27,2
Mais 240 kg N / ha a	20,2	3566	0,95	176,5
Miscanthus 0 kg N / ha a	16,8	-49	-	-2,9
Miscanthus 80 kg N / ha a	20,9	1407	1,12	67,3
Weide 0 kg N / ha a	7,1	-1	-	-0,2
Weide 80 kg N / ha a	14,4	48	0,04	3,3

Der Beitrag des CH₄-Austauschs zu der Gesamtbodenbilanz war sehr gering, wobei in allen Varianten negative oder ausgeglichene Salden gemessen wurden, was bedeutet, dass die Böden als Methansenken fungierten.

Literatur

Hutchinson, G.L., Mosier, A.R. 1981: Improved Soil Cover Method for Field Measurement of Nitrous Oxide Fluxes. Soil Science Society of America Journal 45:311-316.

CO₂-Freisetzungen und Energieaufwendungen im Zuckerrübenanbau: Einfluss der N-Düngung

Kerrin Trimpler, Heinrich Reineke und Nicol Stockfisch

Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-mail: trimpler@ifz-goettingen.de

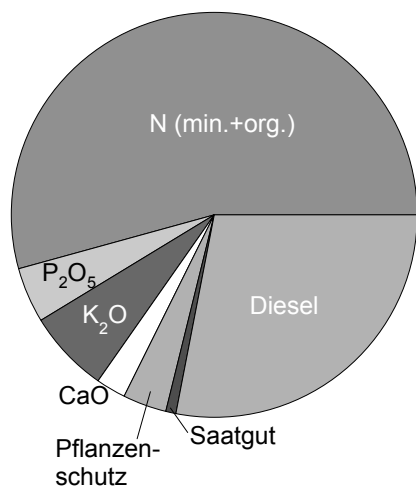
Problemstellung

Bei der N-Düngerherstellung entstehen 1,2 % aller weltweit produzierten Treibhausgase (Jenssen und Kongshaug 2003). Nach der Ausbringung wird etwa 1 % des Stickstoffs als direkte Emissionen freigesetzt (IPCC 2006). Die tatsächliche Höhe hängt jedoch von verschiedenen Faktoren wie der ausgebrachten Menge, der Düngerform, Ausbringungszeitpunkt und -technik und den Bodeneigenschaften (Tzilivakis et al. 2005) ab.

Zugleich ist die N-Düngung ein wichtiger Bestandteil nachhaltiger Bodennutzung. Sie beeinflusst somit die Freisetzung klimarelevanter Gase und den Energieaufwand des Anbauverfahrens als auch den Ertrag. Es stellt sich die Frage, inwieweit der Zuckerrübenanbau in Hinsicht auf möglichst hohe Erträge und möglichst geringe Emissionen optimiert werden kann.

Material und Methoden

Mit Daten einer Befragung unter Zuckerrübenanbauern zum Anbau im Jahre 2004 wurden Treibhausgasfreisetzungen (in CO₂-Äquivalenten [CO_{2e}]) für das gesamte Anbauverfahren berechnet, auf Fläche, Rübenenertrag, Trockenmasseertrag und Bereinigten Zuckerertrag bezogen und mit den Energieaufwendungen verglichen.



Ergebnisse

Die N-Düngung macht im Zuckerrübenanbau den größten Anteil an den Treibhausgasemissionen (Abb.1) sowie einen wesentlichen Teil an den Energieaufwendungen aus. Je nach ausgebrachter Menge zeigt sich eine Spannweite von 0,4-1,2 t CO_{2e} ha⁻¹. Die N-Düngung sollte im Hinblick auf ökonomische und ökologische Indikatoren (Geldrohertrag, CO₂-/Energiebilanz) angepasst werden. Sie liegt dann niedriger als die Düngermenge für den maximal möglichen Ertrag.

Abb. 1: Anteil der Treibhausgasemissionen im Zuckerrübenanbau

Literatur

- IPCC 2006: 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- Jenssen, T.K., G. Kongshaug 2003: Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production. International Fertilizer Society, Proceedings No. 509.
- Tzilivakis, J., D.J. Warner, M. May, K.A. Lewis, K. Jaggard 2005: An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK, Agricultural Systems 85:101-119

Direktkosten und Ökoeffizienz im Zuckerrübenanbau

Markus Gallasch und Nicol Stockfisch

Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-mail: gallasch@ifz-goettingen.de

Problemstellung

Ökoeffizienz lässt sich definieren als Verhältnis zwischen Umweltwirkungen und Ertrag. Ökoeffizienzkriterien zu Bodenbearbeitung, Düngung (N-Saldo), Pflanzenschutz und Ernte (Wießner et al. 2010) wurden auf Schlagebene berechnet und auf Basis der ermittelten Aufwandmengen in 2004 (Stockfisch et al. 2008) und der Preise in 2010 Direktkosten geschätzt. Für 2004 wurde eine große Variation der Ökoeffizienz festgestellt. Fraglich war, wie eng die Kosten mit der Ökoeffizienz verbunden sind.

Ergebnisse

Die Direktkosten je t Bereinigter Zuckerertrag (BZE) sanken im Durchschnitt um ca. $0,08 \text{ € t}_{\text{BZE}}^{-1}$ bei einer Verbesserung des Gesamtökoeffizienzindex um eine Einheit (Abb.1). Der Gesamtökoeffizienzindex erklärt 65 % der Variation der Direktkosten.

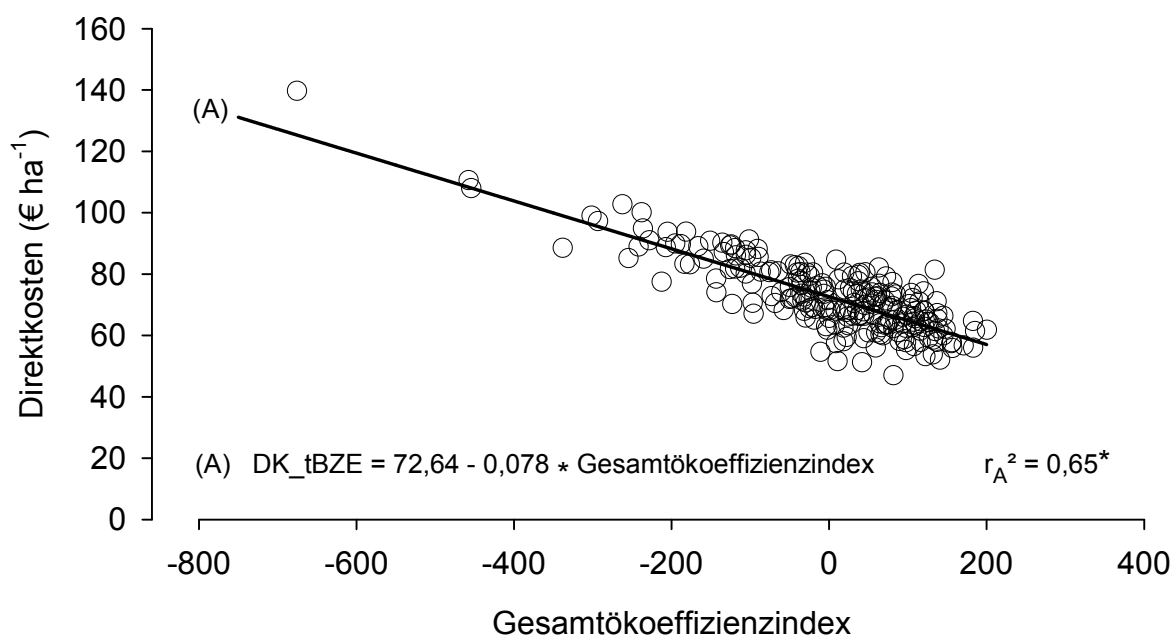


Abb. 1: Direktkosten je t BZE (DK_{tBZE}) berechnet als Summe über die Kosten für Saatgut, Pflanzenschutzmittel, Düngemittel und Zinsansatz für das Umlaufvermögen, dividiert durch den geschätzten BZE für 2010. Gerade (A) stellt eine lineare Regression der Direktkosten je t BZE in Abhängigkeit des Gesamtökoeffizienzindex dar ($n = 222$). Befragung zum Zuckerrübenanbau 2004; * signifikant bei $p < 0,05$

Literatur

Stockfisch, N., Deumelandt, P., Fuchs, J., Reineke, H., Starcke, J. U., Märländer, B. 2008: Verbundprojekt Umweltwirkungen im Zuckerrübenanbau: Aufgaben und Ziele. Sugar Industry 133(9):573-579.
Wießner, J., Stockfisch, N. Märländer, B. 2010: Approach for determining the eco-efficiency of sugar beet cultivation in Germany. Journal für Kulturpflanzen 62:409-418.

Möglichkeiten zur Steigerung der symbiotischen Stickstoff-Fixierleistung beim Anbau von Ackerbohnen

Rüdiger Jung und Rolf Rauber

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abt. Pflanzenbau, Georg-August-Universität Göttingen.
E-Mail: rjung@gwdg.de

Einleitung

Reduzierte Bodenbearbeitung bzw. temporärer Pflugverzicht kann unter bestimmten Bedingungen im Ökologischen Ackerbau erfolgreich angewandt werden (u.a. Schmidt 2010). Möglicherweise beeinflussen z.B. Mulchsaat-Systeme die Stickstoff-Fixierung der Leguminosen positiv. Ein weiterer Ansatz besteht darin, durch nicht-legumen Zwischenfruchtanbau bodenbürtigen Stickstoff in der oberirdischen Biomasse (OBM) zeitweise zu akkumulieren. Die Zwischenfrüchte frieren über Winter ab und verbleiben auf der Fläche. Die nachfolgende Hauptfrucht-Leguminose reagiert mutmaßlich mit einer erhöhten Stickstoff-Fixierleistung.

Material und Methoden

Feldversuche wurden im Rahmen eines Kooperationsprojektes (Förderung: BÖLN) zwischen den Jahren 2008 und 2010 am Standort Reinshof nahe Göttingen durchgeführt (Jung und Rauber 2010). Untersucht wurde ein Fruchtfolgeausschnitt mit nicht-legumen Zwischenfrüchten (Hafer + Sonnenblume) und nachfolgender Ackerbohne (*Vicia faba* cv. Fuego). Verschiedene Verfahren der Bodenbearbeitung wurden zudem verglichen: Pflug, Grubber, Mulchsaat (Cross-Slot-Technik).

Ergebnisse und Diskussion

Die Korn-TM-Erträge der Ackerbohnen befanden sich in beiden Jahren mit durchschnittlich 30,3 dt Korn-TM ha⁻¹ im Jahr 2009 und 23,7 dt Korn-TM ha⁻¹ im Jahr 2010 auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Die N-Menge in der Ackerbohnen-OBM (Korn, Spross und Blattfall) bewegte sich im Mittel zwischen 144,0 kg N ha⁻¹ im Jahr 2010 und 209,3 kg N ha⁻¹ im Jahr 2009. Je nach Berechnungsart (Differenzmethode oder Isotopentechnik) belief sich der Anteil N aus der Luft in der OBM im Jahr 2009 auf 69,0 % bzw. 64,4 % und im Jahr 2010 auf 76,0 % bzw. 84,8 %. Daraus resultierend bewegten sich die symbiotisch fixierten N-Mengen zwischen 110,7 und 145,7 kg N ha⁻¹. Für beide Jahre wurde nachgewiesen, dass der Anbau einer nicht-legumen Zwischenfrucht vor Ackerbohnen im Vergleich zur Kontrolle „Schwarzbrache“ zu einer signifikanten Erhöhung der symbiotischen Stickstoff-Fixierleistung führte. Im Einzelnen: Der relative Anstieg Anteil N aus der Luft betrug +10,7 % im Jahr 2009 und +9,0 % im Jahr 2010. Der absolute Anstieg erreichte +25,1 kg N ha⁻¹ (Jahr 2009) und +15,0 kg N ha⁻¹ (Jahr 2010). Die Bodenbearbeitungsvarianten unterschieden sich bezüglich der Stickstoff-Fixierleistungen hingegen kaum. Wegen des geringeren Leistungsbedarfs (kW m⁻¹) ist die Mulchsaat hier positiv zu bewerten.

Literatur

- Jung, R., R. Rauber 2010: Anbau von Ackerbohnen unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus bei differenzierter Bodenbearbeitung – Ergebnisse zur symbiotischen Stickstoff-Fixierung. Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften 22:179-180.
Schmidt, H. (Hrsg.) 2010: Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Verlag Dr. Köster, Berlin.

Zusammenhang von Parametern der visuellen Gefügebewertung mit bodenphysikalischen und -mechanischen Messwerten

Eva Höhne, Jan Rücknagel und Olaf Christen

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. E-Mail: eva.hoehne@landw.uni-halle.de

Einleitung

Eine visuelle Gefügeansprache auf dem Feld bietet die einfache Möglichkeit, erste Informationen zum Zustand der Bodenstruktur zu erhalten. Inwieweit diese Gefügebewertung mit messbaren physikalischen und mechanischen Bodenkennwerten korrespondiert, ist jedoch nicht ausreichend geklärt.

Material und Methoden

In dieser Arbeit wurden zwei Feldmethoden (Packungsdichte nach DIN 19682 (2007) und Spatendiagnose nach Diez und Weigelt (1997)) mit ihren einzelnen Parametern (Wurzelverteilung, Makroporen, mechanischer Bodenwiderstand, Aggregatgröße, Lagerung der Aggregate, Gefügearart und Verfestigungsgrad) den Messwerten der Trockenrohddichte, effektiven Lagerungsdichte, Luftkapazität, gesättigten Wasserleitfähigkeit und mechanischen Vorbelastung (-6 kPa Matrixpotential) gegenübergestellt. Auf 25 landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen in Deutschland wurden Bodenproben entnommen und parallel zu dieser Beprobung die visuelle Gefügeansprache durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Es wurden signifikante Zusammenhänge über alle Standorte zwischen den visuell ermittelten Parametern Lagerung der Aggregate und Gefügearart mit den Messwerten der Trockenrohddichte, Luftkapazität, gesättigten Wasserleitfähigkeit und der effektiven Lagerungsdichte gefunden (Tab.1).

Tab. 1: R²-Korrelations Matrix (Spearman; Bonferoni korr.) der Einzelparameter und der Gesamtnoten der visuellen Gefügeansprache nach den Methoden von DIEZ (1991) und der DIN 19682 (2007) mit den bodenphysikalischen Laborwerten (n = 50; fett gedruckte Werte = signifikant bei p<0,05)

	Einzelparameter							Gesamtnoten	
	Wurzelverteilung	Makroporen	Eindringwiderstand	Aggregatgröße	Lagerung Aggregate	Gefügearart	Verfestigungsgrad	Diez	DIN
Vorbelastung	0,42	0,37	0,52	0,34	0,49	0,44	0,37	0,49	0,48
Trockenrohddichte	0,39	0,50	0,48	0,54	0,73	0,53	0,38	0,59	0,51
Luftkapazität	-0,36	-0,03	-0,44	-0,64	-0,72	-0,52	-0,73	-0,30	-0,46
kf-Wert	-0,34	-0,33	-0,52	-0,51	-0,69	-0,58	-0,66	-0,48	-0,53
effektive LD	0,57	0,40	0,61	0,75	0,76	0,72	0,68	0,68	0,68

Die visuell erfassten Parameter Anzahl Makroporen und Wurzelverteilung, die mit Messgrößen wie Luftkapazität und gesättigter Wasserleitfähigkeit in sachlogischem Zusammenhang stehen sollten, sind jedoch nicht signifikant.

Literatur

- Diez, T., Weigelt, H. (1997). Bodenstruktur erkennen und beurteilen. Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten. Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising-München., 2. Auflage.
- DIN 19682-10, 2007. Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau. Felduntersuchungen. Teil 10: Beschreibung und Beurteilung des Bodengefüges.

Microbial Activities Influencing Growth of Maize and P Uptake

P. B. S. Bhadoria

Agricultural and Food Engineering Department, IIT Kharagpur, India. E-Mail: pbsb@agfe.iitkgp.ernet.in

Objectives

This study was aimed at treatment of field soil with a fungicide (Benomyl) to reduce arbuscular mycorrhiza (AM) content and subsequent root inoculation capacity of soil; with observation of plant growth parameters and P uptake of maize. Benomyl treatment was combined with varying levels of P fertilizer applications to study the relationship of P stress and abundance with mycorrhizal symbiosis. Soil phosphatase activity was also monitored to study the extent of microbial mobilization of soil organic P.

Results and Discussion

Soil from Benomyl – treated plots had almost half the inoculation capacity, represented by AM spore content per 100 g soil, as compared to untreated plots. Consequently, root inoculation levels and shoot dry weights were lower in fungicide – treated plots than in untreated plots. Inoculation by AM additionally decreased due to higher levels of P application. A trend of overall decreased spore population in both years were also observed. On untreated soil, AM colonized about 40% of roots at P-0 application, 30% at P-50 and 10% at P-400. These results influenced further observations including total P uptake efficiency. It is inferred that plants actively discourage mycorrhizal symbiosis when P is abundant. However, high P levels could never compensate for the loss of shoot dry weight resulting due to Benomyl application; which might be due to toxic effects of Benomyl on plant roots.

Soil phosphatase activity was predominantly by acid phosphatases – as expected for the acid lateritic Kharagpur soil. Benomyl application insignificantly decreased soil phosphatase activity. The conclusion is that most of the phosphatase enzymes are prokaryotic in origin and not fungal. Phosphatase activity decreased corresponding to rising P application levels. It is thus evident that when soil available P is scarce, microorganisms turn towards organic P content of soil. These findings signify the potential of biofertilizers as substitute for costly phosphate fertilizers.

Stickstoffsalden als Ausdruck betrieblicher Nachhaltigkeit – eine Literaturstudie

Hendrik Sommer

Institut für LifeAgriScience [ILAS], Frankenberg. E-Mail: hendrik.sommer@escon-de.com

Problemstellung

Aus agrarökologischer Sicht fungieren Nutztiere als Sekundärproduzenten, die den pflanzlichen Aufwuchs eines Agrar-Öko-Systems zu Selbsterhalt und -reproduktion nutzen. Die ungenutzten Nährstofffraktionen werden ausgeschieden und in modifizierter Form dem Boden zugeführt. Sie stehen abzüglich der Umsetzungsverluste den Pflanzen wieder zur Verfügung und begründen dadurch das Bild eines „Nährstoffkreislaufes“. Im Zusammenhang mit der Diskussion um eine möglichst umweltverträgliche landwirtschaftliche Erzeugung wird gefordert, dass innerhalb dieses Kreislaufes möglichst wenige Nährstoffe, insbesondere der Stickstoff, verloren geht. Zur Auswertung kamen veröffentlichte Betriebsbilanzen aus der ökologischen Milchviehhaltung bezüglich Futtermittelzukauf und Nährstoffsaldo.

Ergebnisse und Diskussion

Bei den ausgewerteten Studien lag der Stickstoffimport durch Futterzukauf bezogen auf den Gesamtimport in das Betriebssystem zwischen 19 % (Haas und Deittert 2004) und 48 % (Knudsen et al. 2006). Bezogen auf Stickstoff reichen die Nährstoffsalden in den verschiedenen Studien von 40 kg (Haas und Deittert 2004) bis 101 kg (Knudsen et al., 2006). Als Zukauffuttermittel werden in erster Linie begrenzt verfügbare Komponenten in das Betriebssystem importiert, um Nährstofflücken bei den betriebseigenen Futtermitteln zu kompensieren. Die Unterschiede zwischen den Studien hinsichtlich der Futterzukaufmengen und der Nährstoffsalden sind beträchtlich. Da es sich bei den Daten um Mittelwerte handelt, ist die Variationsbreite zwischen einzelnen Betrieben deutlich ausgeprägter. Ohne den Nährstoffinput über Zukauffuttermittel würden auf vielen Betrieben die Produktionsleistungen und damit die Rentabilität der Erzeugung deutlich absinken (Sundrum und Sommer 2011). Unter diesen Rahmenbedingungen stehen Zielvorgaben des Umweltschutzes (möglichst geringe Nährstoffausträge), des Tierschutzes (möglichst bedarfsgerechte Versorgung) und der Ökonomie (möglichst preiswerte Futtermittel) in Konflikt zueinander. Die Auswertung der Ergebnisse vorhandener Studien lassen ein großes Optimierungspotential bei der Nährstoffnutzung erkennen. Es bedarf eines intensivierten und professionellen Nährstoffmanagements, um damit die Nährstoffressourcen besser auszunutzen (Sundrum und Sommer 2011).

Literatur

- Haas, G., C. Deittert 2004: Stoffflussanalyse und Produktionseffizienz der Milchviehhaltung unterschiedlich intensiv ökologisch wirtschaftender Betriebe. Forschungsbericht FKZ 02OE462, Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BLÖ).
- Knudsen, M.T., I.S. Kristensen, J. Berntsen, B.M. Petersen, Kristensen, E.S. 2006: Estimated N leaching losses for organic and conventional farming in Denmark. *Journal of Agricultural Science* 144:135-149.
- Sundrum, A., H. Sommer 2011: Nährstoffkreisläufe schließen – reale oder virtuelle Leitidee? In: G. Leithold, K. Becker et al. (Hrsg.): Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis. Verlag Dr. Köster, Berlin

Vergleichende Untersuchungen zum N-Saldo in unterschiedlichen Rotationsbereichen eines ökologisch bewirtschafteten Milchviehbetriebes im Rahmen einer 14-jährigen Fallstudie

Hendrik Sommer¹ und Günter Leithold²

¹Institut für LifeAgriScience [ILAS], Frankenberg; ²Professur für organischen Landbau, Gießen. E-Mail: hendrik.sommer@escon-de.com

Problemstellung

Im Rahmen einer Fallstudie auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gladbacherhof, im Zeitraum von 1993 bis 2006 wurde untersucht, wie sich die Stickstoffsalden in den einzelnen Rotationsbereichen „Kernbetrieb“, „Versuchsstation“ und „Elkerhausen“ entwickelt haben. Die Berechnungen erfolgten mit dem Betriebsbilanzierungsmodell REPRO. Das Ziel bestand darin, die innerbetriebliche Differenziertheit der Stickstoffversorgung darzustellen, um Ansatzpunkte für eine Effizienzsteigerung zu identifizieren.

Ergebnisse und Diskussion

Im Rotationsbereich „Kernbetrieb“ war ein Anstieg der N-Zufuhr von 129 kg N ha⁻¹ auf 159 kg N ha⁻¹, im Rotationsbereich „Versuchsstation“ von 98 auf 124 kg ha⁻¹ zu verzeichnen. Im Rotationsbereich Elkerhausen wurde eine tendenzielle Zunahme der N-Zufuhr von 102 kg N ha⁻¹ a⁻¹ auf 166 kg N ha⁻¹ a⁻¹ beobachtet. In allen drei Rotationsbereichen konnte ein Anstieg der N-Salden beobachtet werden. Dieser Zuwachs war für den Bereich „Elkerhausen“ mit 6,21 kg N ha⁻¹ a⁻¹ am stärksten zu verzeichnen, gefolgt vom Rotationsbereich „Versuchsstation“ mit 6,1 kg N ha⁻¹ a⁻¹ und schließlich von dem Rotationsbereich „Kernbetrieb“ mit 4,7 kg N ha⁻¹ a⁻¹. Die differenzierte Betrachtung der Entwicklung der Stickstoffsalden auf der Ebene der Rotationsbereiche zeigte eine (im Vergleich zur Humuszufuhr) bessere Verteilung der gesamtbetrieblich vorhandenen Stickstoffmengen (Sommer 2010). Die Salden lassen jedoch vermuten, dass das Ertragspotenzial des Betriebssystems in allen Rotationsbereichen noch nicht vollständig ausgeschöpft ist.

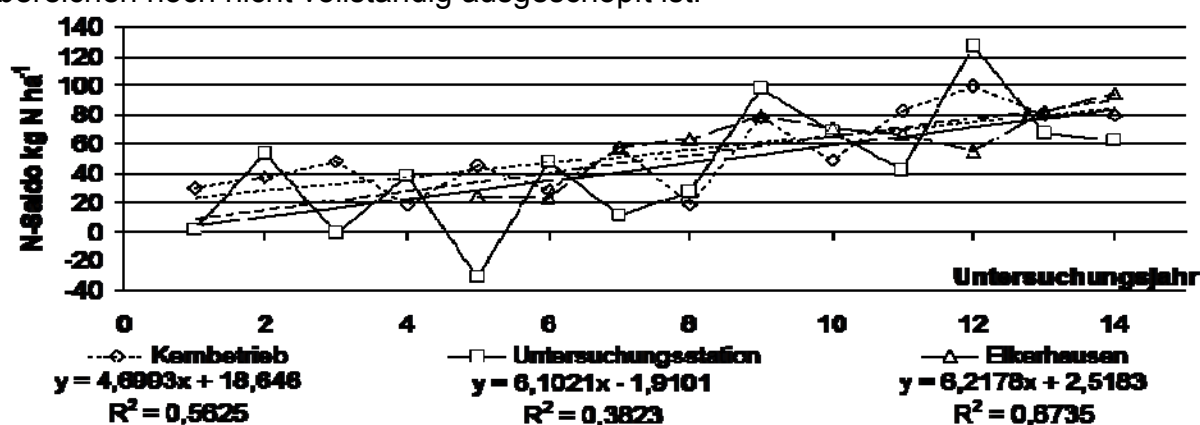


Abb. 1: Entwicklung der N-Salden im Untersuchungszeitraum

Literatur

Sommer, H. 2010: Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.

Die N-Bilanz nicht nur von Pflanzen und Böden, sondern auch von Tier und Mensch und damit erst der Umwelt in Deutschland im Vergleich zur Schweiz von 1990 bis 2008 sowie Maßnahmen zu ihrer nachhaltigen Optimierung bis 2020

Klaus Isermann und Renate Isermann

Büro für Nachhaltige Ernährung, Landnutzung und Kultur (BNELK), Hanhofen. E-Mail: isermann.bnla@t-online.de

Einleitung

Ziel: Nachhaltige N-(C-,P-,S-)Haushalte im Ernährungs- und Bioenergiebereich

Material und Methoden

N-(C-,P-,S-)Systemanalysen (LCAs) und multimediale Emissionsminderung

Ergebnisse und Diskussion

Die N-Überschusssalden der Landwirtschaft (Hoftorbilanzen) und entsprechende N-Emissionen haben sich im Zeitraum 1990 bis 2008 bzw. bis 2007 in Deutschland von 166 auf 159 bzw. in der Schweiz von 127 auf 108 kg N·ha⁻¹·a⁻¹ kaum bzw. nur unwesentlich verringert. Aktuell betragen die N-Effizienzen nur 36 bzw. 28 %. Diese aktuellen N-Überschüsse sind, gemessen am Nachhaltigkeitsziel von Deutschland und der Schweiz, von 50 kg N·ha⁻¹·a⁻¹ bis 2020 um mehr als das 3- bzw. 2-fache zu hoch, die entsprechenden Emissionen an umweltrelevanten Verbindungen gemessen an den critical loads der Umwelt (NH₃, NO_x, N₂O und NO₃⁻) gar um das 2-5-fache. Da die N-Effizienzen sowohl im Ernährungs- als auch im Bioenergie-Bereich unvermeidlich nahezu 0 sind, also das gesamte N-Input wieder zu ca. 80 % umweltwirksam als N-Output in die Umwelt gelangt, sind nicht Steigerungen der N-Effizienz, sondern primär und ursächlich hinreichende Suffizienz, d. h. Genügsamkeit (≠ Abstinenz) hinsichtlich Konsumtion und entsprechender Produktion insbesondere an tierischen Nahrungsmitteln und an Bioenergie ausschlaggebend, nicht nur hinsichtlich der Umweltverträglichkeit (Konsistenz), sondern zur Erfüllung zugleich auch der sozialen und langfristig ökonomischer Anforderungen nachhaltiger Lebens- und Wirtschaftsweisen, hier hinsichtlich Ernährungs- und Bioenergie-Wirtschaft [u.a. Agenda 21 von Rio 1992]. Hauptverursacher dieser nicht-nachhaltigen Entwicklung der N-(C-,P-,S-) Nährstoffhaushalte sind hierbei gleichermaßen die nicht-nachhaltige Ernährungs-, Bioenergie- sowie Agrar-, Verbraucher- und Umwelt-Politik, vorwiegend des BMELF/BML/BMELV mit entsprechender bisheriger, aber auch zukünftig wirksamer nicht-nachhaltiger Gesetzgebung (z. B.: DÜV 1996-2007). Einbezogen ist die entsprechende politisch abhängige/hörige „wissenschaftliche“ und ausführende „Beratung“, zusammenwirkend innerhalb des Kräftegefüges der Lobbykratie mit jeweils fließenden Übergängen von Lobby → Lobbyismus → Korruption und entsprechender Intransparenz ihrer Handlungsweisen (z. B.: VDLUFA, KTBL, LAs, LK, DGP → Wbfd). Gegenmaßnahmen: Lobbyregister → Lobbycontrol, Transparency International. Diese nicht-nachhaltige Politik bedroht ständig wachsend die Lebensqualität, den sozialen Zusammenhalt und die Generationengerechtigkeit und somit die Existenz von Umwelt, Mitwelt und Nachwelt.

Die Wirkung eines Nitrifikationsinhibitors bzw. einer Strohdüngung auf die Freisetzung klimarelevanter Gase nach Gärrestapplikation

Friedhelm Herbst¹, Jürgen Augustin² und Wolfgang Gans¹

¹Institut f. Agrar- u. Ernährungswissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Professur Pflanzenernährung, Halle; ²ZALF, Institut f. Landschaftsstoffdynamik, Müncheberg. E-Mail: friedhelm.herbst@landw.uni-halle.de

Einleitung

In einem durch die FNR geförderten Projekt wird die Freisetzung der Gase N₂O, CH₄, CO₂ und NH₃ nach der Ausbringung von Gärresten aus Nawaro-Biogasanlagen geprüft. Dabei kommen verschiedene Applikationsmethoden und Zusatzstoffe zum Einsatz, die eine Minderung der Freisetzung bewirken könnten.

Material und Methoden

Im Poster werden Ergebnisse aus zwei Feldversuchen am Standort Bad Lauchstädt (Löss-Schwarzerde) mit Mais dargestellt, in welchen die Wirkung der Gärrestdüngung ohne und mit Zusatz des Nitrifikationsinhibitors PIADIN (2009) bzw. ohne und mit Strohgabe (50 dt/ha) (2010) geprüft wurde. Der Gärrest stammte aus einer Biogasanlage mit Vergärung von Gülle, Stallmist sowie Maissilage. Im Jahre 2009 wurde er in den Boden injiziert (60 m³/ha) und im Jahre 2010 bei der Prüfung der Strohdüngung oberflächlich appliziert (126 m³/ha) und zeitnah eingearbeitet. Die N₂O-, CH₄- und CO₂-Freisetzungen wurden mithilfe der Gashaubenmethode (PVC) in Verbindung mit einer gaschromatografischen Analyse der Luftproben wöchentlich bis 50 Tage (2009) bzw. 44 Tage (2010) nach der Gärrestdüngung erfasst. Die Messung der NH₃-Immission erfolgte mittels 0,1 N H₂SO₄ in Passivsammlern. Siehe auch Herbst et al. (2009).

Ergebnisse und Diskussion

Im Jahre 2009 war der Einfluss der Gärrestdüngung sowie die Wirkung des Nitrifikationsinhibitors auf die Freisetzung von Methan und Kohlendioxid unbedeutend. Zu einer Freisetzung von Ammoniak war es aufgrund der vollständigen Injektion des Gärrestes in den Boden nicht gekommen. Dagegen trat bei Gärrestdüngung im Zeitraum von 20 bis 35 Tagen nach der Applikation eine starke Lachgasfreisetzung auf. Diese wurde durch den Zusatz von PIADIN vermindert.

Im Jahre 2010 erhöhte die Gärrestdüngung die Freisetzung von CO₂, N₂O und NH₃, nicht von CH₄. Die gleichzeitige Strohdüngung führte zu einem weiteren Anstieg der CO₂- und N₂O-Freisetzung. Im Falle von CH₄ war nur am 1. Tag nach der Gärrestdüngung zusammen mit Stroh eine erhöhte Freisetzung messbar. Die Messungen der NH₃-Freisetzung im Vergleich von oberflächiger Applikation mit Einarbeitung und Injektion ergaben eine deutliche Reduzierung bei Gärrestinjektion.

Die Versuche bestätigen frühere Laborresultate, dass der Nitrifikationsinhibitor PIADIN die Lachgasfreisetzung mindern kann, während Stroh diese teilweise erhöht.

Literatur

Herbst, F., W. Gans, F. Stange 2009: Freisetzung von klimarelevanten Gasen bei Einsatz eines Gärrestes mit Zusatzstoffen in einem Laborversuch. 121. VDLUFA-Kongress Karlsruhe, Kurzfassung der Referate, 26.

Einfluss eines Nitrifikationshemmstoffs und der N-Dünger aufteilung auf die N₂O-Emissionen aus einem Winterweizenbestand

Ivan Guzman Bustamante¹, Rudolf Schulz¹, Torsten Müller¹, Reinhardt Hähndel² und Reiner Ruser¹

¹Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, FG Düngung mit Bodenchemie (340i), Universität Hohenheim, Stuttgart; ²K+S Nitrogen GmbH, Mannheim. E-Mail: Ivan.Guzman@uni-hohenheim.de

Einleitung

Das klimarelevante Spurengas Lachgas (N₂O) trägt zu 8 % zum anthropogenen Treibhauseffekt bei und ist am stratosphärischen Ozonabbau beteiligt. In landwirtschaftlich genutzten Böden werden der Nitrifikation bzw. Denitrifikation über die N-Düngung Substrat für potentielle N₂O-Verluste zugeführt, so dass gedüngte Böden höhere N₂O-Emissionen aufweisen als ungedüngte Böden.

Eine vielversprechende Möglichkeit zur Minderung der N₂O-Freisetzung ist der Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren (NI). Verglichen mit N-Düngerapplikationen ohne NI-Zusatz berechneten Akiyama et al. (2010) ein Minderungspotential von über 30 %.

Material und Methoden

Die N₂O-Emissionen aus einem Winterweizenbestand wurden nahe Hohenheim zwischen Mitte März und Juni 2011 erfasst. Die Düngung erfolgte mit Ammoniumsulfatsalpeter (ASS), ENTEC26 (ASS +NI) bzw. mit Kalkammonsalpeter (KAS). Die N-Düngermenge erfolgte nach DüV („gute fachliche Praxis“). Die folgenden Behandlungen wurden untersucht: ungedüngte Kontrolle, N1 einmalige Gabe von ASS oder ENTEC26; N2 2-geteilt: ENTEC26/KAS; N2 2-geteilt: 2 x ENTEC26; N3 3-geteilt: ENTEC26/KAS/KAS.

Ergebnisse und Diskussion

Das Frühjahr war extrem trocken, so fielen im Zeitraum Mitte März bis Mitte Juni 2011 lediglich 30 % des mittleren Niederschlags der Jahre 2008-2010. Aufgrund der geringen Bodenwassergehalte war das Niveau der N₂O-Emissionen in diesem Zeitraum im Vergleich mit früheren Freilandversuchen sehr niedrig. Die höchsten Flussraten wurden mit 161 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹ gemessen. Die kumulativen Emissionen für den Zeitraum 15.03.2011 bis 22.06.2011 schwankten zwischen 319 und 851 g N₂O-N ha⁻¹. Die Unterschiede zwischen den Behandlungen konnten statistisch nicht abgesichert werden. Im Gegensatz dazu zeigten sich bei Emissionsmessungen unserer Arbeitsgruppe auf demselben Standort steigende N₂O-Emissionen mit zunehmenden Düngermengen bei Gemüse. Tendenziell waren die Emissionen aus der ungedüngten Kontrollbehandlung am niedrigsten, die einmalige ENTEC26-Gabe war mit geringeren mittleren Emissionen verbunden als bei einmaliger Applikation ohne NI. Die dreigeteilte N-Düngung zeigte im Mittel die höchsten Emissionen.

Literatur

Akiyama, H., Yan, X., Yagi, K. 2010: Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology*, 16(6):1837-1846.

Effect of N form on the behavior of N in floodwater, soil solution and the N uptake of rice (*Oryza sativa* L.)

Katja Bogdan and Joachim Lammel

Research Centre Hanninghof, YARA GmbH & Co. KG, Dülmen. E-Mail: katja.bogdan@yara.com

Introduction

Low N use efficiency due to ammonia (NH₃) volatilization and denitrification after urea and nitrate (NO₃⁻) application, respectively, is a challenge in flooded rice cultivation. N plant uptake after N application competes with N losses and the uptake efficiency of N forms is under discussion in literature. Rice has long been regarded as preferring NH₄⁺ and the application of urea is common practice. However, a study of Kronzucker et al. (2000) indicated that rice has a high N-acquisition and yield potential when growing on NO₃⁻. In this study the behavior of N in floodwater and soil solution and the effect of N form on biomass and yield was studied.

Materials and Methods

Oryza sativa L. Cv IR7521 (Hybrid) was cultivated in pots in the greenhouse until maturity. Plants received N in form of either urea or Ca-Nitrate in 4 split applications. Soil solution and floodwater was sampled before and after N application and analysed on N form with the Autoanalyser. The soil solution was sampled by means of suction cups at 3 depths. Plants were harvested shortly before and 6 days after each N application. The N content of the plant samples were determined by the Kjeldahl method.

Results and Discussion

A faster decrease of N concentration in floodwater was observed after urea than after NO₃⁻ application. N concentration in soil solution in 2.5 cm depth was about 10 times higher after NO₃⁻ than NH₄⁺ application, reflecting the higher mobility of NO₃⁻ in soils. In general, high amounts of applied N (up to 91% after urea application) were taken up by the plant within only 6 days after N application. Considerably less N was taken up after NO₃⁻ compared to urea application although NO₃⁻-N was still present in floodwater at harvest 6 days after N application. This indicates a lower N uptake efficiency after NO₃⁻ than after urea application. Grain yield was 32% lower after NO₃⁻ than after urea application. In contrast, the straw yield was not affected by the N form indicating that urea could support grain set and filling better than NO₃⁻.

References

Kronzucker, H.J., A.D.M. Glass, M.Y. Siddiqi, G.J.D. Kirk 2000: Comparative kinetic analysis of ammonium and nitrate acquisition by tropical lowland rice: implications for rice cultivation and yield potential. *New Phytologist* 145:471-476.

Gärprodukte aus der Biogaserzeugung: Einfluss auf die Meso- und Makrofauna eines schluffigen Sandbodens

Gabriela Bermejo¹, Stefanie Krück¹, Frank Ellmer¹ und Liliane Rueß²

¹Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Humboldt-Universität zu Berlin; ²Fachgebiet Ökologie, Institut für Biologie, Humboldt-Universität zu Berlin. E-Mail: gabriela.bermejo@agrar.hu-berlin.de

Einleitung

Mit dieser Untersuchung wird ein Überblick über den Einfluss von festen und flüssigen Gärprodukten auf zwei dominante Vertreter der Bodenfauna gegeben. Als Bioindikatoren für den Bodenstatus wurden Enchytraeiden und Regenwürmer untersucht.

Material und Methoden

Zur Bewertung der Auswirkung fester und flüssiger Gärprodukte aus der Biogasproduktion auf die Populationsdichte von Regenwürmern und Enchytraeiden wurden diese mit konventionellen organischen Düngemitteln und einer unbehandelten Kontrolle auf einer Braunerde - Fahlerde verglichen. Die ausgebrachten Dünger unterschieden sich in ihren stofflichen Parametern deutlich. Einen Monat nach der Düngung wurde eine Beprobung eines definierten Bodenvolumens vorgenommen, um die Regenwurm- und Enchytraeidenpopulationen zu bestimmen (ISO 23611-1:2006; ISO 23611-3:2007).

Ergebnisse und Diskussion

Flüssige Gärprodukte zeigten eine negative Auswirkung auf die Populationsdichte der Enchytraeiden (Abb. 1-B). Dies dürfte auf den geringeren TS-Gehalt und den höheren NH_4^+ -N Gehalt im Vergleich zu den anderen organischen Düngern (Gärprodukt fest, Gülle und Stallmist) zurückzuführen sein. Die Ergebnisse entsprachen nicht den Erwartungen, da entgegen verschiedener Untersuchungen eine höhere Abundanz der Regenwürmer in Düngemitteln mit einem höheren Gehalt an organischer Substanz und einem erhöhten C/N-Verhältnis (Aira et al., 2006) gefunden wurden (Abb. 1-A). Tendenziell zeigte sich bei der Applikation flüssiger Gärprodukte eine antagonistische Verteilung von Regenwürmern und Enchytraeiden. Diese negative Interaktion wurde bereits von mehreren Autoren festgestellt.

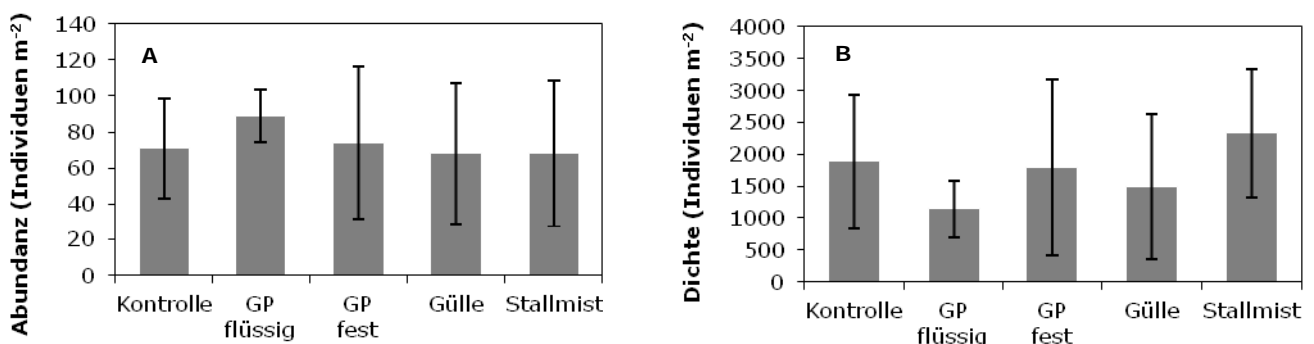


Abb. 1: Abundanz von Regenwürmern und Dichte von Enchytraeiden (Individuen m⁻²) 1 Monat nach Ausbringung verschiedener organischer Düngestoffe im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Mittelwerte und Standardabweichung. Tukey Test α : 0,05 %. Keine Signifikanz. GP: Gärprodukt

Literatur

Aira, M., Monroy, F., Domínguez, J. 2006: C to N ratio strongly affects population structure of *Eisenia fetida* in vermicomposting systems. European Journal of Soil Biology 43: S127-S131.

Treibhausgasemissionen und gasförmige N-Verluste während der Lagerung von Biogas-Gärresten

Jan Reent Köster¹, Andreas Pacholski², Owen Tom Denmead^{3,4}, Deli Chen⁴,
Henning Kage², Karl H. Mühling¹ und Klaus Dittert^{1,5}

¹Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität Kiel; ²Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität Kiel; ³CSIRO Land and Water, Canberra, Australia; ⁴School of Land and Environment, Resource Management and Geography, University of Melbourne, Australia; ⁵Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen. E-Mail: jrkoester@plantnutrition.uni-kiel.de

Die Emissionen klimarelevanter Spurengase (N₂O, CH₄, CO₂) und Ammoniak (NH₃) bei der Erzeugung und Nutzung von Bioenergiepflanzen werden besonders kritisch gesehen, weil sie einem Hauptziel der Bioenergieerzeugung, der Ressourcen- und Umweltschonung, entgegenstehen. Berichte über Emissionen während der Lagerung von Biogas-Fermentationsrückständen weisen bisher noch erhebliche Streuungen auf und einige Studien ermittelten sehr hohe Spurengasflüsse (Clemens et al., 2006; Amon et al., 2006), so dass die Biogas-Klimabilanz noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Mit Hilfe neuer Messverfahren wie der hier verwendeten Open-Path Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (OP FTIR) können die Konzentrationen dieser Gase simultan, direkt und berührungslos an Praxisanlagen erfasst werden, so dass mögliche Fehler durch manuelle Probennahmen, Kammersysteme oder Modellversuche vermieden werden. Die Berechnung der emittierten Gasmengen erfolgt mit Hilfe des Backward-Time Lagrangian Stochastic Dispersion Models (Flesch et al., 1995).

Derzeit laufen die Untersuchungen an, um mit diesem Ansatz an Biogas-Gärrestlagern verschiedener Bauformen (Güllelager mit und ohne Abdeckung, Lagune) von Praxisanlagen in Schleswig-Holstein die Spurengasemissionen zu erfassen. Erste Ergebnisse von Probemessungen an einer Biogas-Gärrestlagune weisen sehr hohe Lachgas-Konzentrationen (N₂O) von deutlich über 400 ppb und erhöhte Methankonzentrationen auf. Dies deutet darauf hin, dass auch unter norddeutschen Klimaverhältnissen zumindest bei nicht abgedeckten Gärrestlagern hohe Spurengasemissionen auftreten können.

Literatur

- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., Zechmeister-Boltenstern, S. 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112:153-162.
- Clemens, J., Trimborn, M., Weiland, P., Amon, B. 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112:171-177.
- Flesch, T.K., Wilson, J.D., Yee, E. 1995. Backward-time Lagrangian stochastic dispersion models and their application to estimate gaseous emissions. *Journal of Applied Meteorology* 34:1320-1332.

Spurengasflüsse aus norddeutschen Bioenergiefruchtfolgen und Bewertung von Minderungsmaßnahmen in Schleswig-Holstein

Marcus Rohwer¹, Klaus Dittert¹, Andreas Pacholski², Henning Kage² und Karl H. Mühling¹

¹Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität, Kiel; ²Institut für Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität, Kiel. E-Mail: khmuehling@plantnutrition.uni-kiel.de

Einleitung

Die zunehmende Rückführung von Gärresten aus der Biogasgewinnung als N-Dünger in landwirtschaftliche Flächen in Kombination mit hohen Gaben an mineralischem Stickstoff beim Anbau von Energiepflanzen führen zu einer erheblichen Freisetzung klimarelevanter Spurengase aus landwirtschaftlich genutzten Böden (Dittert und Mühling, 2009; Dittert et al. 2009). Der Emission von Lachgas (N₂O), als Zwischen- bzw. Endprodukt von Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen im Boden, kommt aufgrund seiner hohen Klimawirksamkeit eine besondere Bedeutung zu. Sie ist daher in den letzten Jahren ausführlich untersucht worden (Senbayram et al. 2009; Köster et al., 2011). Vor dem Hintergrund der von der Bundesregierung angestrebten Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 % gegenüber 1990 müssen geeignete Minderungsstrategien entwickelt werden.

Material und Methoden

In einem mehrfaktoriellen Feldversuch werden die Flüsse der klimarelevanten Spurengase CH₄, CO₂ und N₂O mit Hilfe von Kunststoffhauben und gaschromatographischer Analytik erfasst. Des Weiteren wird der Netto-CO₂-Austausch mit Hilfe eines Li-800 Gas-Analysators (Licor, Lincoln, NE, USA) ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Es werden die Spurengasemissionen bei unterschiedlichen Varianten mineralischer und Gärrestdüngung sowie beim Einsatz zweier verschiedener Nitrifikationsinhibitoren beim Anbau von Mais (*Zea mays*) und Hirse (*Sorghum spec.*) untersucht und miteinander verglichen. Angestrebt werden die Erstellung einer Gesamtbilanz der klimarelevanten Spurengasemissionen und die Entwicklung eines emissionsmindernden Düngekonzepts.

Literatur

- Dittert, K., K.H. Mühling 2009: Emission klimarelevanter Spurengase in der intensiven Pflanzenproduktion. J. Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 4:207-211.
- Dittert, K., M. Senbayram, B. Wienforth, H. Kage, K.H. Mühling 2009: Greenhouse Gas Emissions in Biogas Production Systems. The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, 2009, Sacramento, USA. Retrieved from: <http://repositories.cdlib.org/ipnc/xvi/1274>.
- Köster J.R., L. Cárdenas, M. Senbayram, R. Bol, R. Well, M. Butler, K.H. Mühling, K. Dittert 2011: Rapid shift from denitrification to nitrification in soil after biogas residue application as indicated by nitrous oxide isotopomers. Soil Biol. Biochem. 43:1671-1677.
- Senbayram, M., R. Chen, K.H. Mühling, K. Dittert 2009: Contribution of nitrification and denitrification to nitrous oxide emissions from soils after application of biogas waste and other fertilizers. Rapid Comm. Mass Spec. 23:2489-2498.

Isotopomeranalyse von bodenbürtigem Lachgas – Laborstudien mit QCLAS und IRMS

Jan Reent Köster¹, Albert Manninen², Reinhard Well³, Roland Bol⁴, Klaus Dittert^{1,5},
Lukas Emmenegger², Béla Tuzson², Laura M. Cárdenas⁴, Karl H. Mühling¹ und
Joachim Mohn²

¹Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität Kiel; ²EMPA, Labor für Luftfremdstoffe/Umwelttechnik, Dübendorf, Schweiz; ³Institut für Agrarrelevante Klimaforschung, von Thünen-Institut, Braunschweig; ⁴Department of Sustainable Soils and Grasslands, Rothamsted Research, North Wyke, Okehampton, UK; ⁵Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen. E-Mail: khmuehling@plantnutrition.uni-kiel.de

Die Bestimmung der intramolekularen ¹⁵N-Verteilung im linearen asymmetrischen Lachgasmolekül (N₂O) ist eine neue, vielversprechende Technik, die es ermöglicht, Aussagen über die N₂O-erzeugenden Prozesse im Boden zu treffen. N₂O-Isotopomeranalysen in Bodenstudien basieren bisher zumeist auf der Sammlung von Gasproben in geeigneten Probengefäßen mit anschließender Bestimmung anhand laborbasierter Isotopenverhältnis-Massenspektrometrie (IRMS). Hier stellen wir die erste Studie vor, in der mit höchster zeitlicher Auflösung N₂O-δ¹⁵N positionspezifisch online mit Hilfe von Quantenkaskadenlaser-Absorptionsspektrometrie gemessen wurde (QCLAS; Wächter et al., 2008; Mohn et al., 2010). Die Ergebnisse wurden mit klassischen IRMS-Messungen verglichen, die derzeit das Standardverfahren darstellen.

In einem Laborexperiment wurde Boden zur Förderung der denitrifikativen Lachgasbildung mit Saccharose und Nitrat behandelt (Zucker-Nitrat-Variante) und in Glasgefäßen inkubiert. Eine nur mit Nitrat behandelte Variante diente als Kontrolle. Der Headspace der Inkubationsgefäße wurde kontinuierlich in geringer Flussrate mit Pressluft gespült, und die N₂O- und CO₂-Konzentrationen im austretenden Gasstrom wurden kontinuierlich über vier Tage mit Hilfe der Fourier-Transformationsinfrarot-Spektroskopie (FTIR) gemessen. Die ¹⁵N/¹⁴N-Isotopenverhältnisse im N₂O der Zucker-Nitrat-Variante wurden online positionsselektiv mittels QCLAS in 1 Hz-Auflösung gemessen. Zusätzlich wurden Gasproben aus Behandlung und Kontrollvariante für einen Vergleich zwischen QCLAS und IRMS gesammelt.

In der Zucker-Nitrat-Variante stieg das N₂O-δ¹⁵N^{gesamt} innerhalb von drei Tagen um etwa 50 ‰, und die N₂O Positionspräferenz (SP) stieg um etwa 7 ‰, was auf eine Verschiebung der Isotopensignatur im Nitratpool des Bodens durch Fraktionierung während der Denitrifikation sowie einen kontinuierlichen Anstieg der N₂O-Reduktion hinweist. Im Gegensatz dazu änderte sich in der Kontrollvariante die N₂O-Isotopensignatur nur geringfügig.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich QCLAS als sehr gut geeignet für hochpräzise N₂O-Isotopomeranalysen darstellte. Dies ist besonders wertvoll, wenn kontinuierliches Monitoring oder sehr hohe zeitliche Auflösung erforderlich sind.

Literatur

- Mohn, J., Guggenheim, C., Tuzson, B., Vollmer, M.K., Toyoda, S., Yoshida, N., Emmenegger, L. 2010: A liquid nitrogen-free preconcentration unit for measurements of ambient N₂O isotopomers by QCLAS. *Atmospheric Measurement Techniques* 3:609-618.
- Wächter, H., Mohn, J., Tuzson, B., Emmenegger, L., Sigrist, M.W. 2008: Determination of N₂O isotopomers with quantum cascade laser based absorption. *Optics Express* 16:9239-9244.

Laufkäfervorkommen in Kurzumtriebsplantagen an drei Standorten in Baden-Württemberg

Kristin Nerlich¹, Frieder Seidel², Simone Graeff-Hönninger¹ und Wilhelm Claupein¹

¹Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Stuttgart; ²Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenbergring, Rheinstetten. E-Mail: kristin.nerlich@uni-hohenheim.de

Einleitung

Angesichts einer steigenden Nachfrage nach Holz als nachwachsender Rohstoff zur energetischen Nutzung wird zunehmend die Anlage schnellwachsender Baumarten, sog. Kurzumtriebsplantagen (KUP), diskutiert. Auswirkungen von KUP auf die Biodiversität wurden dabei bisher nur wenig untersucht und beschrieben (Baum et al. 2009).

Ziel des Versuchs war die Feststellung des Laufkäfervorkommens als Indikator für die Biodiversität in KUP an drei pedoklimatisch unterschiedlichen Standorten in Baden-Württemberg in Abhängigkeit von der Gehölzart (Weide, Pappel) und -sorte sowie des Bestandesalters.

Material und Methoden

Die Versuche wurden im Frühjahr 2008 und 2009 an den drei Untersuchungsstandorten Forchheim (Oberrheinebene), Aulendorf (Oberschwaben) und Kupferzell (Hohenlohe) durch das Setzen von Stecklingen angelegt.

Die Feststellung der Laufkäfer erfolgte 2010 und 2011 bei den Weidensorten (*Salix*) ‚Tordis‘ und ‚Inger‘ sowie bei den Pappelsorten (*Populus*) ‚AF 2‘ und ‚Hybride 275‘. Dazu wurden zw. April und Juli in zweiwöchigen Abständen Laufkäferfallen vom Typ „Barber“ aufgestellt, geleert und die Käfer anschließend ausgezählt. Als Fangflüssigkeit diente Ethylenglykol. Die Konservierung der Käfer erfolgte in 5 %iger Essigsäure.

Ergebnisse und Diskussion

Die Laufkäferanzahl in den untersuchten Weiden- und Pappelsorten an den Standorten Forchheim und Aulendorf lag in der älteren Anlage zwischen 20 und 40 % über den Werten der jüngeren Anlage. Am Standort Kupferzell verhielt es sich genau umgekehrt. Hier wurden im jüngeren Bestand über 50 % mehr Laufkäfer gezählt als im älteren. Zwischen den Gehölzarten Weiden und Pappeln konnte an allen Standorten bei den Pappeln eine bis zu 50 % größere Anzahl an Käfern festgestellt werden.

Unterschiede bei der Anzahl an Laufkäferarten zwischen den Gehölzarten und -sorten sowie des Bestandesalters lagen zwischen 5 und 40 %, wobei die höheren Werte in den älteren Anlagen sowie bei den Pappeln gezählt wurden.

Die Artenzusammensetzung aus dem Vorjahr hat sich im Vergleich zur diesjährigen Fangperiode leicht verändert. So konnten bestimmte Laufkäferarten nicht mehr beobachtet werden, dafür traten bisher nicht erfasste Arten auf.

Literatur

Baum S., M. Weih, G. Busch, F. Kroiher, A. Bolte 2009: The impact of Short Rotation Coppice plantations on phytodiversity. Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research 59(3):163-170.

Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars

Klaus Erdle, Bodo Mistele and Urs Schmidhalter

Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Technische Universität München, Freising. E-Mail: erdle@wzw.tum.de

Introduction

Several sensor systems are available for ground-based remote sensing in crop management. Vegetation indices of multiple active and passive sensors have seldom been compared in determining plant health. This work describes a study comparing active and passive sensing systems in terms of their ability to recognize agronomic parameters.

Material and Methods

One bi-directional passive radiometer (BDR) and three active sensors, including the Crop Circle, GreenSeeker, and an active flash sensor (AFS), were tested for their ability to assess six destructively determined crop parameters. Over two years, seven wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars were grown with nitrogen supplies varying from 0 to 220 kg ha⁻¹. At three developmental stages, the crop reflectance was recorded and sensor-specific indices were calculated and related to N levels and the crop parameters, fresh weight, dry weight, dry matter content, as percent of dry weight to fresh weight, N content, aboveground N uptake, and the nitrogen nutrition index.

Results and Discussion

The majority of the tested indices, based on different combinations of wavelengths in the visible and near infrared spectral ranges, showed high r^2 -values when correlated with the crop parameters. However, the accuracy of discriminating the influence of varying N levels on various crop parameters differed between sensors and showed an interaction with growing seasons and developmental stage. Visible- and red light-based indices, such as the NDVI, simple ratio (R_{780}/R_{670}), and related indices tended to saturate with increasing crop stand density due to a decreased sensitivity of the spectral signal. Among the destructively assessed biomass parameters, the best relationships were found for N-related parameters, with r^2 -values of up to 0.96. The near infrared-based index R_{760}/R_{730} was the most powerful and temporarily stable index indicating the N status of wheat. This index was delivered by the BDR, Crop Circle, and AFS. Active spectral remote sensing is more flexible in terms of timeliness and illumination conditions, but to date, it is bound to a limited number of indices. At present, the broad spectral information from bi-directional passive sensors offers enhanced options for the future development of crop- or cultivar-specific algorithms.

Influence of external effects on the accuracy of active canopy sensors

Sebastian Kipp, Bodo Mistele and Urs Schmidhalter

Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Forschungsdepartment Pflanzenwissenschaften der Technischen Universität München, Freising-Weihenstephan. E-Mail: kipp@wzw.tum.de

Introduction

For land use management, agriculture, and crop management spectral remote sensing is widely used. Ground-based sensing is particularly advantageous allowing to directly link on-site spectral information with agronomic algorithms. Sensors are nowadays most frequently used in site-specific oriented applications of fertilizers, but similarly site-specific applications of growth regulators, herbicides and pesticides become more often adopted. Recent research suggests as further interesting field enhanced high-throughput phenotyping in breeding. For such purposes passive as well as active sensors can be used. Active sensors are equipped with their own light source, working independently of the ambient light conditions.

Generally little is known about the effects of external as well as internal factors influencing the performance of active sensing systems. Such knowledge is however indispensable, particularly becoming important when only small differences among plant canopies or cultivars have to be detected. Factors to be known include effects of the sensor-target distance, field of view dependent on the sensors' positioning height (footprint size), temperature as well radiation effects on the performance of the sensors.

Material and Methods

Although manufacturers indicate sensors' performance being independent of ambient light conditions, this attribute was tested as well for three different active sensors (Ntech GreenSeeker RT100, Holland Scientific CropCircle ACS 470, YARA N-Sensor ALS) as well as the performance of active sensors under changing device temperature conditions. Additionally the optimum range of measuring height was identified for each active sensor.

Results and Discussion

With the use of active sensors in the field it's inevitable that sensors are exposed to various ambient environmental conditions. Especially radiation and air temperature can affect the device temperature of the sensor itself. On measurement days with varying cloudy or sunny conditions device temperatures can shift up to 20°C.

In this investigation it could be shown that the device temperature of the three different active sensors has an effect on the accuracy of the sensors' output. However, varying light conditions were evaluated as not affecting the performance. Active sensors showed the same performance under dark and light conditions. A dependency of active sensors on their distance to the crop target became apparent. Accurate measuring distances to the crop canopies were determined that enable stable sensor outputs during measurements of plants with different heights.

Sensorfusion in Winterweizen – Vergleich von Reflexions- und Fluoreszenzdaten bei der Analyse von Pflanzenparametern

Christoph Zecha, Johanna Link-Dolezal und Wilhelm Claupein

Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340a), Stuttgart. E-Mail: Christoph.Zecha@uni-hohenheim.de

Einleitung

Precision Farming-Technologien werden heute neben georeferenzierter Datenerfassung zum großen Teil in der teilschlagspezifischen Aussaat und Düngung eingesetzt. Einsparung von Betriebsmitteln und Umweltschutzaspekte stehen dabei im Vordergrund. Bisher noch wenige Sensoren auf dem Markt können die Versorgungssituation der Pflanzen auf dem Feld schnell und einfach abbilden, um Entscheidungsmaßnahmen daraus abzuleiten. Im Jahr 2010 wurde auf der Versuchsstation Ihinger Hof (Renningen) der Universität Hohenheim ein Vergleich verschiedener spektraler Sensoren in einem Stickstoffdüngerversuch durchgeführt.

Material und Methoden

In einem Winterweizenfeld (*Triticum aestivum* L., cv. Toras) wurden neben der praxisüblichen Kontrolle mit 170 kg/ha Gesamtstickstoff fünf randomisierte Düngeintensitäten zwischen 60 und 180 kg/ha Gesamtstickstoff gedüngt. Die erste Düngung erfolgte zur Aussaat einheitlich mit 60 kg N/ha auf dem gesamten Schlag; für die zweite und dritte Düngung wurde eine Stickstoff-Applikationskarte nach Versuchsplan erstellt. Die Ausbringung erfolgt mittels eines pneumatischen Düngerstreuers. Es steht eine Multi-Sensorplattform zur Verfügung, auf der spektrale Sensoren hintereinander angebracht sind. Die Datenerhebungen fanden zu verschiedenen Zeitpunkten in der Vegetationsperiode statt. Dabei wurden neben dem Spektrometer *FieldSpec HandHeld* (ASD, Inc., Boulder, USA), dem Fluoreszenzsensor *Multiplex* (Force-A, Orsay, Frankreich) sowie dem *N-Sensor* (Yara GmbH & Co. KG, Dülmen) zusätzlich folgende Parameter erhoben: N_{\min} -Gehalte des Bodens, Blattflächenindex (LAI), Ertrag.

Ergebnisse und Diskussion

Durch den heterogenen N-Versorgungsgrad der Pflanzen wurden die Sensoren auf ihre Erfassungsgenauigkeit hin getestet. Der *FieldSpec* Spektrometer zeigte eine höhere Variabilität aufgrund seiner Sensibilität auf unterschiedliche Belichtungsverhältnisse der Umgebung auf. Indizes des *Multiplex* Sensors korrelierten mit der Biomasse, dem Chlorophyllgehalt und dem Ertrag. Die Messdaten des *Yara N-Sensors* eigneten sich gut für den direkten Vergleich mit den anderen verwendeten Sensoren. Die Multi-Sensorplattform „*Sensicle*“ eignet sich sehr gut für die simultane Online-Datenerfassung. Die Fülle der Daten bei der Erfassung mehrerer Sensoren gleichzeitig sowie deren unmittelbarer Vergleich bedarf weiterer Arbeit. Data Mining Software, wie z. B. *RapidMiner* (Rapid-I GmbH, Dortmund), ist geeignet neue, bisher unbekannte Zusammenhänge aufzuzeigen, und wird in folgende Untersuchungen mit einbezogen.

Literatur

Reichardt M., C. Jürgens, U. Klöble, J. Hüter, K. Moser 2009: Dissemination of precision farming in Germany: acceptance, adoption, obstacles, knowledge transfer and training activities. *Precision Agriculture* 10(6):525-545.

Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) als Basis einer präzisierten N-Düngung bei der Produktion von Zierpflanzenstecklingen

Dieter Lohr¹, Peter Tillmann², Siegfried Zerche³, Uwe Drüge³ und Elke Meinken¹

¹Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan (FGW), Freising; ²VDLUFA Qualitätssicherung NIRS GmbH, Kassel; ³Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), Großbeeren und Erfurt. E-Mail: dieter.lohr@hswt.de

Einleitung

Das Bewurzelungspotential von Zierpflanzenstecklingen wird maßgeblich vom Stickstoffstatus zum Erntetermin mitbestimmt (Druege et al. 2000). Die zerstörungsfreie Bestimmung einzelner N-Fractionen und verschiedener N-Summenparameter mittels NIRS könnte Möglichkeiten eröffnen, dieses Wissen für eine präzisierte N-Düngung während der Mutterpflanzenkultur zu nutzen¹.

Material und Methoden

Die Arbeiten erfolgten mit Chrysanthemen- und Pelargonienstecklingen, die aus der laufenden Produktion von drei Jungpflanzenbetrieben und von Mutterpflanzen an der FGW stammten und differenziert mit Stickstoff (N-Mangel, N-Überschuss) versorgt wurden. Die Kalibrationsentwicklung basierte auf einem Datenpool von insgesamt 241 Stecklingsproben. Die NIR-Messung ganzer und frischer Stecklinge wurde mit einem Zeiss Corona 1.7 NIR-Spektrometer mit drehbarem Probenhalter (Turnstep) ausgeführt. Die Referenzanalytik erfolgte am IGZ nach einem modifizierten Kjeldahl-Verfahren, mit dem der Amid-N, Nitrat-N, Amino-N, Protein-N und Gesamt-N bestimmt wurden (Zerche et al. 2007). Die Summen der extrahierbaren N-Fractionen (ENF-N=Amid-N+Nitrat-N+Amino-N) und der organisch gebundenen N-Fractionen (ONF-N=Amid-N+Amino-N+Protein-N) wurden zusätzlich ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Insbesondere der Protein-N, der Gesamt-N und der ONF-N lassen sich sehr gut bestimmen. Beim Amid-N, Nitrat-N und ENF-N ist die Güte der Kalibrierung deutlich geringer. Insgesamt zeigen die Ergebnisse aber, dass die NIRS die Basis für eine präzisierte N-Düngung während der Mutterpflanzenkultur bilden könnte.

Tab. 1: Ergebnisse der Validierung (Mittelwerte und SEP in mg N · g TM⁻¹, n = 80)

N-Fraktion	Mittelwerte		Anzahl Faktoren	R ²	SEP ¹	Regressionsgleichung
	NIRS	Kjeldahl				
Amid-N	1,39	1,40	12	0,70	0,40	y = 1,06 x - 0,10
Nitrat-N	1,84	1,88	6	0,57	0,93	y = 0,94 x + 0,08
Amino-N	7,77	8,13	11	0,60	1,65	y = 0,93 x + 0,21
Protein-N	26,7	26,4	16	0,89	1,98	y = 1,00 x + 0,21
Gesamt-N	37,1	37,1	15	0,88	2,91	y = 0,98 x + 0,56
ENF-N	11,3	11,4	11	0,67	2,08	y = 0,90 x + 1,04
ONF-N	35,7	36,0	15	0,87	2,61	y = 0,97 x + 0,91

¹ SEP = Standardfehler der Vorhersage

Literatur

Druege, U., Zerche, S., Kadner, R., Ernst, M. 2000: Annals of Botany 85:687-701.
Zerche, S., Drüge, U., Kadner, R. 2007: BHGL-Tagungsband 25/2007, 31.

¹Die Förderung erfolgt aus Mitteln des BMELV im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Vergleich pflanzenbasierter Indikatoren zur Abschätzung des N-Bedarfs von Mais (*Zea mays* L.)

Ute Menge-Hartmann und Frank Höppner

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig. E-Mail: ute.mengehartmann@jki.bund.de

Einleitung

Der Stickstoffernährungsindex (NNI) kann zur zuverlässigen Diagnose des N-Status von Maispflanzen eingesetzt werden (Lemaire et al., 2008). Da der NNI jedoch auf aufwändigen Ganzpflanzen-N-Analysen beruht, sollte geprüft werden, ob auch Analysen verschiedener N-Verbindungen von Pflanzenteilen wie obersten Blättern und Stängelabschnitten zur Abschätzung des N-Bedarfs von Mais dienen können.

Material und Methoden

Von 2006 bis 2008 wurden auf Feldversuchsflächen in Braunschweig zwei Maisorten mit fünf N-Düngungsstufen (0 bis 280 kg ha⁻¹) kultiviert. Zu drei Stadien der vegetativen Phase mit 8 bis 15 Blättern, V 8-9, V 11-12 und V 15, wurden NNI- und SPAD-Werte ermittelt und die Konzentration an gesamt-N, Nitrat-N, löslichen Proteinen und Gesamt-Aminosäuren (AS) in obersten Blättern bestimmt sowie die Nitrat-N-Konzentration des Stängel-Presssaftes (NO₃-N StPs).

Ergebnisse und Diskussion

Von allen untersuchten N-Indikatoren war allein beim NNI kein signifikanter Jahreseffekt zu beobachten. Unter dem Einfluss der N-Düngung nahmen die Werte aller N-Indikatoren mit steigenden N-Raten zu. Lediglich der NNI und die NO₃-N-Konzentration des Stängelpresssaftes erlaubten eine signifikante Differenzierung zwischen allen fünf N-Düngungsstufen, bei allen Blatt-N-Indikatoren konnte hingegen nicht zwischen den beiden höchsten N-Stufen differenziert werden. Bei Eingrenzung auf einzelne Blattentwicklungsstadien ergaben quadratische Regressionen bei V 11-12 über alle drei Jahre hoch signifikante Korrelationen zwischen SPAD, gesamt N- und AS-Konzentration sowie dem NO₃-N StPs und dem NNI (Tab. 1). Bei Anwendung im Stadium V 11-12 erscheinen diese Indikatoren zur Abschätzung des N-Bedarfs daher als mögliche Alternative zum NNI.

Tab. 1: R²-Werte zwischen NNI und alternativen N-Indikatoren

N-Indikator	Blattstadium V 8-9			Blattstadium V 11-12		
	NNI			NNI		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
SPAD	0,77 ***	0,82 ***	0,85 ***	0,82 ***	0,67 ***	0,87 ***
gesamt-N Blatt (g m ⁻²)	0,23 n.s.	0,86 ***	0,87 ***	0,89 ***	0,85 ***	0,78 ***
Protein Blatt (mg m ⁻²)	0,25 n.s.	0,75 ***	0,65 ***	0,35 *	0,79 ***	0,43 *
AS Blatt (µM m ⁻²)	0,18 n.s.	0,86 ***	0,72 ***	0,65 ***	0,91 ***	0,89 ***
NO ₃ -N StPs (mg L ⁻¹)	0,78 ***	0,78 ***	0,86 ***	0,88 ***	0,84 ***	0,83 ***

Literatur

Lemaire, G., M.-H. Jeuffroy, F. Gastal 2008: Diagnosis tool for plant and crop status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. Europ. J. Agron. 28:614-624.

Entwicklung des Indexes I_{RA} zur pflanzenbaulichen Bewertung von Winterzwischenfrüchten in einer Biogasfruchtfolge

Christian Menke und Rolf Rauber

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Göttingen. E-Mail: rrauber@uni-goettingen.de

Einleitung

Der Anbau von Winterzwischenfrüchten vor Mais kann bedeutende ökologische und ökonomische Leistungen hervorbringen. Allerdings zeigen die winterharten Pflanzen häufig große Differenzen hinsichtlich der verschiedenen Dispositionen: Nmin-Absenkung im Boden, Methan-Flächenertrag, Vorfruchteffekt. Mithilfe des Indexes I_{RA} soll eine Bewertung der Winterzwischenfrüchte vorgenommen werden.

Material und Methoden

2006/07 und 2007/08 wurden am Standort Göttingen 33 Winterzwischenfrucht-Varianten vor Mais geprüft (Menke 2011). Aus den Daten der Nmin-Absenkung zum Vegetations-ende (Anfang Dezember) wurde ein Teil-Index ($Index_{Nmin}$) errechnet, der die Absenkung des Nmin-Wertes einer Variante im Verhältnis zum mittleren Nmin-Wert aller geprüften Varianten beschreibt (Abb. 1). Entspricht der Nmin-Wert einer Variante exakt dem mittleren Nmin-Wert aller Varianten, ist der $Index_{Nmin} = 0$, geringere Nmin-Werte führen zu höheren $Index_{Nmin}$ -Werten. Des Weiteren wurden die Methan-Flächenerträge der Winterzwischenfrüchte ins Verhältnis gesetzt zum mittleren Methan-Flächenertrag. Auch hier ist der Index-Wert ($Index_{Methan}$) = 0, wenn die Erträge dem Mittelwert entsprechen, höhere Erträge führen hier zu höheren $Index_{Methan}$ -Werten. Außerdem wurde aus dem TM-Ertrag des nachgebauten Maises der $Index_{Mais}$ errechnet, der den Mais-Ertrag einer Variante im Verhältnis zum mittleren Mais-Ertrag beschreibt. Ein höherer Ertrag führt zu höheren Index-Werten. Abschließend wurden die drei Teil-Indizes zu I_{RA} aufsummiert.

$$I_{RA} = \frac{\overline{N}_{min\ Dez} - N_{min\ Dez}}{\overline{N}_{min\ Dez}} + \left(\frac{Y_{Methan}}{Y_{Methan}} - 1 \right) + \left(\frac{Y_{Mais}}{Y_{Mais}} - 1 \right)$$

Abb. 1: Berechnung des Indexes I_{RA} . $N_{min\ Dez}$, Y_{Methan} und Y_{Mais} sind die Messwerte für eine bestimmte Winterzwischenfrucht. Mittelwerte über alle Varianten sind durch Querstriche gekennzeichnet

Ergebnisse und Diskussion

Hohe I_{RA} -Werte erzielten das Landsberger Gemenge, der Wickroggen und der Inkarnatklee. Auf der anderen Seite schnitten die großkörnigen Leguminosen, Wintererbse und Winterackerbohne schlecht ab. I_{RA} ist erweiterbar, z.B. durch die Silierfähigkeit oder die Humusreproduktion der Winterzwischenfrüchte. Durch die Einbeziehung von $Index_{Nmin}$ sind die Untersuchungen auch relevant für die Auflagen seitens der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie.

Literatur

Menke, C. 2011: Evaluierung von Winterzwischenfrüchten in einem Zweikultur-Nutzungssystem mit Mais für die Biogaserzeugung. Diss. Universität Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen.

Ableitung verschiedener Bestandesparameter bei Zuckerrüben aus der Reflexion des Pflanzenbestandes

Jorita Krieger, Bärbel Kroschewski, Veronika Beuthner und Frank Ellmer

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät. E-Mail: Jorita.Krieger@agr.ar.hu-berlin.de

Einleitung

Die Erhebung von Bestandesparametern wie Blattflächenindex (BFI) und Blattgrün ermöglicht die Beschreibung von Wachstums- und Entwicklungsvorgängen von Pflanzenbeständen. Hierbei erlaubt der Einsatz nicht-destruktiver Messverfahren die vegetationsbegleitende Ermittlung dieser Parameter. Das HandySpec Field der Firma tec5 AG ist ein Messsystem, welches zur Erfassung der Bestandesreflexion einsetzbar ist. Ziel der Untersuchungen war es, das HandySpec Field für die Merkmale Blattflächenindex (BFI) und Blattgrün bei Zuckerrüben zu kalibrieren.

Material und Methoden

In den Jahren 2008 bis 2010 wurden verschiedene Messungen auf einem mittellehmigen Sandboden in einem Feldversuch mit Zuckerrüben durchgeführt. Der BFI wurde mit dem LAI-2000 Plant Canopy Analyzer ermittelt, das Blattgrün mit dem YARA N-Tester[®]. Die Messungen wurden wöchentlich erhoben. Mit der Statistik-Software SAS[®] Version 9.2 wurden Makros erstellt, mit denen aus den ermittelten Spektren Vegetationsindizes (VI) berechnet wurden. Hierbei wurden mehrere VIs aus der Fernerkundung verwendet bzw. entsprechend dem Vorgehen von Müller et al. (2008) neue VIs abgeleitet und auf ihre Eignung zur Beschreibung von BFI bzw. Blattgrün bei Zuckerrüben getestet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse des Jahres 2009 bestätigten sich im Jahr 2010. Für beide Parameter wurden bezüglich der optimalen Wellenbandkombinationen deutliche Unterschiede zwischen den Messterminen festgestellt. Vor Bestandesschluss wurden hierbei beim BFI Wellenbänder aus dem Rot- bzw. Nahinfrarotbereich ermittelt, während beim Blattgrün eher Kombinationen im violetten und blauen Bereich des sichtbaren Lichtes für die Kalibrierung genutzt werden sollten. Übereinstimmend mit Müller et al. (2008) erzielten die neu gebildeten Indizes stets höhere r^2 -Werte als jene aus der Literatur.

Die Messungen mit dem HandySpec Field sollten bei hohem Sonnenstand und klarem Himmel durchgeführt werden (Seager und Ford, 2002; Müller et al, 2008). Allerdings begrenzt hierbei der Turgeszenzverlust der Blätter bei hohen Temperaturen und geringem Bodenwassergehalt die Einsatzfähigkeit dieses Spektrometers für BFI-Messungen in Zuckerrübenbeständen. Die Versuche werden 2011 fortgeführt.

Literatur

- Müller K., Böttcher U., Meyer-Schatz F., Kage H. 2008: Analysis of vegetation indices derived from hyperspectral reflection measurement for estimating crop canopy parameters of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Biosystems Engineering. 101:172-182.
- Seager S., Ford E.B. 2002: The Vegetation Red Edge Spectroscopic Feature as a surface biomarker. Astro-ph/0212550v1,1-9.

Einsatz optischer Sensoren zur Optimierung von Ertrag und Qualität bei Brokkoli (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *italica*)

Christine Veh, Simone Graeff-Hönninger, Judit Pfenning, Wilhelm Claupein und Hans-Peter Liebig

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

Einleitung

Weltweit hat der Brokkoli-Anbau in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Durch den vergleichsweise hohen Anteil an Glucosinolaten gilt Brokkoli als ein sehr gesundes Gemüse, mit dem Potenzial, das Risiko von Krebserkrankungen zu senken (Kell, 2011). Zur Unterstützung eines umweltfreundlichen und wirtschaftlichen N-Managements bei Brokkoli werden Versuche zur Optimierung der N-Düngung mit Hilfe optischer Sensoren getestet. Im Projekt wurden folgende Hypothesen geprüft: 1) sensorgestützte Quantifizierung des N-Düngerbedarfs bei Brokkoli im Freiland-Gemüsebau, 2) Minimierung der betrieblichen N-Bilanzüberschüsse und den damit verbundenen möglichen Umweltbelastungen, 3) gleichzeitige Sicherung der Ertragshöhe und Produktqualität.

Material und Methoden

Im Jahre 2010 wurde auf der Versuchsstation für Gemüse- und Gartenbau der Universität Hohenheim (384,3 m bis 395,5 m ü.NN, mittlere jährliche Niederschlagsmenge 697 mm, mittlere Jahrestemperatur 8,8 °C) ein großparzelliger Feldversuch mit sechs verschiedenen Brokkoli-Sorten (Parthenon, Marathon, Olympia, Ironman, Monopoly und Monterey) unter vier verschiedenen N-Düngerstufen (0, 100, 200 und 400 kg N ha⁻¹) angelegt. Als Dünger wurde der handelsübliche Kalkammonsalpeter (KAS) eingesetzt. Zur Optimierung des N-Düngerbedarfs und einer direkten Ermittlung des N-Versorgungsstatus der Pflanzen wurden verschiedene Sensoren eingesetzt. Die Blattreflexionsmessung mit der Digitalkamera LEICA S1 Pro begann zwei Wochen nach der Pflanzung und wurde einmal pro Woche am jüngsten voll entwickelten Blatt bis zur Ernte durchgeführt (Graeff, 2008). Die statistische Auswertung der Ergebnisse wurde mit dem Statistikprogramm SAS 6.12 durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Sensormessungen ergaben signifikante Unterschiede bei jungen Blättern in der Nullvariante im Vergleich zur Düngerstufe mit 200 kg N ha⁻¹ und der Düngerstufe 400 kg N ha⁻¹. Die Wellenlängenbereiche 505 nm, 510 nm und 540 nm sowohl des sichtbaren Lichts als auch des Infrarotbereichs erwiesen sich als am besten geeignet, den N-Versorgungszustand von der Brokkolipflanze zu bestimmen (Seiz, 2009). Die Ergebnisse zeigen, dass der N-Bedarf und die Qualität der einzelnen Brokkolisorten über die optischen Sensoren gut abgebildet werden können.

Literatur

- Kell, K. 2011: Hitzetoleranter Brokkoli: Screening mit 140 Testsorten aus aktuellen Zuchtlinien von agro-TIP. Infodienst Weihenstephan 1:1-4.
- Graeff, S., J. Pfenning, W. Claupein, H.-P. Liebig 2008: Evaluation of image analysis to determine the N-fertilizer demand of broccoli plants. Optical Technologies, 1-8.
- Seiz, P. 2009: N-Düngebemessung bei Brokkoli (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *italica*) durch Einsatz von Kamera-Reflexionsmessungen. Diplomarbeit Agrarbiologie, Fakultät Agrarwissenschaften, Universität Hohenheim, 1-144.

Störungsfreie und simultane *in-situ* Messung von Spurengasemissionen in pflanzenbaulichen Feldversuchen – Beispiel Gärrestdüngung

Robert Quakernack¹, Antje Herrmann², Anna Techow², Friedhelm Taube², Henning Kage¹ und Andreas Pacholski¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung für Acker- und Pflanzenbau, CAU Kiel; ²Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung für Grünland und Futterbau, CAU Kiel. E-Mail: quakernack@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Die Erfassung von Spurengasemissionen ist wichtig für die ökologische und ökonomische Bewertung landwirtschaftlicher Produktionssysteme. Standard-Messsysteme (passive Sammler; Kammersysteme) können den Emissionsprozess der Spurengase beeinträchtigen und in der Regel nur ein Spurengas erfassen.

Material und Methoden

Mit Photoakustik (LumaSense Techn., Dänemark), als zeitlich hoch auflösender Messsensorik, wurden Konzentrationen verschiedener kritischer Spurengase (Ammoniak (NH₃), Lachgas (N₂O), Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Methan (CH₄)) nach Ausbringung von Gärresten und Schweinegülle untersucht. Aus den Konzentrationen können Flüsse und die kumulierten Emissionen der einzelnen Spurengase mit mikrometeorologischen Ansätzen berechnet werden (vgl. Sommer et al., 2005).

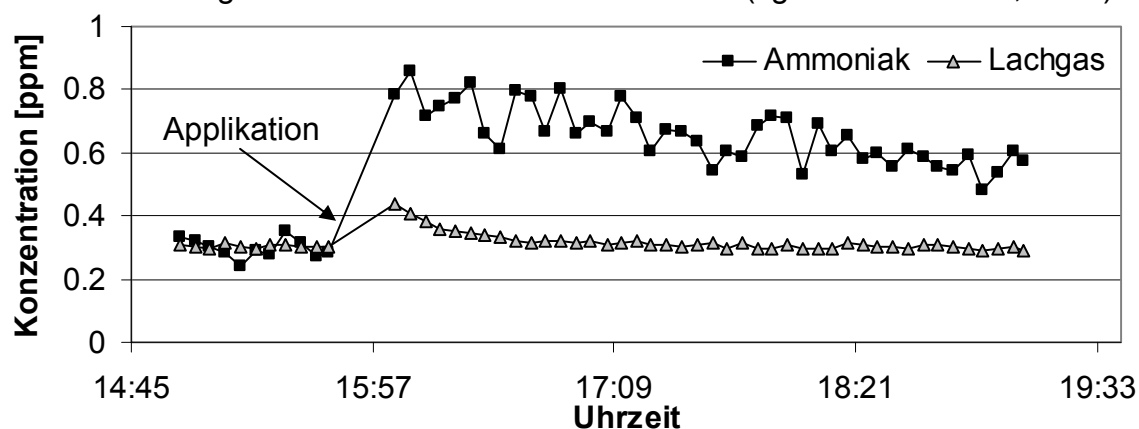


Abb. 1: Konzentrationen [ppm] von NH₃ und N₂O nach Gärrestausringung

Ergebnisse und Diskussion

Nach Ausbringung (Schleppschräuche, 30 m x 30 m) eines Gärrestes stieg die Konzentration von Ammoniak auf 0.8 ppm an und sank danach näherungsweise linear ab. Unmittelbar nach der Ausbringung des Gärrestes traten auch N₂O-Emissionen auf, die in üblichen Treibhausgasbilanzen bisher nicht berücksichtigt werden. Die N-Verluste in den ersten 3 Stunden nach Ausbringung lagen für NH₃ bei 3.6 kg N ha⁻¹ und für N₂O bei 115 g N ha⁻¹. Die Auswertung der CH₄- und CO₂-Daten sowie die Berechnung der kumulierten Emissionen sind noch nicht abgeschlossen.

Literatur

Sommer, S.G., McGinn, S.M., Flesch, T.K. 2005: Simple use of the backwards Lagrangian stochastic dispersion technique for measuring ammonia emission from small field-plots. Eur. J. Agron. 23:1-7.

Wurzelunterscheidung bei Nutzpflanzen und Unkräutern mittels FTIR-ATR-Spektroskopie

Catharina Meinen und Rolf Rauber

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Göttingen. E-Mail: rrauber@uni-goettingen.de

Einleitung

Nutzpflanzen und Unkräuter konkurrieren auf dem Feld häufig um die gleichen Ressourcen. Dabei zeigt die unterirdische Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe oft stärkere Effekte als der Wettbewerb um Licht. Um unterirdische Konkurrenz zu untersuchen, ist eine Voraussetzung, dass Wurzeln von Nutzpflanzen- und Unkrautarten unterschieden werden können. Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (FTIR) mit abgeschwächter Totalreflektion (ATR) repräsentiert die chemische Zusammensetzung der Wurzeln wie ein Fingerabdruck und wurde erfolgreich zur Wurzelunterscheidung bei Erbsen und Hafer eingesetzt (Naumann et al., 2010). In diesem Versuch möchten wir die Wurzelunterscheidung mittels FTIR-Spektroskopie bei näher verwandten Arten aus gleichen Pflanzenfamilien testen.

Material und Methoden

In einem Gefäßversuch wurden jeweils 9 Nutzpflanzen- und Unkrautarten angezogen: Winterraps-Hirtentäschelkraut, Winterweizen-Ackerfuchsschwanz, Sommergerste-Flughafers, Zuckerrübe-Weißer Gänsefuß, Mais-Hühnerhirse. Die Absorptionsspektren der Wurzeln sind mittels FTIR-ATR Spektroskopie an frischen und getrockneten Wurzelstücken (Spitze, Mitte, Basis, Pfahlwurzel) aufgenommen worden. Durch eine Clusteranalyse sind die Spektren der Wurzeln hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit gruppiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die getrockneten Wurzeln zeigen in allen Kombinationen der Nutzpflanzen- und Unkrautarten eine deutlichere Gruppierung entsprechend ihrer Art als die frischen Wurzelstücke. Wasser absorbiert die Infrarot-Strahlung stark und kann daher charakteristische Unterschiede bei näher verwandten Arten überlagern.

Die getrockneten Wurzelsegmente gruppieren sich artspezifisch, wobei die Wurzelspitzen die geringsten Artunterschiede aufweisen. Die Kombinationen Winterweizen-Ackerfuchsschwanz und Sommergerste-Flughafers zeigen nur geringe spektroskopische Unterschiede, während sich Zuckerrübe und Weißer Gänsefuß, Mais und Hühnerhirse sowie Raps und Hirtentäschelkraut in jeweils deutliche Art-Cluster aufteilen. Bestimmte Wurzelabschnitte, besonders die Wurzelbasis und die Pfahlwurzel, gruppieren sich bei Raps, Hirtentäschelkraut und Mais klar innerhalb des Art-Clusters. Dieses Ergebnis spiegelt die unterschiedlichen Aufgaben dieser Wurzelsegmente wider – die Stoffspeicherung in der Pfahlwurzel und den Wasser- und Nährstofftransport der Wurzelbasis.

Die FTIR-ATR Spektroskopie zeigt selbst bei Arten aus einer Pflanzenfamilie vielversprechende Ergebnisse bei der Wurzelidentifizierung.

Literatur

Naumann, A. Heine, G., Rauber, R. 2010: Efficient discrimination of oat and pea roots by cluster analysis of Fourier transform infrared (FTIR) spectra. *Field Crops Res.* 119:78-84.

Spezifisch gebundener NH_4^+ -N im Unterboden: Sein Beitrag zur N-Versorgung der Pflanze

Patrick Beuters und Heinrich W. Scherer

INRES-Pflanzenernährung, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. E-Mail: pbeuters@uni-bonn.de

Einleitung

Während bekannt ist, dass in Oberböden im Laufe der Vegetationsperiode Mengen an spezifisch gebundenem NH_4^+ freigesetzt werden können, die für die N-Versorgung der Pflanze eine nicht zu unterschätzende Bedeutung haben, liegen derartige Untersuchungen für Unterböden kaum vor. In den durchgeführten Untersuchungen sollte deshalb überprüft werden, welche Mengen dieser N-Fraktion im Unterboden freigesetzt werden und ob die Mobilisierung vom Wurzelsystem (homorhiz, allorhiz) beeinflusst wird. Des Weiteren wurde untersucht, ob sich Wurmgänge im Vergleich zum bulk soil im Gehalt an spezifisch gebundenem NH_4^+ unterscheiden.

Material und Methoden

Von März bis September 2010 wurden alle 4 Wochen Bodenproben aus den Tiefen 0-45 cm, 47-75 cm und 75-105 cm gezogen und auf ihre Gehalte an spez. geb. NH_4^+ untersucht. Die Flächen unterschieden sich sowohl in der Vorfrucht (Luzerne, Rohrschwengel) als auch in der gefolgten Hauptfrucht (Weizen, Futtermalve). Zur Erfassung des Gehaltes an spez. geb. NH_4^+ in Regenwurmgängen wurde die optisch erkennbare dunkle Auskleidung aus den Gängen heraus präpariert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Mobilisierung des spez. geb. NH_4^+ scheint vom Wurzelsystem der Pflanzen abzuhängen (Abb.1). Wie erste Untersuchungen zeigen, ist sie bei homorhizem Wurzelsystem stärker ausgeprägt als bei allorhizem. Homogen verteilte Wurzeln fördern somit die Mobilisierung gering verfügbarer Nährstoffe.

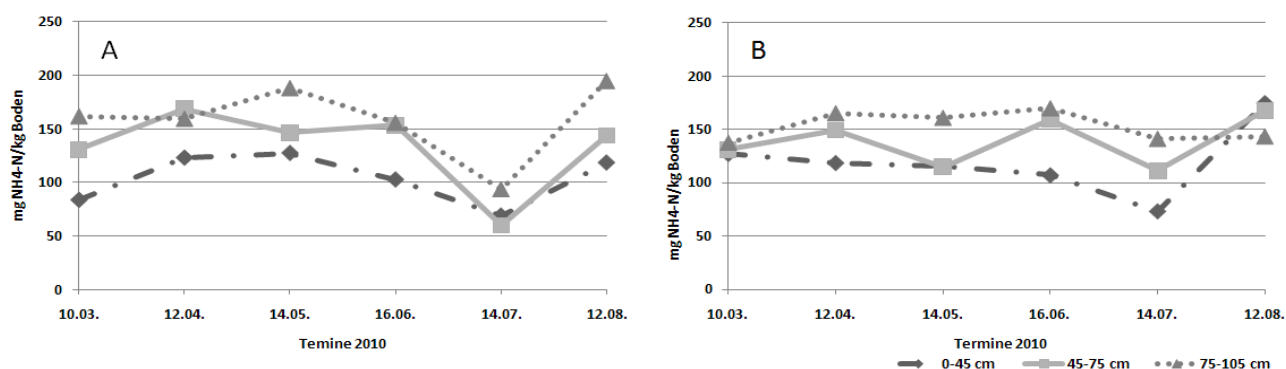


Abb. 1: Dynamik von spezifisch gebundenem NH_4^+ -N während der Vegetationszeit bei Weizen (A) und Futtermalve (B) in 3 Bodentiefestufen nach 3-jährigem Luzerneanbau.

Auf einer Fläche, bei der Weizen nach Rohrschwengel angebaut wurde, konnten in den Wurmgängen in den Tiefen 0-45 cm und 45-75 cm annähernd doppelt so hohe Gehalte an spez. geb. NH_4^+ nachgewiesen werden wie im bulk soil. Diese höheren Gehalte sind wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass Regenwurmgänge mit verdautem organischen Material ausgekleidet sind, das nach dessen Mineralisierung NH_4^+ -Ionen für die spezifische Bindung in Tonmineralzwischenschichten liefert.

Effectivity of N-S Fertilising on the Winter Wheat Yield and Sulfur Content in Soil

Martin Kulhánek, Jiří Balík, Jindřich Černý, Ondřej Sedlář, Filip Vašák and Milan Kos

Czech University of Life Sciences in Prague, Prague, Czech Republic. E-Mail: kulhanek@af.czu.cz

Introduction

Sulfur deficiency is an actual problem in many sites, where was recently good pool of soil S (Balík et al. 2009, Eriksen 2005). It can be attributed to the i) decrease of atmospheric emissions, ii) less intensive application of mineral fertilisers together with change of their composition, iii) restriction of manure and cropping of plants with high S uptake in crop rotation (e.g., rape) on the bigger area (Scherer 2001, Blair 2002). Because of that, further studies about N-S fertilising are needed.

Materials and Methods

Precise field experiments were established on 2 sites with winter wheat under different soil-climatic conditions in the Czech Republic (Humpolec - cambisol and Hněvčeves - luvisol) in the years 2008-2010. For this experiment, four fertilising treatments were evaluated. Addition of nitrogen to all treatments was 200 kg N.ha⁻¹. Treatment A was fertilised only with nitrogen, treatment B with 10 kg S.ha⁻¹, treatment C with 20 kg S.ha⁻¹ and treatment D with 40 kg S.ha⁻¹. Sulfur was applied in the form CaSO₄ (Lovofert®) fertiliser. Fertilisers were applied in three split doses: i) at the beginning of spring vegetation, ii) at the vegetation period BBCH 30-32 and iii) at the vegetation period BBCH 49-51 (only nitrogen). Soil samples were taken at the beginning of vegetation, after reaching the periods BBCH 26-28, BBCH 30-32, BBCH 37-39, BBCH 49-51 and after harvest.

Results and Discussion

At the beginning of spring vegetation we did not find differences in S content in soil between fertilising treatments at both studied sites. The measured values ranged around 2 mg S/kg (2008 and 2009) and 5 mg S/kg (2010) respectively. After application of 1st fertilisers dose increased the bioavailable S content in soil samples taken up in BBCH 26-28. Then (in the samples from next vegetation periods) followed usually the decreasing trend of sulfur contents in soils caused probably due to the plant uptake. The lowest bioavailable S contents in soil were usually found after harvest, where the values did not often overreached 1 mg S/kg. From the fertilising treatments comparison is clear, that the lowest S contents were usually estimated at the A treatment and the highest at the D treatment. Sulfur fertilising positively influenced the yield of winter wheat seed. The highest yields were usually estimated at the treatment D and the lowest at the control treatment A. There were found big differences between both studied sites. The average yields ranged about 5 t/ha at Humpolec site and we got about two times higher yield at the Hnevceves site.

References

- Balík J., Kulhánek M., Černý J., Száková J., Pavlíková D., Čermák P. 2009: Differences in soil sulfur fractions due to limitation of atmospheric deposition. *Plant Soil Environ.* 55(8):344-352.
- Blair G.J. 2002: Sulphur fertilisers: A global perspective. *Intern. Fertil. Soc., Proceedings* 498:1-36.
- Eriksen J. 2005: Gross sulphur mineralisation-immobilisation turnover in soil amended with plant residues. *Soil Biol Biochem.* 37(12):2216-2224.
- Scherer, H.W. 2001: Sulphur in crop production – invited paper. *Eur. J. Agron.* 14:81-111.

Verbesserung der N-Effizienz und Verringerung von Umweltbeeinflussungen organischer Dünger durch die gezielte Anwendung von Nitrifikationsinhibitoren

Michael Fuchs, Carola Schuster und Thomas Kreuter

SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Landwirtschaftliche Anwendungsforschung Cunnersdorf. E-mail: Michael.Fuchs@skwp.de

Einleitung

Gülle, Gärrückstände und andere organische Dünger sind eine wichtige Nährstoffquelle zur Sicherung hoher Erträge und zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Der Stickstoff in diesen Düngern liegt in unterschiedlicher Menge und Bindungsform vor.

Die N-Effizienz, ausgedrückt als Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) wird wesentlich durch das Verlustpotential im Zeitraum von der Düngerausbringung bis zur Pflanzenaufnahme bestimmt. Bei sehr früher Ausbringung (ausgangs Winter/zeitiges Frühjahr) von Wirtschaftsdüngern mit einem überwiegenden Ammonium-N-Anteil bzw. leicht umsetzbaren organisch gebundenen Stickstoff (u. a. Gülle, Gärreste) überwiegt das Verlustpotential infolge der Nitrifikation durch Nitratverlagerung und Denitrifikation (u. a. Lachgas) bei meist nur geringer Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen. Bei späteren Ausbringungsterminen dominieren auf Grund höherer Temperaturen die Ammoniakemissionen. Es ist deshalb nahe liegend, frühe Ausbringungstermine zu nutzen, um Ammoniakemissionen so gering als möglich zu halten. Besonders unter diesen Bedingungen kann durch die Zugabe von Nitrifikationsinhibitoren das Verlustpotential aus der Nitratform erheblich reduziert werden. Nach Schmidhalter et al. (2011) ist dies insbesondere für Kulturen mit einer spät einsetzenden N-Aufnahme wie Mais bedeutsam.

Material und Methoden

Im Versuchszeitraum 2003-2010 wurden 16 Feldversuche in Wintergetreide, 11 in Körnermais und 13 in Silomais durchgeführt. Die Anlage der Parzellenversuche erfolgte als randomisierte Blockanlagen mit 4 Wiederholungen an verschiedenen Standorten. In Abhängigkeit vom N-Gehalt wurden 30-50 m³ ha⁻¹ als Rinder- oder Schweinegülle bzw. als Gärrest ausgebracht. Die Mengen orientierten sich am Pflanzenbedarf und entsprachen im Mittel 120-180 kg ha⁻¹ im Anwendungsjahr anrechenbaren Stickstoff. Die Gülleausbringung erfolgte nach Auslaufen der Sperrfrist unter Einhaltung der Vorgaben der Düngeverordnung zu einem frühestmöglichen Termin (Februar bis April) im Getreide mit Schleppschlauch, zu Mais teilweise auch über Injektion. Die Ausbringung des Nitrifikationsinhibitors erfolgte mittels Parzellenspritze unmittelbar vor der Gülleapplikation. Die Dosierung richtete sich nach dem Anwendungszeitpunkt sowie der Kultur und lag bei dem Handelsprodukt PIADIN® (Wirkstoffkombination 1H-1,2,4-Triazol/3-Methylpyrazol) zwischen 5 und 8 l ha⁻¹. Die höheren Mengen kamen bei früher Gülleausbringung zur Anwendung, die niedrigeren bei späterer Applikation. Ebenfalls wurden in Abhängigkeit von der Kultur bei Mais höhere Aufwandmengen als bei Wintergetreide angewendet. Zusätzliche mineralische N-Gaben wurden nicht verabreicht.

Ergebnisse und Diskussion

Durch die Anwendung des Nitrifikationsinhibitors konnte gegenüber herkömmlicher Gülle- bzw. Gärrestausringung sowohl der Ertrag als auch der N-Entzug im Mittel der Versuche signifikant erhöht und die N-Effizienz deutlich verbessert werden (Tab. 1). Die Steigerungen sowohl beim Ertrag als auch beim N-Entzug sind bei Mais in Folge der späten N-Aufnahme höher als bei Wintergetreide.

Tab. 1: Ertrag und N-Entzug (relativ) in Feldversuchen zur Prüfung eines Nitrifikationsinhibitors (NI) zu Gülle bzw. Gärresten im Zeitraum von 2003-2010

Gülle bzw. Gärrest	Wintergetreide (n=11)		Körnermais (n=11)		Silomais (n=13)	
	Ertrag	N-Entzug	Ertrag	N-Entzug	Ertrag	N-Entzug
ohne NI	100 (76 dt ha ⁻¹)	100 (120 kg N ha ⁻¹)	100 (93 dt ha ⁻¹)	100 (122 kg N ha ⁻¹)	100 (142 dt TM ha ⁻¹)	100 (170 kg N ha ⁻¹)
mit NI	103	106	109	107	107	111
LSD 0,05	2,6	4,5	4,5	4,5	4,2	4,5

Da in den Versuchen bevorzugt die frühen Ausbringungstermine mit einem geringen Ammoniakverlustpotential genutzt wurden, konnte mit der Verbesserung der N-Entzüge der indirekte Nachweis geführt werden, dass es durch die Anwendung von Nitrifikationshemmstoffen möglich ist, N-Verluste aus der Nitratform durch Verlagerung oder Auswaschung sowie denitrifikationsbedingte gasförmige Emissionen deutlich zu vermindern. Von besonderer Bedeutung ist dabei besonders das Potential zur Senkung von N-Verlusten als klimarelevantes Lachgas (N₂O). In einem Modellversuch wurde eine Reduktion von 60-75 % ermittelt (Tab. 2). Etwa gleiche Größenordnungen von rund 50 %, werden von Gutser et al. (2010) und Schmidhalter et al. (2011) beschrieben.

Tab. 2: Lachgasemission nach Applikation von Gärrest ohne und mit Einsatz von Nitrifikationsinhibitor (NI) in einem Gewächshausversuch mit Großbehältern (Lehrstuhl für Pflanzenernährung, WZW, TU München)

Gärrest- Applikation	Summe N ₂ O-Verluste kg N ₂ O-N ha ⁻¹	N ₂ O-Verlustreduzierung durch NI (%)	Standard- abweichung
oberflächlich ohne NI	1,32	-	0,54
mit NI	0,54	60	0,15
eingeschlitzt ohne NI	0,90	-	0,25
mit NI	0,22	75	0,16

Literatur

- Gutser, R., Ebertseder, T., Schraml, M., Tucher, S., Schmidhalter, U. 2010: Stickstoffeffiziente und umweltschonende organische Düngung, KTBL-Schrift 423, Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden, 31-49.
- Schmidhalter, U., Manhart, R., Heil, K., Schraml, M., Tucher, S. 2011: Gülle- und Gärrestdüngung zu Mais, MAIS 2-2011, 88-91.
- Trenkel, M.E. 2010: Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers, An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture, International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, France.

Is phosphate-ageing stronger at iron oxides than at aluminum oxides in a Brown Earth?

Imran Ashraf, Diedrich Steffens and Sven Schubert

Institute of Plant Nutrition, Justus-Liebig-University, Gießen. E-Mail: Imran.Ashraf@ernaehrung.uni-giessen.de

Introduction

Phosphorus (P) is adsorbed at surfaces such as Fe-oxides and Al-oxides in soils. These oxides trap more P than other soil P adsorbents e.g. clay minerals (Burnham and Lopez-Hernandez 1982). Soil-P availability for plants is one of the major problems particularly in acid soils i.e. Oxisols and Ultisols. When these soils are fertilized with P, most of P is adsorbed and then becomes occluded, termed phosphate-ageing (Parfitt et al., 1975). The objective of our research is to understand these processes of P adsorption and occlusion on Fe-oxides and Al-oxides minerals.

Material and Methods

A soil incubation experiment was performed to study the role of these mineral oxides on phosphate ageing in a Brown Earth. These minerals were artificially prepared according to a method described by Schwertmann and Cornell (2000). The Brown Earth (subsoil) was analyzed for physical and chemical characteristics. The pH value of this soil was 7.5 and we adjusted two other pH levels, i.e. 5.2 and 4.6, by addition of HCl. There were two P levels i.e. with P (P+) and without P (P-). In P+ treatments, 200 mg P/kg soil were applied as KH_2PO_4 . Iron and aluminum were added as P adsorbents (300 mmol/kg soil) as iron oxides and aluminum oxides, respectively. Soil was incubated for 1 week at 25°C. Soil water content was maintained at 60 % water-holding capacity throughout incubation period. After completion of incubation period, soil was analyzed for pH, CAL-P, oxalate-extractable Fe and Al, dithionite-extractable Fe and Al, and P-fractions.

Results and Discussion

The CAL-P contents were reduced in treatments with Fe and Al oxides. The CAL-P data showed that CAL-P contents were higher (less P fixation) in treatments with Fe-oxides than in treatments with Al-oxides at pH 7.5 and vice versa at 4.6. This meant that at higher pH, P fixation was more at Al-oxides and at lower pH, it was more at Fe-oxides. The data from oxalate and dithionite extractable Fe and Al showed that most of Fe and Al minerals were in amorphous form. Soils with high amorphous contents of Fe and Al have high P-fixing capacity.

References

- Burnham, C.P., Lopez-Hernandez, D. 1982: Phosphate retention in different soil taxonomic classes. *Soil Sci.* 134:376-380.
- Parfitt, R.L., Atkinson R. J., Smart R.S.C. 1975: The mechanism of phosphate fixation by iron oxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 39:837-841.
- Schwertmann, U., Cornell, R.M. 2000: Iron Oxides in the Laboratory, Preparation and Characterization. Chap. 5.2.1. WILEY-VCH, Weinheim.

Einfluss von Calcium und pH-Wert auf die pflanzenverfügbaren Nährstoffe (EUF) – Konzept und erste Ergebnisse

Holger Lemme und Heinz-Josef Koch

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

Einleitung

Die Kalkung des Bodens kann durch Anhebung des pH-Wertes und Zufuhr von Calcium (Ca) wesentlichen Einfluss auf die Pflanzenverfügbarkeit zahlreicher Nährstoffe haben. In der vorliegenden Studie soll der Einfluss der Konzentration der Ca^{++} -Ionen und des pH-Wertes auf die pflanzenverfügbaren Gehalte der Nährstoffe N, P, K, Mg, S, und B in Labor- und Feldversuchen untersucht werden. Weiterführendes Ziel des Projektes ist es, die Düngeempfehlung auf der Grundlage der Bodenuntersuchung mittels Elektro-Ultra-Filtration insbesondere auf Standorten mit niedriger Ca-Versorgung zu optimieren. Der hier vorgestellte Vorversuch soll den Einfluss steigender Mengen an Kalk und in seiner Wirkung vergleichbaren Stoffen auf das Wachstum von Zuckerrüben klären.

Material und Methoden

Es wurden Konzentrationsreihen für die Zuschlagsstoffe Branntkalk (CaO), β -Halbhydrat ($\beta \text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$) und Natronlauge (NaOH) durch Einmischen in jeweils 950 g Boden (Ut3, Standort Dransfeld/Göttingen) angelegt. Die CaO-Mengen wurden in 14 Stufen entsprechend einer Felddausbringung von 0 bis 15 t ha^{-1} gestaffelt. Die Zuschlagmengen von CaSO_4 und NaOH waren äquivalent zur Ca-Zugabe bzw. pH-Anhebung der CaO-Variante bemessen. In jeweils 3 Wiederholungen wurden 10 Zuckerrübenpillen (Theresa KWS) je Topf ausgelegt und nach dem Auflaufen auf 5 Pflanzen vereinzelt. Der Wassergehalt des Bodens wurde bei ca. pF 2 konstant gehalten. Nach einer Versuchsdauer von 10 Wochen wurden die gesamten Zuckerrübenpflanzen geerntet und getrocknet. Der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit des Bodens wurden sowohl nach dem Mischen des Bodens zu Versuchsbeginn als auch nach der Ernte gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

Die elektr. Leitfähigkeit zeigte zu Versuchsbeginn einen Anstieg mit steigender Konzentration an Zuschlagstoffen, wobei dieser für CaO am schwächsten, für NaOH am steilsten verlief. Der Anstieg des pH-Wertes mit zunehmender Konzentration verlief in der CaO-Variante flach, in der NaOH-Variante dagegen steil. In der Gipsvariante blieb der pH-Wert wie erwartet konstant. Die pH- und Leitfähigkeitswerte zu Versuchsbeginn und -ende unterschieden sich nicht wesentlich. Der Pflanzenertrag in den Kalk- und Gipsvarianten war signifikant ($p \leq 0,05$) höher als in den NaOH-Varianten. Diese erlitten bei einer NaOH-Gabe von mehr als 5.500 kg ha^{-1} Kalkäquivalenten einen Totalausfall. Ursächlich dafür kann die Extraktion von Huminsäuren und die Zerstörung des Ton-Humus-Komplexes sowie des Bodengefüges in Folge der steigenden Konzentration der Lauge sein. In den Kalkkonzentrationsreihen war im Pflanzenwachstum ein Optimum bei ca. 5.500 kg ha^{-1} ersichtlich. Mit Hilfe der gewonnenen Daten wurde die verträgliche Menge an Zuschlagstoffen für den nachfolgenden Hauptversuch abgeschätzt.

A soil survey for current fertility, pH and EC of greenhouses with intensive vegetable cultivation in the North China Plain

Yuncaï Hu¹, Christoph Poschenrieder¹, Zhiwen Song², Wenlong Lu² and Urs Schmidhalter¹

¹Chair of Plant Nutrition, Technische Universität München, Freising, Germany; ²Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin, China. E-Mail: hu@wzw.tum.de

Introduction

The total area of vegetable crops planted under greenhouses or plastic film houses was more than 2,500,000 ha in China in 2008, and China has become the country that produces the most vegetable crops under greenhouses or plastic-film houses (Yang et al. 2011). In order to obtain a high production, shallow-rooted vegetable crops in greenhouses are intensively managed with high inputs of water and nutrients, leading to degradation of soil quality and an increase in salt accumulation, acidification and inducing nutrient imbalances and a high risk of nutrient losses to the environment. Therefore, efficient management for nutrients is crucially important for a sustainable vegetable production, and requires the understanding of the current status of soil fertility pH and EC of greenhouses. Objective of this study was to survey the soils in greenhouses for their status of current fertility, acidification and salinization in Tianjin of the North China Plain (NCP). The NCP is the major area for the vegetable production in China. Tianjin is located on the northeast of the NCP, reached a vegetable growing area of 107,000 ha from total 420,000 ha arable land in 2010, and represents the typical intensive managed greenhouse vegetables in the NCP.

Materials and Methods

Nine districts of Tianjin municipality were selected for the soil survey for greenhouses and open fields in 2010, which cover all vegetable growing areas in Tianjin region. 163 soil samples from the depth of 30 cm were taken from greenhouses and open fields to carry out to investigate the rapid nutrient accumulation, acidification and secondary salinization of soils caused by excessive nutrient application for greenhouse vegetables. Soil nitrate, CAL-P and CAL-K, pH and electrical conductivity (EC) were analyzed.

Results and Discussion

This study demonstrates that soil NO₃-N and P accumulation was very high for the vegetable crops in greenhouse in Tianjin, which is in agreement with other studies in the NCP in literature (Chen et al. 2004; Ju et al. 2006). In particular, soil available P accumulation increased with the age of greenhouse. In contrast, our soil survey did not find higher K and lower pH in the greenhouse vegetables compared with the open fields. However, data here show that high nutrient accumulation in greenhouse result in severe problem in salinity stress to most vegetable crops. 90% of the investigated greenhouses have E_{Ce} of 2-8 dS m⁻¹, which affect yields of most vegetable crops like green bean (most salt sensitive one), pepper, cabbage, carrot, eggplant, lettuce, spinach, celery, cucumber and tomato. The similar findings of our survey to the earlier reports in literature may suggest that there is an urgent need to improve the farmers' current practices and strategies in fertilization management in

greenhouses in China. Since education and the agricultural technical extension services may play a more important role in overuse of fertilizers, we hope that current practices of nutrient managements can be greatly improved through training the local farmers by the concept of farmers' schools in China in near future, through strengthening the agricultural extension services with the practical techniques like GreenWindows^{TUM} technology.

Acknowledgements

The authors acknowledge the support of the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF, Project No. 00330800A).

References

- Chen Q., Zhang X., Zhang H., Christie P., Li X., Horlacher D., Liebig H. 2004: Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69:51-58.
- Ju X.T., Kou C.L., Zhang F.S., Christie P. 2006: Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution* 143:117-125.
- Yang L.J., Li T.L., Li F.S., Lemcoff J.H. 2011: Long-term fertilization effect on fraction and distribution of soil phosphorus in a plastic-film house in China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42:1-12.

The effect of soil applications of zeolite, agrisorb and lignite on the macronutrients content of clover-grass mixtures grown in arid conditions of the Czech Republic

Tomas Losak¹, Petr Salas¹, Jaroslav Hlusek¹, Jiri Jandak¹, Radek Filipcik¹, Marie Strakova², Lubica Janku², Helena HutYROVA³, Daniela Knotova³, Martin Losak⁴ and Magdalena Sevcikova⁴

¹Mendel University in Brno, Czech Republic; ²Agrostis Trávníky Rousínov, s.r.o., Troubsko, Czech Republic; ³Research Institute for Fodder Crops, Ltd. Troubsko, Czech Republic; ⁴OSEVA, Development and Research Ltd., Rožnov-Zubří, Czech republic. E-Mail: losak@mendelu.cz

Introduction

The objective of three-year field trials was to evaluate the possibility of applying soil preparates to sandy soil in arid conditions of south Moravia to increase the sorption of water and nutrients (and reduce losses due to leaching) which should be reflected in the chemical composition of the biomass of various clover-grass mixtures.

Material and Methods

In the experiments were applied into a sandy soil profile of 0.15 m prior to sowing these preparates: zeolite, lignite (the youngest coal) and agrisorb (polymer organic compound capable of holding in its structure and subsequently releasing water). The rates of the preparates were as follows: zeolite - 3 l/m², fraction used 1-2 mm; agrisorb - 20 g/m²; lignite - 1000 g/m². Three types of clover-grass mixtures were sown: landscape mixture with an addition of leguminous plants, regional mixture and annual mixture.

Results and Discussion

In all years the individual treatments did not significantly change the contents of N, P, K, Ca and Mg in the aboveground biomass of the respective clover-grass mixtures. A significant difference in the contents of macroelements was discovered only between the individual mixtures; this is due to their different botanical composition (Lošák et al. 2010).

Acknowledgement

Supported by the Ministry of Education, Youth and Sport of the Czech Republic, Project No. 2B08020.

References

Lošák, T., J. Hlušek, J. Jandák, R. Filipčík, M. Straková, L. Janků, H. HutYROVÁ, D. Knotová, M. Lošák, M. Ševčíková 2010: The effect of soil applications of zeolite, agrisorb and lignite on the chemical composition of clover-grass mixtures grown in arid conditions of South Moravia. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis LVIII:247-254.

Einfluss einer Mg-Blattdüngung auf die Mg-Ionenkonzentration in Apoplast und Cytosol von Ackerbohnenblättern

Christina Neuhaus, Christoph-Martin Geilfus und Karl H. Mühling

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität Kiel. E-Mail: cneuhaus@plantnutrition.uni-kiel.de

Einleitung

Mg ist ein wichtiger Makronährstoff und erfüllt in der Pflanze vielfältige Funktionen. Es ist Bestandteil des Chlorophyllmoleküls und von Bedeutung für die Funktionalität verschiedener Enzyme wie beispielsweise der Glutathion-Synthase, der RuBP-Carboxylase, der Fructose-1,6-bisphosphatase, der Glutaminsynthetase oder der PEP-Carboxylase. Zudem ist Magnesium ein wichtiger Faktor für die Proteinsynthese (Marschner 1995). Allerdings gibt es nur wenige Angaben über die Konzentration von Mg im Apoplasten und Cytosol von Blättern.

Material und Methoden

Die Studie soll an hydroponisch angezogenen Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) durchgeführt werden. Die Kontrolle wird mit 0,5 mM MgSO₄ über die Wurzel versorgt. Die vier weiteren Varianten wachsen in 0,015 mM Mg Lösung und werden an drei Terminen mit Lösungen der Mg-Konzentrationen 0 mM, 50 mM und 200 mM gespritzt.

Ergebnisse und Diskussion

Durch die Gewinnung von apoplastischer Waschflüssigkeit konnte kürzlich (Wendler, unveröffentlicht) gezeigt werden, dass durch eine Mg-Blattdüngung eine signifikante Steigerung der Mg-Konzentration sowohl im Apoplasten als auch im Symplasten erreicht wird. Im Apoplasten wirkt sich die Blattdüngung im besonderen Maße auf das gebundene Mg aus, das signifikant ansteigt, während das wasserlösliche Mg nicht signifikant beeinflusst wird. Eine Untersuchung der räumlichen Verteilung der apoplastischen Mg-Konzentrationen steht allerdings noch aus. Hierzu bietet sich die räumlich hochauflösende ratiometrische Fluoreszenzmikroskopie an. Durch die räumliche Zuordnung des Effektes der Mg-Blattdüngung auf einen bestimmten Teil des Blattes ist es möglich, einen Effekt der Mg-Blattdüngung auf die bei Mg-Mangel ausgebildeten Interkostalchlorosen zu untersuchen.

Die ratiometrisch ermittelten Mg-Konzentrationen werden zusätzlich ionenchromatographisch verifiziert. Hierzu wird mittels der Infiltrations-Zentrifugations-Methode (Lohaus et al. 2001) Mg aus dem Apoplasten extrahiert.

Literatur

- Lohaus, G., K. Pennewiss, B. Sattelmacher, M. Hussmann, K.H. Mühling 2001: Is the infiltration-centrifugation technique appropriate for the isolation of apoplastic fluid? A critical evaluation with different plant species. *Physiologia Plantarum* 111:457-465.
- Marschner, H. (ed.) 1995: Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press.
- Wendler, N. 2010: Lokalisation von Magnesium in Blättern der Ackerbohne (*Vicia faba* L.) nach einer Blattdüngung. Bachelor-Thesis, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel.

Foliar applied phosphite inhibits phosphate deficiency reactions of maize and white lupine for rhizosphere changes

Markus Weinmann¹, Benjamin Kuhn¹, Juan Gabriel Moreno², Günter Neumann² and Volker Römheld¹

¹Institute of Crop Science, Fertilisation with Soil Chemistry, Universität Hohenheim (340i), Stuttgart;

²Institute of Crop Science, Nutritional Crop Physiology, Universität Hohenheim (340h), Stuttgart. E-Mail: weinmark@uni-hohenheim.de

Introduction

Phosphite (PO_3^{3-}) is often advertised as a phosphorus (P)-fertilizer or as a fungicide for the control of oomycetes, in particular *Phytophthora* species and other members of the *Peronosporales*. Its effectiveness, however, reportedly relies on direct toxic effects or at least the metabolism of pathogens inhibiting mechanisms that need to be further investigated (Brunings et al., 2005). Moreover, there is evidence that phosphite is toxic to plants, particularly under phosphate (PO_4^{3-}) starvation (Lambers et al., 2010). This study investigated the effect of phosphite on the expression of P-starvation responses in maize and white lupine.

Material and Methods

Plants were cultivated on a calcareous loess substrate low in available phosphate, but with basal fertilization of N, K, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn. The experiment was conducted in a greenhouse (Stuttgart, Germany) under natural light conditions (April to June 2005), using a randomized block design. Foliar sprays of phosphite or phosphate and soil application of phosphate were compared with no P treatment (control). Data obtained from analyses of root and shoot biomass production, acid phosphatase activity on the root surface (p-nitrophenyl phosphate as substrate for colorimetric determination), and root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi were evaluated for significant differences between control and treated plants.

Results and Discussion

In maize, phosphite, but not phosphate treatments, inhibited root and shoot growth ($p < 0.05$; Dunnett test; $n = 4$) and lowered the acid phosphatase activity on the root surface ($p < 0.05$; Dunnett test; $n = 4$) significantly, whereas both P-forms tended to suppress mycorrhization ($p < 0.2$; Bonferroni t-test; $n = 4$). In lupine, phosphite enhanced the sensitivity to photo-oxidative stress, leading to leaf necrosis.

These findings, confirm that phosphite is not a nutritional P-form and may not improve the growth of healthy plants. Rather, it inhibits mechanisms of P-acquisition and is detrimental to phosphate deficient plants (Ratjen and Gerendás, 2009).

References

- Brunings, A.M., Datnoff, L.E., Simonne, E.H. 2005: Phosphorous acid and phosphoric acid: when all P sources are not equal. University of Florida IFAS Extension, Publication HS1010.
- Lambers, H., Brundrett, M.C., Raven, J.A., Hopper, S.D. 2010: Plant mineral nutrition in ancient landscapes: high plant species diversity on infertile soils is linked to functional diversity for nutritional strategies. *Plant and Soil* 334:11-31.
- Ratjen, A.M., Gerendás, J. 2009: A critical assessment of the suitability of phosphite as a source of phosphorus. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:821-828.

Sulfur nutrition of tomato (*Solanum lycopersicum*) in relation to its resistance against pathogens

Katharina Bollig, Marc Zahn and Walter J. Horst

Institute for Plant Nutrition, Faculty of Natural Science, Leibniz University Hannover. E-Mail: bollig@pflern.uni-hannover.de

Introduction

The soil borne fungus *Verticillium dahliae* (*V. dahliae*) causes vascular wilt disease and drastically limits crop yield worldwide (Fradin and Thomma, 2006). Since no effective fungicide preventing an infection is available current research focuses on the elucidation of possible resistance promoting mechanisms. One strategy seems to be the synthesis and deposition of the sulfur (S)-containing defense compound (SDC) elemental S (S^0) in infected vascular plant tissue. S^0 was detected 21 days past *V. dahliae* infection in a tolerant tomato (*Solanum lycopersicum*) genotype, whereas sensitive plants produced considerably lower amounts (Williams et al., 2002). We investigate the influence of externally applied S to tomato on S-enhanced defense mechanisms potentially limiting fungal growth in colonized vascular tissue.

Material and Methods

Absolute and relative quantifications were performed in a CFX96™ Real-Time System (BioRad Laboratories, Hercules, CA) including total genomic DNA from tomato hypocotyl tissue and fungal mycelium or tomato cDNA. Tolerant tomato tissue was fixed, embedded and microtome sectioned for the isolation of cell structures using the PALM MicroBeam microscope (Zeiss MicroImaging GmbH, 07740 Jena).
Results and DiscussionThe influence of S nutrition on *V. dahliae* infection within vasculature of two tomato genotypes with different susceptibility levels was analyzed by absolute quantitative Real-Time PCR (qRT-PCR). Excess S supply reduced the fungus in infected vascular stem tissue of both tomato genotypes. This reflects an *in planta* fungicidal impact of supra-optimal S nutrition. A spatial identification of genes connected to S assimilation, which might play a role in the generation of S^0 , was performed. Laser Microdissection was applied with relative qRT-PCR to identify candidates in the xylem of tomato plants. Tissue-specific expression-patterns for genes of the S metabolism as affected by genotype and S nutrition were identified. Future work is on *Agrobacterium*-mediated transformation with genes possibly relevant for synthesis of S^0 exhibiting a distinct spatial expression pattern within tomato vasculature.

References

- Fradin, E.F., Thomma, B.P.H.J. 2006: Physiology and molecular aspects of *Verticillium* wilt diseases caused by *V. dahliae* and *V. albo-atrum*. Mol Plant Pathol. 7:71-86.
- Williams, J. S., Hall S.A., Hawkesford M.J., Beale, M.H., Cooper R.M. 2002: Elemental Sulfur and Thiol Accumulation in Tomato and Defense against a Fungal Vascular Pathogen. Plant Physiol. 128:150-159.

Plasma membrane H⁺-ATPase is regulated by boron nutrition in maize shoot

Ammara Fatima, Stefan Hanstein, Britta Pitann and Sven Schubert

Institute of Plant Nutrition, Justus-Liebig-University Gießen. E-Mail: Ammara.Fatima@agrar.uni-giessen.de

Introduction

The essentiality of boron (B) for normal plant growth was first described in the beginning of the 20th century. In recent years, many functions of B in plant cells have been proposed, including cell-wall synthesis and structure, maintaining membrane function, as well as supporting metabolic activities. Currently, the only direct evidence for the role of B in plants involves cross-linking of the pectin rhamnogalacturonan II (RGII) in the cell wall (O'Neill et al., 2004). However, increasing evidence suggests one or more functions of B in plasma membrane function and/or structure. It is unclear, whether B directly interacts with membrane proteins or indirectly modifies membrane properties with subsequent changes in enzymatic activities. The present study investigates the role of B in H⁺-ATPase hydrolytic and pumping activity of plasma membrane from maize.

Materials and Methods

Plants were grown with 0 and 10 µM B in hydroponics under controlled conditions. Plasma membranes were isolated with two-phase partitioning and membrane H⁺-ATPase hydrolytic and pumping activity was measured in plasma membranes isolated from maize shoot as described by Yan et al. (2002).

Results and Discussion

Boron supply in the nutrient medium significantly improved plant growth parameters: Young shoot fresh and dry biomass, leaf area and plant height. We found that the hydrolytic activity of H⁺-ATPase was not affected. However, a significant increase was observed in active H⁺-pumping activity of plasma membrane H⁺-ATPase from B-treated shoots. To investigate whether B produced qualitative or quantitative enzyme changes. We determined the kinetic parameters and activation energy, which remained unaffected by B. Then the enzyme concentration of plasma membrane ATPase was measured by means of western blot analysis. The results showed that B significantly increased enzyme concentration. To gain a deeper insight into the effect of boron on H⁺-ATPase, we analyzed the relative expression of MHA isoforms (*MHA1*, *MHA2*, *MHA3*, and *MHA4*) of plasma membrane H⁺-ATPase by means of real-time PCR. We were able to identify only *MHA1* and *MHA3*. Boron application up-regulated relative expression of *MHA3*. The increase in pumping activity of plasma membrane H⁺-ATPase induced by boron attributed to enhanced enzyme concentration in the plasma membrane and up-regulation of *MHA3*.

References

- O'Neill, M.A., Ishii, T., Albersheim, P., Darvill, A.G. 2004: Rhamnogalacturonan II: Structure and function of a borate crosslinked cell wall pectic polysaccharide. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55:109.
- Yan, F., Zhu, Y., Müller, C., Zörb, C., Schubert, S. 2002: Adaptation of H⁺-pumping and plasma membrane H⁺-ATPase activity in proteoid roots of white lupin under phosphate deficiency. *Plant Physiol.* 129:50-63.

Spatial and temporal expression of a citrate transporter gene and aluminium-induced citrate exudation in common bean

Dejene Eticha and Walter J. Horst

Institute of Plant Nutrition, Leibniz Universität Hannover. E-Mail: eticha@pflern.uni-hannover.de

Introduction

Aluminium (Al) toxicity is one of the major limiting factors for plant growth in acid soils especially in the tropics where common bean (*Phaseolus vulgaris*) is produced. Al resistance in common bean is conferred by citrate exudation which detoxifies Al in the root apoplast. Citrate exudation starts after a considerable lag period subsequent to Al treatment indicating that the activation of resistance mechanism involves Al-induced gene expression. We identified a putative citrate transporter gene *PvMATE* (*P. vulgaris* Multidrug and Toxin Extrusion) the expression of which is highly enhanced by Al treatment (Eticha et al., 2010). Here, the spatial and temporal expression of *PvMATE* in relation to citrate exudation is presented.

Materials and Methods

Two contrasting bean genotypes, Quimbaya (Al-resistant) and VAX 1 (Al-sensitive) were used to study gene expression as well as citrate exudation of the different apical root zones (0-3 mm, 3-6mm, and 6-10 mm).

Result and Discussion

PvMATE gene is more strongly expressed at the root tip compared to the elongation zone of Al-treated plants in agreement with higher citrate exudation at the root tip. Citrate exudation in the elongation zone was also elevated indicating that in common bean not only the transition but also the elongation zone must be protected from Al injury (Rangel et al., 2007). The temporal pattern of citrate exudation and gene expression of *PvMATE* and a transcription factor, *STOP1*, regulating the expression of *PvMATE* was studied. Significant citrate exudation started after a delay of about 4 h. It continued to increase in the Al-resistant genotype but dropped shortly afterwards in the sensitive genotype. Enhanced expression of *PvMATE* was observed about an hour earlier than the beginning of citrate exudation. The expression of the *PvMATE* gene continued to increase but citrate exudation decreased after extended treatment period indicating that in long term Al treatment, not the transporter but rather the synthesis of citrate is limiting. Furthermore, enhanced expression of *STOP1* was observed already after 1 h Al treatment and increased up to 3 h in both genotypes indicating that this transcription factor is indeed involved in activating the expression of *PvMATE* in common bean. In conclusion, in common bean, citrate exudation involves a sequential cascade of events which include the reception of an Al signal, activation of the *STOP1* transcription factor, enhancement of citrate transporter (*pVvMATE*) gene expression and subsequent citrate exudation resulting in resumption of root growth under Al stress.

References

- Eticha D. et al. 2010: Annals of Botany 105:1119-1128.
Rangel et al. 2007: Journal of Experimental Botany 58:3895-3904.

Die Geschichte des Instituts für Pflanzenernährung der Universität Hohenheim

Helena Hamann^{1,2}, Uwe Ludewig¹, Jochen Streb², Ulrich Fellmeth³ und
Torsten Müller¹

¹FG Düngung mit Bodenchemie und FG Ernährungsphysiologie der Kulturpflanzen, Inst. für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart; ²FG Wirtschafts- und Sozialgeschichte mit Agrargeschichte, Inst. für Economics, Universität Hohenheim, Stuttgart; ³Universitätsarchiv, Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: torsten.mueller@uni-hohenheim.de

Einleitung

Die Fusion pflanzenbaulicher Institute an der Universität Hohenheim war der Anlass, die Geschichte des früheren „Instituts für Pflanzenernährung“ vor dem Hintergrund der Zeit- und Agrargeschichte sowie unter Berücksichtigung der am Institut tätigen Professoren und Mitarbeiter zum Thema einer Masterarbeit zu machen.

Material und Methoden

Als historische Quellen werden Archivadokumente und Veröffentlichungen ausgewertet. Ferner werden Interviews mit noch lebenden Zeitzeugen geführt.

Ergebnisse und Diskussion

Das „Institut für Pflanzenernährung“ wurde im Jahr 1923 von Prof. Dr. Margarete von Wrangell (*1877, †1932) gegründet. Margarete von Wrangell war Deutschlands erste ordentliche Professorin und bis zu ihrem Tod im Jahr 1932 Institutsleiterin. Vor dem Hintergrund der Phosphatknappheit in Deutschland als Folge des 1. Weltkrieges beschäftigte sie sich vor allem mit der Pflanzenverfügbarkeit von Phosphaten im Boden und mit der Phosphatdüngung. Prof. Dr. Kurt Maiwald (*1899, †1960) leitete das Institut bis 1960. Zur Zeit des Dritten Reichs wurden politisch beeinflusste Themen vor allem von seinen Mitarbeitern bearbeitet. Prof. Dr. Gerhard Franz Michael (*1911, †2004) legte bis 1976 den Grundstein für die ernährungsphysiologisch orientierte Pflanzenernährung und etablierte das Isotopenlabor. Prof. Dr. Horst Marschner (*1929, †1996) machte das Institut weltweit durch seine Arbeiten zur Ernährungsphysiologie der Kulturpflanzen, zur Rhizosphärenforschung sowie insbesondere durch sein noch immer als Standardwerk geltendes Buch „Mineral Nutrition of Higher Plants“ bekannt. Neben den bereits genannten Themenbereichen wurden im Institut von weiteren sieben Professoren Fragestellungen zur effizienten Nährstoffaneignung, zu einzelnen Mikronährstoffen (Prof. Dr. Volker Römheld), zur mineralischen und organischen Düngung und zum Stoffumsatz in Böden bearbeitet. Neben klassischen Versuchsansätzen wurden Versuche in Rhizotronen durchgeführt. In den letzten Jahren wurden molekularbiologische Methoden (Prof. Dr. Nicolaus v. Wirén), die Spurengasanalytik und die Prozess-Modellierung (Prof. Dr. Torsten Müller) eingeführt. Forschung und Lehre hatten neben fachlichen Grundlagen immer auch praxisbezogene Fragestellungen im Kontext aktueller Rahmenbedingungen im Auge, so zuletzt die Klimarelevanz von Düngungsmaßnahmen und den Anbau nachwachsender Rohstoffe (Prof. Dr. Uwe Ludewig).

Ist eine Aufteilung der Stickstoffdüngung für hohe Erträge und Qualitäten bei Winterweizen notwendig? Praxisversuche in Südwestdeutschland

Thomas Makary¹, Rudolf Schulz¹, Sabine Hubert⁴, Karin Hartung², Sabine Gruber³, Sebastian Donath¹, Johannes Döhler¹, Katharina Weiß⁵, Elisabeth Ehrhart⁶, Wilhelm Claupein³, Hans-Peter Piepho², Carola Pekrun⁴ und Torsten Müller¹

¹Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Düngung mit Bodenchemie (340i), Universität Hohenheim; ²Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Bioinformatik (340c), Universität Hohenheim; ³Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Allgemeiner Pflanzenbau (340a) Universität Hohenheim; ⁴Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Fg. Pflanzenbau, Nürtingen; ⁵Landratsamt Tübingen; ⁶Regierungspräsidium Tübingen. E-Mail: Thomas.Makary@uni-hohenheim.de

Einleitung

Streifenversuche sind in der Praxis üblich und können statistisch als Streulageversuch ausgewertet werden. Streulageversuche sind Versuche mit Blockanordnung, wobei sich die Blöcke bzw. Wiederholungen auf verschiedenen Schlägen an verschiedenen Orten befinden (Jacob et al., 1961). Hierdurch werden die Praxisbedingungen sehr gut wiedergespiegelt, jedoch steigt der Varianzanteil, der auf die Flächenheterogenität zurückzuführen ist.

In Streulageversuchen wurden vereinfachte Verfahren zur N-Düngung geprüft, indem die übliche dreigeteilte N-Düngung zu Winterweizen mit einer einmaligen oder zweimaligen Applikation der gleichen N-Menge verglichen wurde.

Material und Methoden

Die Varianten „3 x Kalkammonsalpeter (KAS)“ (BBCH25/31/49) und „1 x KAS“ (BBCH31) wurden in den Jahren 2007, 2008, 2009 und 2010 an 2, 3, 10 und 7 Standorten miteinander verglichen. 2009 und 2010 wurde zusätzlich die Variante „2 x KAS“ (BBCH31/49) an 4 bzw. 5 Standorten überprüft. Jedes Jahr wurde separat als Streulageversuch ausgewertet. Gemessen wurden u.a. Kornerträge, Rohprotein-gehalte und N_{\min} -Gehalte im Boden nach der Ernte.

Ergebnisse und Diskussion

In keinem Jahr gab es signifikante Unterschiede bei Kornerträgen und Rohprotein-gehalten zwischen den Varianten (im Mittel 2007: 81,8 dt TS ha⁻¹, 14,3 %, 2008: 97,2 dt TS ha⁻¹, 11,6 %, 2009: 67,3 dt TS ha⁻¹, 12,7 % und 2010: 70,4 dt TS ha⁻¹, 14,7 %). In keinem Jahr wurde Lager beobachtet. Die N_{\min} -Beprobung nach der Ernte ergab keine Anhaltspunkte für eine erhöhte Nitratverlagerung in den einzelnen Varianten. Die Ergebnisse geben Anlass, die übliche Praxis der N-Aufteilung zu Winterweizen zu überdenken und die Rahmenbedingungen, bei denen eine vereinfachte N-Düngung möglich ist, weiter zu untersuchen.

Literatur

Jacob, A., Rütger, H., Behrens, W.U. 1961: VDLUFA Methodenbuch Band X. Der Vegetationsversuch. 3. Der Feldversuch und seine Technik. Neumann Verlag, 214-215.

Einfluss von Saatstärke und Höhe der N-Spätdüngung auf den Ertrag und wichtige Qualitätsparameter verschiedener Winterweizensorten

Carolin Merker, Franz-Ferdinand Gröblichhoff und Bernhard Carl Schäfer

Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest. E-Mail: Merker@fh-swf.de

Einleitung

Für die verschiedenen Verwertungsrichtungen von Weizen sind unterschiedliche Kornqualitäten von Bedeutung. Diese sind neben der Sortenwahl auch durch produktionstechnische Maßnahmen zu beeinflussen. Durch einen Feldversuch auf einem Hohertragsstandort sollte der Einfluss einer variierten N-Spätdüngung und Aussaatstärke auf Qualitätsparameter des Korns und die N-Bilanz untersucht werden.

Material und Methoden

Der dreifaktorielle Exaktversuch wurde am Standort Merklingsen in der Soester Börde (Parabraunerde aus Löß) mit drei Wiederholungen in Kleinparzellen über drei Jahre (2007-2009) angelegt. Eine Übersicht der Faktoren und Stufen ist Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Faktoren und Stufen im Exaktversuch am Standort Merklingsen

Faktor	Stufen
Sorte	Cubus (Aufmischweizen), Ludwig (Aufmischweizen), Tommi (Stärkegewinnung), Maltop/Mythos (Brauweizen), Biscay (Keksherstellung), Winnetou (Futterweizen), Hermann (Bioethanol-Produktion)
Aussaatstärke	200 kf. Körner/m ² 400 kf. Körner/m ²
N-Spätdüngung	0 kg N/ha 40 kg N/ha 80 kg N/ha

Die Düngung der übrigen Nährstoffe und Pflanzenschutzmaßnahmen wurden standortbezogen optimal vorgenommen.

Ergebnisse und Diskussion

Der Ertrag war bei der höheren Saatstärke signifikant höher als bei der niedrigen. Mit der Steigerung der N-Spätdüngung konnte eine Erhöhung der Rohproteingehalte erreicht werden. Dabei reagierten die Sorten Ludwig und Tommi am stärksten. Der Einfluss der N-Spätdüngung auf das Hektolitergewicht war stark sortenabhängig. Bei Verzicht auf eine N-Spätdüngung wurden signifikant geringere Hektolitergewichte ermittelt, was sich besonders bei der Bioethanol-Produktion und Stärkegewinnung negativ auswirken kann. Eine verwertungsorientierte Produktion von Weizen kann demnach am ehesten über die Variation der N-Spätdüngung erfolgen.

Einfluss der S-Düngung auf Vermahl-, Back- und sensorische Eigenschaften des Winterweizens

Esther Paladey^{1,2}, Simone Seling², Meinolf. G. Lindhauer² und Karl H. Mühling¹

¹Christian-Albrechts-Universität, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Kiel; ²Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Detmold. E-Mail: esther.paladey@mri.bund.de

Einleitung

Die Bedeutung einer angemessenen Schwefelversorgung für den Weizenertrag und das Volumen von Hefe gelockerter Backwaren ist allseits gut bekannt. In der Vergangenheit wurde weniger intensiv die Bedeutung der S-Düngung auf bestimmte Aspekte der Verfahrenstechnik von Weizen, wie mahlentechnologische und sensorische Eigenschaften, betrachtet. Vermahlungs- und Backeigenschaften beinhalten Mehlausbeute, Kornhärte, Stärkebeschädigung, Wasseraufnahme des Mehls und den sensorischen Geschmack. In einem Feldversuch wurden die beiden Winterweizensorten „Akteur“ und „Inspiration“ bei verschiedenen S-Düngungsstrategien (Menge und Ausbringungstermin) angebaut, um der Frage nachzugehen, welchen Einfluss die Düngevarianten auf Mahl-, Back- und sensorische Eigenschaften haben.

Material und Methoden

Es wurden zwei Winterweizen-Sorten "Akteur" (BSA-Nr: 2998) und "Inspiration" (BSA-Nr: 3530) in einem Feldversuch der CAU angebaut. Die Düngung erfolgte in einer einmaligen Gabe (0, 20 und 40 kg/ ha S) und in einer geteilten Gabe mit frühem und spätem Düngetermin (20+20 kg/ha S). Die Labordaten wurden am MRI erhoben. Die Kornhärte wurde mittels 75µm Luftstrahlsiebung gemessen, die Stärkebeschädigung wurde nach ICC 164, der Mehlproteingehalt nach ICC 167 und Wasseraufnahme nach ICC 115 gemessen. Die Brötchen wurden nach dem AGF-Standard gebacken und das Sensorik-Panel bestand aus sieben Personen.

Ergebnisse und Diskussion

Ein positiver Effekt des Unterlassens einer S-Düngung war eine höhere Kornhärte, die eine höhere Stärkebeschädigung und eine höhere Wasseraufnahme bedingte, die wiederum vorteilhaft ist vom Standpunkt der praktischen Verarbeitung. Auf der anderen Seite hatten Höhe und Gabetermin der S-Düngung keinen Einfluss auf Mahleigenschaften.

Das Unterlassen der S-Düngung hatte einen negativen Einfluss auf Geschmack insoweit, dass der typische Geschmack sich verringerte (fade) und sich Bitterkeit und Nachgeschmack erhöhten. Auf der anderen Seite hatten Höhe und Termin der S-Düngung keinen Einfluss auf die sensorischen Eigenschaften. Die Sorten "Akteur" und "Inspiration" zeigten die gleiche Tendenz für alle Parameter.

Einfluss einer variierten Schwefeldüngung auf die Aktivität und Genexpression der Glutathionreduktase zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien von Weizen

Christian Zörb, Astrid Grün, Dorothee Steinfurth, Christoph-M. Geilfus und Karl H. Mühling

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde. E-mail: czoerb@plantnutrition.uni-kiel.de

Einleitung

Die Problematik von zunehmend auftretendem Schwefelmangel bei Weizen mit entsprechenden Konsequenzen auf Erträge und Verarbeitungsqualität hat im vergangenen Jahrzehnt zunehmend an Bedeutung gewonnen (Zörb et al. 2010). In diesem Zusammenhang dient die Glutathion-Konzentration als guter Indikator für den Grad der Schwefelversorgung. Glutathion hat in seiner reduzierten Form als GSH zahlreiche Schlüsselfunktionen im pflanzlichen Stoffwechsel. Das Schlüsselenzym, welches mittels $\text{NADPH}+\text{H}^+$ oxidiertes Glutathiondisulfid (GSSG) zu GSH regeneriert, ist die Glutathionreduktase (GR).

In einem Gefäßversuch wurden die Auswirkungen eines variierten Schwefelangebotes auf die Aktivität und die Expression der GR der Qualitätsweizensorte Türkis untersucht.

Material und Methoden

Die Behandlungen mit jeweils vier Wiederholungen umfassten drei unterschiedliche S-Düngungsniveaus von 0 g S, 0.1 g S und 0.2 g S pro Mitscherlichgefäß. Die Bestimmung der GR-Aktivität sowie die Quantifizierung der cytosolischen GR erfolgte für das Fahnenblatt, die restlichen Blätter und die Ähre zum Zeitpunkt des Ährenschiebens, der Milchreife und zur Teigreife.

Ergebnisse und Diskussion

Bei S-Mangel war die GR-Aktivität im Fahnenblatt sowie in der Ähre und im milchreifen Korn signifikant reduziert, sie stieg mit steigendem S-Angebot in Blättern inklusive des Fahnenblattes besonders intensiv an. Ein signifikanter Einfluss des variierten S-Angebots auf die GR-Expression zeigte sich nur im Fahnenblatt zum Zeitpunkt des Ährenschiebens, nicht aber im milchreifen Korn.

Literatur

Zörb C., Grover C., Steinfurth D, Mühling K.H. 2010: Quantitative proteome analysis of wheat gluten as influenced by N and S nutrition. Plant Soil 327:225-234.

Einfluss einer S-Düngung auf Ertrags- und Qualitätsparameter von zwei Weizensorten im Feldversuch unter besonderer Berücksichtigung von S-Metaboliten

Richard Betzinger¹, Katja Witzel¹, Gerhard Feger², Simone Seling³ und Karl H. Mühling¹

¹Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität Kiel; ²K+S Kali GmbH, Kassel; ³Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Detmold. E-Mail: khmuehling@plantnutrition.uni-kiel.de

Einleitung

Weizen ist neben Reis und Mais die weltweit am häufigsten angebaute Kulturpflanze und stellt somit für eine große Bevölkerung die Nahrungsgrundlage dar. Neben der genetischen Ausstattung der Weizensorte wird der Ertrag sowie die Backqualität stark durch eine Schwefeldüngung beeinflusst. In dieser Arbeit wurde untersucht, inwieweit sich ein geändertes Schwefelangebot und eine Schwefelspättdüngung auf Ertragsparameter, die Backqualität und S-haltige Metabolite von zwei Weizensorten mit unterschiedlichem Backpotential auswirken.

Material und Methoden

In einem Feldversuch wurden die Sorten Akteur (E-Weizen) und Inspiration (B-Weizen) jeweils in vier verschiedenen Schwefeldüngungsvarianten, inklusive einer Spättdüngungsvariante angebaut. Entwicklungsspezifische Änderungen zwischen milchreifen und vollreifen Körnern wurden für Schwefel-, Sulfat- und Glutathiongehalte ermittelt. Die Ertragsparameter wurden direkt während der Ernte erfasst, während der Rohproteingehalt von vollreifen Körnern erfasst wurde. Zur Backqualitätsermittlung wurde der Sedimentationswert sowie die Fallzahl als indirekte Methode verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Es konnte gezeigt werden, dass eine gesteigerte Schwefeldüngung signifikanten Einfluss auf die Konzentrationen schwefelhaltiger Metabolite besitzt. Der Ertrag sowie die Backqualität konnten durch eine Schwefeldüngung gesteigert werden, wobei die Schwefelspättdüngung keinen signifikanten Einfluss besaß. Sortenspezifische Erwartungen bezüglich agronomischer Parameter konnten bestätigt werden. Der Gesamtglutathiongehalt konnte durch eine S-Düngung gesteigert, die Eignung als indirekter Backqualitätsparameter allerdings nicht bestätigt werden.

Literatur

- Steinfurth D. 2008: Einfluss der S- und N-Spättdüngung auf Inhaltsstoffe und Backqualität zweier A-Weizensorten mit unterschiedlichem Backpotenzial. Masterarbeit am Institut für Pflanzenernährung, Justus-Liebig-Institut Gießen.
- Zhao F.J., Hawkesford M.J., McGrath S.P. 1998: Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *J. Cereal Sci.* 30:1-17.
- Zörb C., Steinfurth D., Seling S., Langenkämpfer G., Koehler P., Wieser H., Lindhauer M.G., Mühling K.H. 2009: Quantitative protein composition and baking quality of winter wheat as affected by late sulfur fertilization. *J. Agric. Food Chem.* 57:3877-3885.

Ertragsverhalten und Qualität von mediterranen und mitteleuropäischen Weizensorten unter verschiedenen klimatischen Bedingungen

Osman Ereku¹, Ines Bräsemann², Klaus-Peter Götz² und Helmut Herzog²

¹Menderes-Universität, Aydin, Türkei; ²Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, FG Pflanzenbau der Tropen & Subtropen. E-Mail: helmut.herzog@agrar.hu-berlin.de

Einleitung

Weizenanbau im mediterranen Klima leidet häufig unter hohen Temperaturen und Trockenheit am Ende der Anbausaison. Dies trifft besonders für die Türkei zu, in der vermutlich entsprechend angepasste Sorten zu finden sind, die aber aufgrund fehlender Qualitätsstandards für Brotweizen nicht klassifiziert sind. Die Produktion in Mitteleuropa wird in Zukunft auch mit höheren Temperaturen und weniger bzw. unregelmäßigeren Niederschlägen konfrontiert sein. Daher wurden die Ertragsstruktur sowie verschiedene Qualitätsparameter von 2 mediterranen und 2 mitteleuropäischen Sorten in beiden Klimata untersucht.

Material und Methoden

In 2-jährigen Feldversuchen wurden 2 mediterrane, nicht klassifizierte Weizensorten (*cvs. Golia* und *Gönen*), die in der Türkei weit verbreitet sind, und 2 mitteleuropäische Sorten (*cvs. Monsun* und *Taifun A-* bzw. *E-Standard*) jeweils nahe Aydin (West-Türkei, 38°N, 28°O) auf einem alluvialen schluffigen Lehm vom 14. Dez. bzw. 29. Nov. bis 4. bzw. 9. Juni (171d in 2006/2007; 192d in 2007/8) und in einem Feldversuch in Berlin (53°N, 13°O) auf einem eiszeitlichen Geschiebe (Luvisol, lehmiger Sand) vom 25. März bis 29. Juli 2010 (125d mit nur 160 mm Niederschlag) angebaut.

Ergebnisse und Diskussion

Der *Ertrag* (Tab. 1A) zeigte in Aydin eine deutliche Überlegenheit der Sorte *Golia*, welche in einer Anbausaison signifikant bzw. in der anderen tendenziell besser als *Gönen* abschnitt, wobei letztere sich als ähnlich gut bzw. erheblich besser als *Monsun* erwies. *Taifun* erbrachte in beiden Jahren eindeutig die geringsten Erträge. In Berlin verhielten sich *Golia* und *Monsun* ertraglich ähnlich gut, aber eindeutig besser als *Taifun* und *Gönen*, so dass hinsichtlich des Ertrages eine deutliche Interaktion zwischen Sorten und Orten bestand.

Bezüglich der *Ertragsstruktur* waren die mittleren Ährendichten in den beiden Jahren in Aydin als auch im Verhältnis zu Berlin unterschiedlich (517, 490, und 455 $\text{Ä}/\text{m}^2$), wobei die höheren Werte in Aydin mit kühleren Temperaturen und geringeren Tageslängen gegen Ende der vegetativen Phase zu erklären wären. Die Ährendichten der Sorten unterschieden sich in Aydin beträchtlich, wobei *Golia* die höchste Anzahl (530 $\text{Ä}/\text{m}^2$), *Taifun* die niedrigste (476) und die beiden übrigen mittlere Werte aufwiesen. In Berlin dagegen zeigten *Golia* bzw. *Monsun* hohe und *Gönen* bzw. *Taifun* eindeutig niedrigere Ährendichten.

Die Anzahl der Körner/Ähre ließ generell keine signifikanten Sortenunterschiede erkennen, war jedoch in Aydin, vermutlich aufgrund höherer Temperaturen während der generativen Phase, beträchtlich niedriger als in Berlin (19.7, 19.3, und 30.8).

Die Einzelkorngewichte (EKG) lagen in beiden Feldversuchen in Aydin deutlich über denen in Berlin (28.3, 27.4 und 24.3 mg), was mit den ungewöhnlich hohen Temperaturen sowie der absoluten Trockenheit während der reproduktiven Phase in Berlin zusammenhängen dürfte und zu Interaktionen Sorten x Orte führte. In Aydin bildeten *Golia* und *Gönen* die schwersten Körner, *Monsoon* mittlere und *Taifun* die leichtesten aus, während in Berlin *Golia* und *Monsoon* die höchsten EKG, *Taifun* nur wenig geringere, dagegen *Gönen* signifikant niedrigere aufwies.

Tab. 1: (A) Kornertrag [g m⁻² bei 14 % Feuchte] und **(B)** Rohproteingehalt von 4 Sorten nahe Aydin (2 Jahren) und Berlin (1Jahr). (Mittelwerte mit verschiedenen Indizes (a,b: Sorten; A,B: Jahre) unterscheiden sich signifikant bei P = 0.05).

Sorten	Aydin			Berlin 2010
	2006/2007	2007/2008	Mittel	
A				
<i>Monsoon</i>	287	266	262 ^{ab}	397 ^a
<i>Taifun</i>	248	219	234 ^b	274 ^b
<i>Golia</i>	331	299	315 ^a	392 ^a
<i>Gönen</i>	281	281	281 ^{ab}	293 ^b
Mittel	287 B	259 C	I = n.s.*	339 A
B				
<i>Monsoon</i>	14.8	14.8	14.8 ^{bc}	15.6 ^b
<i>Taifun</i>	17.2	16.2	16.7 ^a	17.4 ^a
<i>Golia</i>	15.7	15.3	15.5 ^b	17.1 ^{ab}
<i>Gönen</i>	14.4	14.9	14.7 ^c	18,3 ^a
Mittel	15.6 B	15.3 B	I = n.s.*	17.1A

*I = n.s., Interaktion nicht signifikant

Im Hinblick auf die *Qualität* ergaben sich in Berlin höhere Rohproteingehalte der Samen (RP) als in Aydin (Tab. 1B), was auf die gleichen Gründe wie für die geringeren EKG dort zurückzuführen sein dürfte. Obgleich *Taifun* als ein E-Weizen den höchsten RP-Gehalt in Aydin in beiden Jahren entwickelte, hatte *Golia* den zweithöchsten Gehalt, während *Monsoon* (A-Weizen) und *Gönen* die niedrigsten Gehalte aufwiesen. In Berlin andererseits hatte *Gönen* die höchsten RP-Gehalte, dicht gefolgt von *Taifun* und *Golia*, wohingegen bei *Monsoon* die niedrigsten beobachtet wurden. Im Gegensatz hierzu erwiesen sich der Feuchtglutengehalt und der Sedimentationswert als unabhängig von Jahren und Orten mit der erwarteten Rangfolge: *Taifun* > *Monsoon* ≥ *Golia* ~ *Gönen*.

Die mitteleuropäischen Sorten bildeten unter beiden Klimaten die relevanten Qualitätsmerkmale, Feuchtglutengehalt und Sedimentationswert, erwartungsgemäß besser als die mediterranen aus, nicht jedoch den RP-Gehalt unter türkischen Bedingungen, unter welchen auch ihr Ertragspotential nicht voll ausgeschöpft wurde. Andererseits produzierten die mediterranen Sorten zwar höchste Erträge unter türkischen Verhältnissen, aber übertrafen die mitteleuropäischen nicht eindeutig in Berlin, was sich in einigen Gefäßversuchen in Berlin bestätigte. Insofern muss die Züchtung für die Türkei das Ertragspotential der mediterranen Sorten mit den relevanten Qualitätsmerkmalen der mitteleuropäischen Genotypen kombinieren.

Bestimmung des Zuckergehaltes von Zuckerrüben mit Hilfe der Nahinfrarotspektroskopie

Frank Höppner¹ und Christa Hoffmann²

¹JKI, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig; ²Institut für Zuckerrübenforschung an der Universität Göttingen. E-Mail: hoffmann@ifz-goettingen.de

Einleitung

Zur Ermittlung des bereinigten Zuckergehaltes von Zuckerrüben müssen mit gewissem Aufwand der Zuckergehalt sowie Nichtzuckerstoffe (Melassebildner) bestimmt werden. Um insbesondere große Probenserien zeitnah und kostengünstig auf Zuckergehalt zu untersuchen, könnte sich die Nahinfrarotspektroskopie als Schnellmethode anbieten.

Material und Methoden

Es wurde eingefrorener Zuckerrübenbrei (ca. 250 g) aus verschiedenen Zuckerrübenversuchen (Variation: Sorte, N-Düngung, Standort) der Jahre 2008 bis 2010 verwendet, welcher polarimetrisch auf den Zuckergehalt untersucht worden ist. Die Aufnahme der Spektren von insgesamt 101 Proben erfolgte mit einem Laborspektrometer der Firma Bruker MPA im Spektralbereich von 1100 bis 2500 nm. Der aufgetaute Rübenbrei wurde dabei in Bechergläsern mit Quarzglasboden jeweils bei Drehung durch den Glasboden in 4-facher Neubefüllung abgescannt. Anschließend wurden die Spektren einer Probe gemittelt und in ein zufälliges Kalibrations- (77 Proben) und Validationsset (21 Proben) geteilt. Die Kalibrierungen wurden mit dem Chemometrie-Softwarepaket WinISI II vorgenommen, die Schätzfunktionen mit der Modified Partial Least Squares Regression (mPLSR) berechnet (Shenk und Westerhaus 1991).

Ergebnisse und Diskussion

Betrachtet man die Kalibration für den Zuckergehalt, so liegt der Fehler der Kreuzvalidation mit 0,43 % recht niedrig und der RPD-Wert als Urteil für die Vorhersageleistung des Kalibriermodells nach Williams und Sobering (1996) in einem zufriedenstellenden Bereich (Tab. 1). Durch ein hohes Bestimmtheitsmaß wird das Ergebnis bekräftigt. Auch das Validationsergebnis unterscheidet sich nicht wesentlich von der Kalibration. Möglicherweise kann die Güte der Kalibrierung durch weitere Hinzunahme von Kalibrationsproben verbessert werden.

Tab. 1: Kalibrations- und Validationsstatistik des Zuckergehaltes von Zuckerrüben

	N	Min (%)	Max (%)	Mittel (%)	RMSECV (%)	RMSEP (%)	bias (%)	R ²	RPD
Kalibrationsset	77	12,70	19,69	17,21	0,43			0,93	3,88
Validationsset	21	13,50	18,76	17,22		0,53	0,02	0,87	3,12

Literatur

- Shenk, J., M. Westerhaus 1991: Population structuring of near infrared spectra and modified partial least squares regression. *Crop Sci.* 31/1991:1548-1555.
- Williams, P.C., D.C. Sobering 1996: How do we do it: a brief summary of the methods we use in developing near infrared calibrations. In: *Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves*, NIR Publications, Chichester, 185-188.

Bestimmung von Glucosinolaten und Isothiocyanaten in *Brassica pekinensis* nach steigendem S-Angebot – Einfluss auf die Nrf2-Transaktivierung in HT-29 Zellen

Caroline A. C. Heyer¹, Michael Reichelt², Katja Witzel¹, Anika E. Wagner³, Gerald Rimbach³ und Karl H. Mühling¹

¹Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Kiel; ²Max-Planck-Institut für Chemische Ökologie, Jena; ³Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde, Kiel. E-Mail: khmuehling@plantnutrition.uni-kiel.de

Einleitung

Die sekundären Pflanzeninhaltsstoffe Glucosinolate (GLS) und deren Hydrolyseprodukte Isothiocyanate (ITC) sind vorwiegend in *Brassicaceae* vertreten. Schwefel (S) und Stickstoff (N) sind bedeutende Bestandteile und stehen zur Diskussion, mittels steigender Düngung Gehalt und Muster der GLS und ITC zu beeinflussen. Die Hydrolyseprodukte (GLS-HP) ITC, Nitrile und Thiocyanate sind insbesondere für ihre antioxidative Wirkung bekannt, welche mittels der Aktivität des Transkriptionsfaktors Nrf2 und der daraus resultierenden Genexpression antioxidativer Enzyme (bspw. Glutathion-S-Transferase) erfasst werden kann.

Material und Methoden

Im Versuch wurde Chinakohl (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis* Yuki) mit steigender S- (0; 0,01; 0,03; 0,06; 0,1; 0,3; 0,6 g/Gef.) und konstanter N-Düngung (1,52 g/Gef.) in Mitscherlich-Gefäßen herangezogen. S- und N-Gehalt wurden mittels Elementaranalyse, Sulfat- und Nitratgehalt mittels Ionenchromatographie sowie Gehalt und Muster der GLS und GLS-HP mittels HPLC und GC-MS/MS ermittelt. Für die Analyse der antioxidativen Wirkung wurde ein Reporterassay durchgeführt. Die Colonkarzinomzellen (HT-29) wurden mit den Plasmiden pGI-GPx_ARE und pRL-TK transfiziert, das Pflanzenmaterial aufgetragen und die Nrf2-Transaktivierung erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Steigende S-Ernährung resultierte in einer signifikanten Steigerung der FM, N, S, Nitrat, Sulfat und des GLS-Gehaltes (0,186 zu 15,413 $\mu\text{mol/g TM}$). Der ITC-Gehalt stieg ebenfalls an (0,002 zu 0,712 $\mu\text{mol/g TM}$). Das GLS-Muster veränderte sich von indolischen GLS (Neoglucobrassicin, Glucobrassicin) und niedrigem GLS-HP-Gehalt in S-limitierten Pflanzen hin zu vorwiegend indolischen GLS (Glucobrassicin), mit steigender Tendenz aliphatischer GLS (Glucobrassicinapin, Gluconapin) und GLS-HP (4-Pentenyl-ITC, 3-Butenyl-ITC, 2-Methyl-propyl-ITC). Das Luciferase Reporterassay deckte eine teils signifikant gesteigerte Nrf2-Transaktivierung auf. Es steht noch zur Diskussion, ob und inwiefern das Einwirken weiterer sekundärer Inhaltsstoffe des Chinakohls die Transaktivierung beeinflusst.

Evaluierung von Linsensorten aus Genbankmaterial – pflanzenbauliche und verbraucherrelevante Eigenschaften

Stefan Pflaum¹, Lukas Fierbeck¹, Eva Krauth¹, Woldemar Mammel², Carolin Zimmermann¹, Jan Sneyd¹, Roman Lenz¹ und Carola Pekrun¹

¹Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU), Nürtingen; ²Ökologische Erzeugergemeinschaft „Alb-Leisa“, Lauterach. E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

Problemstellung

Bis ins 20. Jahrhundert wurden in Baden-Württemberg Linsen züchterisch bearbeitet. Dem Wegfall des Linsenbaus, der sich Mitte des letzten Jahrhunderts in Deutschland vollzog, ging ein Verlust regionaler Sorten einher. Drei historische Sorten („Späths Alblinse klein“, „Späths Alblinse groß“, „Späths Hellerlinse“) konnten aus den Beständen zweier Genbanken (Vavilov-Institut St. Petersburg, IPK Gatersleben) bezogen werden. Um ihre agronomischen Eigenschaften unter den heutigen Anbaubedingungen des ökologischen Landbaus zu prüfen, wurden diese in einem Gemeinschaftsprojekt der ökologischen Erzeugergemeinschaft „Alb-Leisa“ und der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen Geislingen (HfWU) einem Sortenscreening (2008), Sortenversuchen an zwei Standorten (Tachenhausen 2009-2010, Schwäbische Alb 2010) sowie einem Koch- und Geschmackstest (2010) unterzogen.

Ergebnisse und Diskussion

Vergleiche der historischen Linsensorten fanden mit der in der Erzeugergemeinschaft bisher überwiegend angebauten französischen Linsensorte „Anicia“ statt. Am Standort Tachenhausen (tiefgründiger Lößlehm) übertrafen die Erträge der Vergleichssorten „Anicia“ die Erträge der historischen Linsensorten. Sehr gute Ergebnisse brachte auch die „Schwarze Linse“ (deutscher Genotyp aus dem Bestand des IPK Gatersleben). Für den Standort Schwäbische Alb ergab sich ein konträres Ergebnis. Hier erzielten die historischen Linsensorten „Späths Alblinse klein“ und „Späths Alblinse groß“ die höchsten Erträge. Die Standfestigkeit der Sorten „Späths Alblinse klein“ und „Späths Alblinse groß“ zeigte sich am Standort Tachenhausen in allen Jahren auf einem mit der Sorte „Anicia“, vergleichbaren Niveau. Dagegen fand sich im Jahr 2010 am Standort Schwäbische Alb eine, gegenüber der Sorte „Anicia“, ausgeprägtere Standfestigkeit bei den historischen Linsensorten. Zusätzlich konnten insbesondere für die Sorte „Späths Alblinse klein“ Vorteile in anderen agronomischen Parametern festgestellt werden (Hülsenabwerfen vor der Ernte, Platzfestigkeit der Hülsen, Abreife). Die besten Ergebnisse der Linsenverkostung im Hinblick auf Geschmack, Aussehen und Konsistenz fanden sich bei der „Schwarzen Linse“. Für die Sorte „Späths Alblinse klein“ ergaben sich ebenfalls gute Ergebnisse, welche die Bewertungen der Sorte „Anicia“ teilweise deutlich übertrafen. Die Ergebnisse der Untersuchungen deuten darauf hin, dass die historische Linsensorte „Späths Alblinse klein“ am Standort Schwäbische Alb Vorteile gegenüber der Vergleichssorte „Anicia“ bietet, die Verbraucher der Sorte mit einem generellen Interesse gegenüberstehen und sie somit anbauwürdig erscheint.

Koexistenz bei Mais: Wirkung einer Mantelsaat in Abhängigkeit vom Feldabstand

Gerhard Rühl und Maren Langhof

Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde/Julius Kühn-Institut, Braunschweig, E-Mail: gerhard.ruehl@jki.bund.de

Einleitung

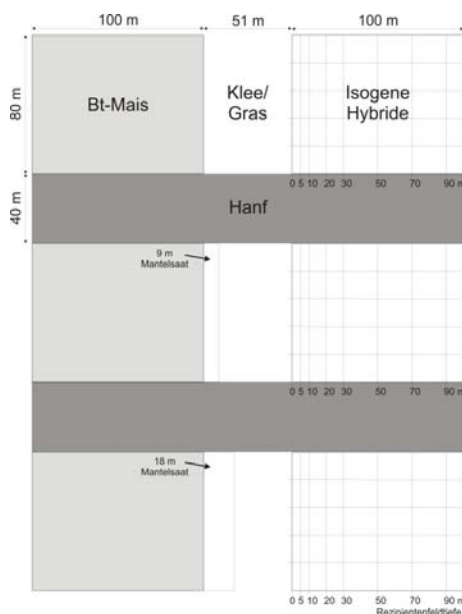
In den meisten Mitgliedstaaten der EU ist ein Mindestabstand die Hauptmaßnahme zur Verringerung der Auskreuzung aufgrund pollenvermittelten Genflusses bei gentechnisch verändertem (GV) Mais. Insbesondere für kleinstrukturierte Agrarräume sind jedoch zusätzliche Maßnahmen wünschenswert. Daher haben wir geprüft, ob die Anlage einer Mantelsaat aus konventionellem Mais am Feldrand des GV-Maisschlages bei unterschiedlichen Feldabständen die Auskreuzung zusätzlich reduzieren und ggf. einen Teil des Mindestabstandes kompensieren kann.

Material und Methoden

Im Jahr 2008 wurden an drei Standorten praxisnahe Feldversuche zur Prüfung einer 9 bzw. 18 m tiefen Mantelsaat bei einem Feldabstand von 51 m angelegt (Abb. 1). Im Jahr 2010 wurde die gleiche Versuchsanlage mit einem Feldabstand von 12 m bzw. 6 m wiederholt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Anlage einer 9 bzw. 18 m tiefen Mantelsaat in Verbindung mit einem Feldabstand von 51 m zeigte keine Wirkung auf die Auskreuzungsrate (Rühl et al. 2011). Eine Wiederholung des Versuchs mit geringeren Feldabständen führte nur bei einem Abstand von 6 m, nicht jedoch bei einem Abstand von 12 m zu einer Verringerung des pollenvermittelten Genflusses. Das Ausmaß der Reduzierung lässt sich jedoch nicht mit der getrennten Randstreifenernte des dem GV-Maisschlag zugewandten Feldrandes vergleichen (Langhof et al. 2010).



Literatur

Langhof, M., B. Hommel, A. Hüsken, C. Njontie, J. Schiemann, P. Wehling, R. Wilhelm, G. Rühl 2010: Coexistence in maize: Isolation distance in dependence on non-GM field depth and separate edge harvest. *Crop Sci.* 50:1496-1508.

Rühl, G., B. Hommel, A. Hüsken, K. Mastel, J. Schiemann, P. Wehling, R. Wilhelm, M. Langhof 2011: Coexistence in maize: Effect on pollen-mediated gene flow by conventional maize border rows edging genetically modified maize fields. *Crop Sci.* 51 (in press).

Abb. 1: Experimentelles Versuchsdesign im Jahr 2008

Koexistenz bei Raps: Auskreuzung aus multiplen Pollenquellen in einen zentralen Rezipientenschlag

Antje Dietz-Pfeilstetter¹, Maren Langhof² und Gerhard Rühl²

¹Institut für Sicherheit in der Gentechnik bei Pflanzen/Julius Kühn-Institut, Braunschweig; ²Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Julius Kühn-Institut, Braunschweig. E-Mail: antje.dietz@jki.bund.de

Einleitung

Während die Auskreuzung aus einem Donor- in einen benachbarten Rezipientenschlag bei Raps im Rahmen von Koexistenzstudien mit gentechnisch verändertem Raps schon vielfach experimentell untersucht worden ist, fehlen bisher Studien zur Auskreuzung aus multiplen Pollenquellen. Die vorliegende Studie stellt einen Beitrag zum Schließen dieser Wissenslücke dar.

Material und Methoden

An den Standorten Sickte und Völkenrode wurden 2006 zwei identische Versuchsanlagen etabliert, in denen ein zentraler 30 m x 30 m großer Rapsschlag (00-Sorte Talent) von vier ebenfalls 30 m x 30 m großen Donorschlägen (Erucarapssorte Maruca) in einem Abstand von jeweils 10 m umgeben war. Für die Auswertung wurde der Rezipientenschlag in 2 m x 2 m große Ernteparzellen unterteilt und der Erucasäuregehalt dieser Ernteproben mittels GC analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die unter Berücksichtigung des Erucasäureanteils im Talentsaatgut und des Erucasäuregehalts der F1-Hybriden berechneten Auskreuzungsraten - gemittelt über den gesamten Rezipientenschlag - betrugen 2,7 % (Sickte) bzw. 2,4 % (Völkenrode). In den äußeren Ernteparzellen erreichten die Auskreuzungsraten an beiden Standorten Werte zwischen 1,4 und 6,6 %, die im Feldinneren auf Werte zwischen 15 und 2,7 % abfielen (Mittelwerte siehe Tab. 1). Diese Werte liegen deutlich über den bisher in der Literatur beschriebenen (Hüsken und Dietz-Pfeilstetter 2007) und sind vermutlich auf den erhöhten Pollendruck aus den vier Donorfeldern und die geringen Feldgrößen zurückzuführen. Ein Windeinfluss konnte an keinem Standort festgestellt werden.

Tab. 1: Mittlere Auskreuzungsraten (%) in den Rezipientenschlägen

	Feldrand		Feldmitte		gesamt	
	Mittel	SD	Mittel	SD	Mittel	SD
Sickte	3.5	1.4	1.8	0.2	2.7	1.2
Völkenrode	3.1	1.2	1.9	0.5	2.4	1.2

SD Standardabweichung

Literatur

Hüsken, A., Dietz-Pfeilstetter, A. 2007: Pollen-mediated intraspecific gene flow from herbicide resistant oilseed rape (*Brassica napus* L.) Transgenic Res 16:557-569.

Einfluss der Saatgutbeizung auf Dormanz bei Winterraps

Joel Kuon, Ernst Albrecht Weber, Sabine Gruber und Wilhelm Claupein

Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Stuttgart. E-Mail: Ernst.Albrecht.Weber@uni-hohenheim.de

Einleitung

Immer wieder berichten Landwirte von unbefriedigenden Feldaufgängen bei Raps (*Brassica napus* L.) trotz hoher Keimfähigkeit des Saatguts. Rapssamen können unter bestimmten Umweltbedingungen eine Samenruhe (sekundäre Dormanz) ausbilden. Die Neigung zu sekundärer Dormanz ist genotypisch bedingt, wird aber ebenso durch exogene Faktoren beeinflusst. Beizmittel könnten somit durchaus Einfluss auf die Dormanz von gesäten Rapssamen nehmen und den Feldaufgang beeinflussen. In einem Laborversuch wurde der Einfluss gängiger Rapsbeizmittel auf die Dormanzausbildung verschiedener Winterrapsorten geprüft.

Material und Methoden

Untersucht wurden die Sorten Smart, Express, Lilian, Charly und Ladoga aus der Ernte 2010. Als Beizmittel wurden Elado und Chinook als fertige Beizen sowie Dimethomorph (DMM) und DMM+Metconazol (MCZ) eingesetzt. Die Dormanz wurde nach Weber et al. (2010) bestimmt. Die Beizmittel wurden der PEG-Lösung während der künstlichen Dormanzinduktion in der doppelten vom Hersteller für die Beizung empfohlenen Konzentration zugesetzt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Beizmittel beeinflussten die Dormanz in Abhängigkeit von der Sorte unterschiedlich. Während die Dormanzwerte der Sorte Smart bei DMM+MCZ-Behandlung im Vergleich zur Kontrolle um 2/3 sanken, erhöhte dieses Beizgemisch die Dormanz der gering dormanten Sorten Express und Charly signifikant (Tab. 1). DMM führte bei Smart zu einer signifikanten Abnahme der Dormanz, jedoch zu keinen signifikanten Effekten bei anderen Sorten. Die in der Praxis beobachteten geringen Feldaufgänge sind nicht eindeutig einer veränderten Dormanzinduktion als Effekt von Beizmitteln zuzuschreiben, möglicherweise aber einer Dormanzinduktion per se. Die Wechselwirkungen von Beizmittel und Sorte lassen derzeit keine generellen Aussagen zu.

Tab. 1: Dormanz (% dormante Samen) in Abhängigkeit von Rapssorte und Behandlung mit verschiedenen Beizen (Varianten mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($\alpha=0,05$, t-Test)).

Beize/Sorte	Smart	Express	Lilian	Charly	Ladoga
	Dormanz in %				
Kontrolle	61,1 j	2,0 a	28,5 cdefg	0,8 a	25,1 cdef
Chinook	52,8 ij	2,0 a	38,4 gh	1,1 a	31,2 efgh
DMM	42,7 hi	2,2 a	18,5 c	2,6 a	33,8 fgh
Elado	55,5 j	1,6 a	24,8 cdef	0,8 a	29,6 defg
DMM+MCZ	20,1 cd	8,8 b	22,1 cde	8,5 b	29,0 defg

Literatur

Weber, E.A., K. Frick, S. Gruber, W. Claupein 2010: Research and development towards a laboratory method for testing the genotypic predisposition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) to secondary dormancy. *Seed Science & Technology* 38:298-310.

Einsatz dormanzbrechender Substanzen zur Reduzierung der Dormanz bei Winterraps (*Brassica napus*)

Samuel Gesell, Ernst Albrecht Weber, Sabine Gruber und Wilhelm Claupein

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim. E-Mail: Ernst.Albrecht.Weber@uni-hohenheim.de

Einleitung

Ausfallraps, der dormant wird, kann im Boden über längere Zeit überdauern und später als Unkrautraps auflaufen. Probleme mit Durchwuchsraps könnten minimiert werden, wenn es gelänge, die Dormanzentwicklung zu reduzieren. Eine Möglichkeit wäre die Applikation dormanzbrechender Substanzen auf die Rapsstoppel zur Senkung des Überdauerungspotenzials der Ausfallrapssamen. Dazu wurde in einem Laborversuch der Einfluss von Kaliumnitrat(KNO₃)-Lösung, die Keimruhe brechen kann, auf die Dormanzinduktion bei verschiedenen Winterrapsorten unter Trockenstress und Dunkelheit überprüft.

Material und Methoden

Zur Prüfung wurden die Winterrapsorten Smart (Ernte 2008 und 2010), Lilian (2010), Express (2010) und Charly (2010) verwendet. Der Dormanzschnelltest nach Weber et al. (2010) wurde für die KNO₃-Behandlung modifiziert, indem das zur Trockenstresserzeugung verwendete Polyethylenglycol nicht in dest. H₂O, wie bei der Kontrolle, sondern in 0,2 %iger bzw. 0,4 %iger KNO₃-Lösung gelöst wurde.

Ergebnisse und Diskussion

Bei den Winterrapsorten Smart und Lilian (2010), die in der Kontrolle Dormanzwerte zwischen 18 % und 39 % aufwiesen, führte bereits eine Behandlung mit 0,2 %iger KNO₃-Lösung zu einer signifikanten Senkung der Dormanz auf unter 3 %. Die Dormanz der ohnehin gering dormanten Sorten Express und Charly hingegen blieben von der KNO₃-Behandlung unbeeinflusst.

Tab. 1: Dormanz (% dormante Samen) bei Winterraps in Abhängigkeit von der Sorte und der KNO₃-Behandlung. Varianten mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($\alpha=0,05$; t-Test).

	Smart 2010	Smart 2008	Lilian Dormanz (%)	Express	Charly
Kontrolle	38,9 e	18,5 d	22,6 d	0,8 ab	0,7 ab
KNO ₃ 0,2 %	2,9 c	1,1 ab	1,1 abc	0,7 a	0,8 ab
KNO ₃ 0,4 %	1,7 bc	1,1 abc	0,8 ab	0,8 ab	0,8 ab

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten deutlich, dass die Dormanzinduktion bei höher dormanten Rapsorten stark reduziert werden konnte, wenn die Dormanzinduktion der Samen in einem KNO₃-haltigen Milieu stattfand. Inwiefern die Applikation von N-Düngemitteln auf die Rapsstoppel unmittelbar nach dem Rapsdrusch eine praktikable Maßnahme zur Reduzierung der Überdauerungsfähigkeit der Ausfallrapssamen sein könnte, muss in weiteren Feldversuchen geprüft werden.

Literatur

Weber, E.A., K. Frick, S. Gruber, W. Claupein 2010: Research and development towards a laboratory method for testing the genotypic predisposition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) to secondary dormancy. Seed Science & Technology 38:298-310.

Fungal infection and its control in anise (*Pimpinella anisum* L.) results of two field experiments

Habib Ullah and Bernd Honermeier

Institute of Agronomy and Plant Breeding I, Justus-Liebig-University Gießen. E-Mail: Habib.Ullah@agr.ar.uni-giessen.de

Introduction

Anise (*Pimpinella anisum* L.) is an annual spice and medicinal plant belonging to the family of *Apiaceae*. Botanically, the seeds are defined as fruits containing around 1.5 to 5.0% essential oil mainly composed of volatile phenylpropanoid like *trans*-anethole with more than 90% (Tabanca *et al.* 2005). Today, anise seeds are an important natural raw material which is used for pharmaceuticals, perfumery, food and cosmetic industries (Ross, 2001). Aniseed plants can be infected by the fungal pathogen *Cercospora malkoffii*. The symptoms are characterized by cylindrical light brown spots with dark veins which can be found on leaves, stems and flowers. The infection starts at the lower parts of the plants at the underside of the leaves. The seeds get dark color which comes from stomata of the fungus. The purpose of the present research was to evaluate the efficacy of various fungicides against the fungal infection under the ecological conditions of (Hessen) in Germany.

Materials and Methods

The field experiments were carried out in 2009 and 2010 at the research station in Groß-Gerau (49°45'N and 8°29'E, 90.7 m above sea level, sandy soil, mean air temperature: 9.4°C, mean precipitation: 590 mm/year). The experiments were designed as RCBD with four replications. Two cultivars Enza Zaden and Pharmasaat were planted with seed rate of 12 kg/ha in 1.5 x 7.0 m² plots with row spacing of 18.7 cm. Five different fungicides were used: Folpet + Metalaxyl-M (2 kg/ha), Azoxystrobin + Difenoconazol (2x1.0 L/ha), Mancozeb+ Diemethomorph (2 kg/ha), Propamocarp (3 L/ha), Fosetyl (3 kg/ha) which were applied at different growth stages. After germination of anise 40 kg N/ha were applied in each year. The fungal disease severity on anise plants was recorded by grading 1-9 (1: without infection, 9: whole plants are infected). Visual fungal disease incidence was assessed for each plot fortnightly. The harvest was made by a combine harvester at the time of full ripeness of the fruits. Anise fruits were hydro-distilled for two hours using a distillatory apparatus of Neo-Clevenger. The essential oil was analyzed using a Varian CP-3800 gas chromatography equipped with flame ionization detector (GC-FID). A capillary column DB - 5 (30 m x 0.25 mm i.d. and 0.25 µm coating thickness) was used for the separation of individual components of essential oil.

Results and Discussion

Cultivars showed similar trend of planting densities in 2009, however higher germination was recorded by cv. Enza Zaden as compared with cv. Pharmasaat in 2010. Anise plants were infected by the fungal pathogen *Cercospora malkoffii* in a range from 3.8 to 7.3 and 4.0 to 6.0 (level) respectively in 2009 and 2010, which led to brown colored leaf spots. Higher fungal infection was assessed in 2009 as compared to 2010. The study shows that fungicide applications had significant impact on fruit yield of aniseed in both years. Fungicidal treatments Folpet +

Metalaxyl- M (no. 2) induced higher fruit yield of 10.1 dt/ha while significant lower fruit yield of 6.9 dt/ha was obtained by control in 2009. The tested cultivars had no pronounced affect regarding fruit yield in both seasons. On the other hand, in 2010 maximum fruit yield of 6.3 dt/ha was attained by application of Azoxystrobin + Difenconazol (3) which was significant higher in comparison with Propamocarp (5) which led to fruit yield of 3.5 dt/ha.

Table 1: Effect of different fungicides on fruit yield and *trans*-anethole of two cultivars of *Pimpinella anisum* L., Groß-Gerau 2009 and 2010

Fungicides	Groß-Gerau 2009						Groß-Gerau 2010					
	Fruit yield (dt/ha)			<i>Trans</i> -anethole (%)			Fruit yield (dt/ha)			<i>Trans</i> -anethole (%)		
	Cv1	Cv2	Means	Cv1	Cv2	Means	Cv1	Cv2	Means	Cv1	Cv2	Means
1	6.3	7.5	6.9	90.9	90.7	90.8	3.8	3.5	3.6	94.4	93.5	94.0
2	9.3	10.9	10.1	90.7	90.9	90.8	3.9	3.8	3.9	94.2	94.1	94.2
3	9.8	9.3	9.5	90.9	90.9	90.9	6.4	6.1	6.3	94.5	94.6	94.6
4	7.5	8.2	7.9	90.9	90.7	90.8	4.5	4.7	4.6	94.8	94.5	94.7
5	7.1	7.3	7.2	90.6	91.0	90.8	3.8	3.1	3.5	94.5	94.1	94.3
6	7.2	7.2	7.2	91.5	90.8	91.2	4.0	4.2	4.1	95.2	94.8	95.0
Means	7.9	8.4		90.9	90.8		4.4	4.2		94.6	94.3	
p Value	Fu: .000, Cv: 0.11, Fu x Cv: 0.39			Fu: 0.57, Cv: 0.60, Fu x Cv: 0.18			Fu: .000, Cv: 0.47, Fu x Cv, 0.85			Fu: 0.00, Cv: 0.01, Fu x Cv: 0.55		
LSD (0.05)	Fu: 1.1			NS			Fu: 0.75			Fu: 0.5, Cv: 0.01		

Fu: Fungicides, Cv: Cultivars, Cv1: Enza Zaden, Cv2: Pharmasaat, LSD: Least Significant Difference, 1: Control, 2: Folpet + Metalaxyl- M (2kg/ha), 3: Azoxystrobin + Difenconazol (2x1.0 L/ha), 4: Mancozeb+ Diemethomorph (2kg/ha), 5: Propamocarp (3 L/ha), 6: Fosetyl (3kg/ha).

Quantitative study showed that applied fungicides and used cultivars had no effect on the percentage of *trans*-anethole which varied from 90.7 to 91.0% in 2009. Opposite to that, applied fungicides and used cultivars induced significant differences regarding *trans*-anethole in 2010. In 2010 higher percentage of *trans*-anethole was observed in the essential oil of anise ranged from 93.5 to 95.2% in comparison with 2009. *Trans*-anethole percentage was lower in fruit samples of cv. Pharmasaat with 94.3% in comparison with cv. Enza Zaden 94.6%. Fungicidal treatments Fosetyl (6) induced higher percentage of *trans*-anethole (95.2%) while lower concentration of *trans*-anethole (93.5%) was obtained by control compared with the other treatments. Fosetyl (6) application showed pronounced affect with respect to *trans*-anethole in both years.

It can be concluded that a fungicide management with Azoxystrobin + Difenconazol can be an option to reduce the fungal infection with *Cercospora malkoffii* and to improve the fruit yield of aniseed under field conditions in Germany (Hessen).

References

- Ross, I.A. 2001: Medicinal Plants of the World: Chemical Constitutes, Traditional and Modern Medicinal Uses, Vol. 2. Humana press, Totowa, New Jersey:363-374.
- Tabanca, N., Demirci, B., Kirimer, N., Baser, K.H.C., Bedir, E., Khan, I.A., Wedge, D.E. 2005: Gas chromatographic - mass spectrometric analysis of essential oil from *Pimpinella aurea*, *Pimpinella corymbosa*, *Pimpinella peregrina* and *Pimpinella puberula* gathered from Eastern and Southern Turkey. J. Chromatogr. A 1097:192-198.

Drei-Komponenten-Sommernenggetreide – A. Erste Ergebnisse auf Bestandesebene

Reinhard Neugschwandtner und Hans-Peter Kaul

Universität für Bodenkultur Wien, Department für Kulturpflanzenwissenschaften, Abt. Pflanzenbau, Tulln, Österreich. E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at

Einleitung

Vorteile des Anbaues von Mischbeständen können in der besseren Nutzung von begrenzt verfügbaren Wachstumsfaktoren (Wasser, Nährstoffe und Licht) und der Abwehr von Schaderregern sowie der Minimierung von Schadefekten auf den Pflanzenbestand liegen (Aufhammer, 1999). Im Jahr 2009 wurden in Österreich 4.861 ha Sommernenggetreide angebaut (BMLFUW, 2010).

Material und Methoden

Der Versuch fand im Jahr 2010 auf den Versuchsfeldern der Saatzucht Edelhof (Niederösterreich, 600 m Seehöhe, mittlere Jahrestemperatur: 6,8 °C, mittlerer Jahresniederschlag: 610 mm; Boden: seichtgründige Braunerde aus lehmigem Sand, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,3$) statt. Die Sommergetreidearten Gerste (Bojos, 350 keimfähige Körner m^{-2}), Weizen (Michael, 400 kfK m^{-2}) und Hafer (Effektiv, 350 kfK m^{-2}) wurden in Reinsaat sowie in einem substitutiven Gemenge der drei Mischungspartner zu je einem Drittel der Aussaatstärke der Reinsaaten angebaut. Der Versuchsfaktor Stickstoff-Düngung umfasste folgende Stufen: 0, 60 und 120 kg N ha^{-1} (Nitramoncal, aufgeteilt in 2 gleichen Gaben). Die Aussaat erfolgte am 7. April 2010, die Handernte von Teilflächen am 11. August 2010. Die Ermittlung des Blattflächenindex erfolgte mithilfe des SunScan Canopy Analysis Systems. Der Land-Äquivalenzkoeffizient (Land equivalent ratio, LER) wurde gemäß Mead and Wiley (1980) berechnet:

$$\text{LER} = Y_{1,2}/Y_{1,1} + Y_{2,1}/Y_{2,2}$$

wobei $Y_{1,1}$ and $Y_{2,2}$ die Erträge der Arten 1 und 2 in der Monokultur und $Y_{1,2}$ und $Y_{2,1}$ die Erträge in der Mischung sind. Ergebnisse des ersten Versuchsjahres werden präsentiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die oberirdische Biomasse, Korn- und Strohertrag sowie der Ernte- und Blattflächenindex von Sommergetreide in Abhängigkeit vom Bestand und der N-Düngung sind in Tab. 1 dargestellt.

Den höchsten Biomasse-, Korn- und Strohertrag wies Hafer auf. Das Sommernenggetreide blieb hinsichtlich des Kornertrages hinter Hafer und Gerste zurück, während ein signifikant höherer Strohertrag im Vergleich zur Gerste erzielt wurde. Die dargestellten Ertragsparameter wurden durch die N-Düngung signifikant erhöht. Gerste wies im Vergleich zu den anderen Beständen einen höheren Ernteindex auf. Mit der niedrigen N-Düngergabe konnte in allen Beständen – bis auf Weizen – ein höherer Ernteindex erreicht werden.

Der Blattflächenindex des Sommernenggetreides lag geringfügig (n.s.) über jenen der Reinbestände, mit steigender N-Düngung kam es zu einer signifikanten Zunahme der Blattflächenindices.

Tab. 1: Oberirdische Biomasse, Korn- und Strohertrag, Ernte- und Blattflächenindex der Reinsaaten und des Gemenges von Sommergetreide in Abhängigkeit von Bestand und N-Düngung (n=4).

Bestand / N-Düngung	Biomasse (t ha ⁻¹)	Korn (t ha ⁻¹)	Stroh (t ha ⁻¹)	Ernteindex	Blattflächenindex
Bestand (%)					
Gerste (100)	6,66 ^b	3,15 ^a	3,51 ^b	0,46 ^a	3,72 ^a
Weizen (100)	7,20 ^b	2,57 ^b	4,63 ^a	0,36 ^b	3,67 ^a
Hafer (100)	8,24 ^a	3,12 ^a	5,12 ^a	0,37 ^b	3,99 ^a
Gerste-Weizen-Hafer (33:33:33)	7,16 ^b	2,51 ^b	4,65 ^a	0,35 ^b	4,18 ^a
N-Düngung (kg ha⁻¹)					
0	5,04 ^b	1,83 ^b	3,21 ^b	0,36 ^b	2,32 ^c
60	8,42 ^a	3,45 ^a	5,00 ^a	0,41 ^a	4,03 ^b
120	8,48 ^a	3,28 ^a	5,25 ^a	0,38 ^b	5,34 ^a
ANOVA GLM					
<i>Bestand</i>	**	**	***	***	<i>n.s.</i>
<i>N-Düngung</i>	***	***	***	**	***
<i>Bestand x N-Düngung</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	**	<i>n.s.</i>

Signifikanzlevel: p<0,05 (*), p<0,01 (**), p<0,001 (***)

Der Land-Äquivalenzkoeffizient (LER) in Abhängigkeit der N-Düngung ist in Tab. 2 dargestellt. Die höchsten LER traten in der Nulldüngungsvariante auf. In den gedüngten Varianten traten niedrigere LER auf. Hinsichtlich Biomasse- und Strohertrag konnte das Sommergetreide im Vergleich zu den Reinsaaten in der Nulldüngungsvariante einen deutlichen Ertragsvorteil erreichen, hinsichtlich des Kornertrages trat im Gemenge eine deutliche Ertragsunterlegenheit auf.

Tab. 2: Land-Äquivalenzkoeffizient (LER) des Sommergetreides in Abhängigkeit der N-Düngung.

	N-Düngung (kg ⁻¹)		
	0	60	120
Biomasse	1,10	0,94	0,91
Korn	0,96	0,83	0,79
Stroh	1,19	0,97	1,00

Literatur

- Aufhammer, W. 1999: Mischbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- BMLFUW 2010: Grüner Bericht 2010. Wien.
- Mead, R., Wiley, W.R. 1980: The concept of land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. *Exp. Agric.* 16:217-228.

Drei-Komponenten-Sommernenggetreide – B. Erste Ergebnisse auf Artenebene

Reinhard Neugschwandtner und Hans-Peter Kaul

Universität für Bodenkultur Wien, Department für Kulturpflanzenwissenschaften, Abt. Pflanzenbau, Tulln, Österreich. E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at

Einleitung

Vorteile des Anbaues von Mischbeständen können in der besseren Nutzung von begrenzt verfügbaren Wachstumsfaktoren (Wasser, Nährstoffe und Licht) und der Abwehr von Schaderregern sowie der Minimierung von Schadefekten auf den Pflanzenbestand liegen (Aufhammer, 1999). Im Jahr 2009 wurden in Österreich 4.861 ha Sommernenggetreide angebaut (BMLFUW, 2010).

Material und Methoden

Der Versuch fand im Jahr 2010 auf den Versuchsfeldern der Saatzucht Edelhof (Niederösterreich, 600 m Seehöhe, mittlere Jahrestemperatur: 6,8 °C, mittlerer Jahresniederschlag: 610 mm; Boden: seichtgründige Braunerde aus lehmigem Sand, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,3$) statt. Die Sommergetreidearten Gerste (Bojos, 350 keimfähige Körner m^{-2}), Weizen (Michael, 400 KfK m^{-2}) und Hafer (Effektiv, 350 KfK m^{-2}) wurden in Reinsaat sowie in einem substitutiven Gemenge der drei Mischungspartner zu je einem Drittel der Aussaatstärke der Reinsaaten angebaut. Der Versuchsfaktor Stickstoff-Düngung umfasste folgende Stufen: 0, 60 und 120 kg N ha^{-1} (Nitramoncal, aufgeteilt in 2 gleiche Gaben). Die Aussaat erfolgte am 7. April 2010, die Ernte am 11. August 2010. Die Anteile der Mischungspartner sowie deren Ertragsstruktur wurden durch Handernte von Teilflächen und anschließender Fraktionierung der Gemengepartner ermittelt. Ein Drittel der Reinsaaterträge wurde zum Vergleich des Ertrages der einzelnen Kulturen in Reinsaat und im Gemenge herangezogen (Musa et al., 2010). Ergebnisse des ersten Versuchsjahres werden präsentiert.

Ergebnisse und Diskussion

Kornertrag, Ernteindex sowie Kornanzahl pro Ähre/Rispe von Gerste, Weizen und Hafer in Reinsaat und im Gemenge in Abhängigkeit von Bestand und N-Düngung sind in Tab. 1 dargestellt.

Der Kornertrag von Gerste wurde in der Reinsaat durch die N-Düngung generell erhöht, während im Gemenge eine Zunahme nur in der geringen N-Düngungsstufe beobachtet werden konnte. Der Weizenertrag wurde vom Bestandestyp nicht beeinflusst, jedoch kam es durch die N-Düngung zu einer Ertragszunahme. Der Ertrag von Hafer wurde durch den Anbau im Gemenge reduziert, durch die N-Düngung erhöht.

Die Ernteindices von Gerste und Hafer wurden durch den Gemengeanbau signifikant reduziert, während jene von Weizen unbeeinflusst blieben. Die Auswirkung der N-Düngung auf die Ernteindices der einzelnen Getreidearten zeigt ein widersprüchliches Bild. Bei Gerste führte die mittlere N-Variante zu einer Zunahme der Ernteindices, bei Weizen reduzierte die höchste N-Variante die Ernteindices, während bei Hafer die N-Gaben die Ernteindices erhöhten.

Hinsichtlich der Anzahl der Gerstenkörner pro Ähre zeigt sich ein mit den Kornerträgen vergleichbares Bild. In den Reinsaaten kam es zu einer Zunahme mit steigender N-Düngung, während im Gemenge nur in der niedrigen N-Dün-

gungsvariante eine Zunahme beobachtet wurde. Die Anzahl der Weizenkörner pro Ähre nahm durch den Anbau im Gemenge ab, blieb jedoch von der N-Düngung unbeeinflusst. Die Anzahl der Haferkörner pro Rispe wurden in den Reinsaaten und in den Gemengen durch die N-Düngung erhöht, im Gemenge jedoch um einen deutlich niedrigeren Umfang.

Tab. 1: Kornertrag, Ernteindex sowie Kornanzahl pro Ähre/Rispe von Gerste, Weizen und Hafer in Reinsaat und im Gemenge in Abhängigkeit von Bestand und N-Düngung (n=4).

Bestand / N-Düngung	Kornertrag (t ha ⁻¹)			Ernteindex			Kornzahl pro Ähre / Rispe		
	Gerste	Weizen	Hafer	G	W	H	G	W	H
Bestand (%)									
Gerste (100)	(1,05 ^a) ¹			0,46 ^a			16,4 ^a		
Weizen (100)		(1,03 ^a)			0,36 ^a			23,5 ^a	
Hafer (100)			(1,25 ^a)			0,37 ^a			32,5 ^a
Gerste-Weizen- Hafer (33:33:33)	0,83 ^b	1,03 ^a	0,95 ^b	0,39 ^b	0,35 ^a	0,30 ^b	12,3 ^b	19,1 ^b	23,4 ^b
N-Düngung (kg ha⁻¹)									
0	(0,64 ^b) ²	(0,81 ^b)	(0,62 ^b)	0,41 ^b	0,37 ^a	0,29 ^b	12,3 ^a	19,2 ^a	16,2 ^b
60	(1,18 ^a)	(1,19 ^a)	(1,31 ^a)	0,47 ^a	0,36 ^a	0,37 ^a	15,3 ^a	21,3 ^a	34,7 ^a
120	(1,00 ^a)	1,09 ^a)	(1,36 ^a)	0,41 ^b	0,33 ^b	0,35 ^a	15,6 ^a	23,4 ^a	33,0 ^b
ANOVA GLM									
<i>Bestand</i>	*	n.s.	**	***	n.s.	***	*	*	***
<i>N-Düngung</i>	***	***	***	*	*	***	n.s.	n.s.	***
<i>Bestand x N-Düngung</i>	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*

Signifikanzlevel: p<0,05 (*), p<0,01 (**), p<0,001 (***)

¹ Die Zahlen in den Klammern entsprechen zum besseren Vergleich einem Drittel der Erträge der Reinsaaten.

² Die Zahlen in den Klammern wurden mithilfe eines Drittels der Reinsaatenerträge errechnet.

Literatur

Aufhammer, W. 1999: Mischanbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

BMLFUW 2010: Grüner Bericht 2010. Wien.

Musa, M., M.H. Leitch, M. Iqbal, F.U.H. Sahi 2010: Spatial arrangement affects growth characteristics of barley-pea intercrops. Int. J. Agric. Biol. 12:685-690.

Gemengeanbau von Linsen mit Braugerste – Einfluss auf Ertrag und Qualität beider Gemengepartner

Stefan Pflaum¹, Woldemar Mammel², Carolin Zimmermann¹, Roman Lenz¹,
Jan Sneyd¹ und Carola Pekrun¹

¹Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU), Nürtingen; ²Ökologische Erzeugergemeinschaft „Alb-Leisa“, Lauterach. E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

Problemstellung

In unseren Breiten erfolgt der Linsenanbau in der Regel zusammen mit einer Stützfrucht. An diese werden zahlreiche Anforderungen gestellt. So müssen Linsen und Stützfrüchte in einem Arbeitsgang gesät und geerntet werden können, die von der Stützfrucht ausgehende Konkurrenz darf die Linse nicht beeinträchtigen, gleichzeitig muss sie jedoch über eine ausreichende Standfestigkeit und Stützwirkung verfügen. Im derzeitigen Linsenanbau werden überwiegend Hafer oder Nacktgerste gewählt. Diese erfüllen zwar die Anforderungen an eine Stützfrucht, weisen jedoch nur eine geringe Marktleistung auf. Da Braugerste im ökologischen Landbau eine hohe Marktleistung besitzt, könnte sie eine interessante Alternative darstellen. Um die Ertragsbildung eines Linsen-Braugerste-Gemenges zu untersuchen, hat die Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) in Zusammenarbeit mit der Erzeugergemeinschaft „Alb-Leisa“ in den Jahren 2009 und 2010 Feldversuche zur Prüfung ausgewählter Anbauverfahren angelegt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigten, dass Braugerste für den Gemengeanbau mit Linsen geeignet ist. Die Kombination aus Linsen und Braugerste brachte in beiden Jahren und beiden Mischungsverhältnissen LER's > 1. Eine effiziente Nutzung der vorhandenen Fläche war somit gegeben. In den Gemengevarianten konnte mit Hilfe der Braugerste das Lagern der Linsen deutlich gemindert werden. Dieser Effekt intensivierte sich mit zunehmenden Anteilen der Braugerste im Gemenge. Eine Erleichterung der Beerntbarkeit und gesündere Linsenkörner waren die Folge. Weiterhin konnten steigende Kornqualitäten (TKM) der Linsen bei zunehmenden Anteilen der Braugerste im Gemenge verzeichnet werden. Neben diesen durchweg positiven Effekten wurde jedoch ein Anstieg des Proteingehaltes der Braugerste in den Gemengevarianten beobachtet. Zunehmende Anteile der Linse im Gemenge verstärkten dieses Resultat. Bei dem höchsten geprüften Linsenanteil („75 % Linsen + 25 % Braugerste“) wurden Proteingehalte bis 13,8 % gemessen. Diese ergaben somit eine Gerste, die nicht als Braugerste vermarktet werden könnte. Auch Hof et al. (2006), die den Gemengeanbau von Winterweizen mit Winterkörnerleguminosen (Erbsen und Ackerbohnen) untersuchten, stellten im Mittel von zwei Standorten und zwei Jahren signifikant höhere Proteingehalte des Weizens fest.

Literatur

Hof, C., Hochmuth, C., Schmitdke, K., Rauber, R. 2006: Wirkung des Gemengeanbaus mit Winterkörnerleguminosen auf Kornertrag und Kornqualität von Winterweizen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften. 18:278-279.

How to manage above-ground competition in bush bean/spring maize strip-intercropping?

Sebastian Munz¹, Simone Graeff-Hönninger² and Wilhelm Claupein³

¹Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart; ²Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart; ³Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: s.munz@uni-hohenheim.de

Introduction

Intercropping is a widespread traditional agricultural production system in the North China Plain (NCP). However, due to large migration to urban areas with higher salaries, labor scarcity in the rural areas is defining a new framework for agricultural production. The high intensity of manual labor and the ongoing mechanization are causing a decline of the traditional intercropping systems (Feike et al., 2010). Strip intercropping as a highly productive, mechanizable and sustainable agricultural production system might be an appropriate system to meet current challenges of environmental degradation and scarcity of rural labor in the NCP. Maize and bush bean are locally important crops. In order to optimize this intercropping system the spatial and temporal competition between the crops has to be balanced. Due to the large difference of plant height between bush bean and spring maize the main focus in this experiment is set on above-ground competition.

Material and Methods

A strip-intercropping experiment of bush bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and spring maize (*Zea mays* L.) was conducted at the University of Hohenheim and the Chinese Agricultural University in Beijing in 2010. The two crops were planted in strips with three replications in a sequence in north-south orientation. The strips consisted of 12 rows of maize (85.000 plants ha⁻¹) and 9 rows (280.000 plants ha⁻¹) of bush bean in Germany and of 7 rows of maize (62.000 plants ha⁻¹) and 7 rows of bush bean (280.000 plants ha⁻¹) in China, respectively. The distance between neighboring crops was set to 60 cm to allow use of machinery while maintaining low proximity to ensure interspecific interactions. The effect of different maize strip widths (four, six, eight and ten rows) and plant shape of three maize cultivars, namely Companero (normal shape), NK Ravello (increased plant height and more erect leaves) and Lapriora (reduced plant height) on transmitted photosynthetically active radiation (TPAR) was determined after full maize plant height at the University of Hohenheim in 2010. The measurements of TPAR were conducted with a linear PAR ceptometer (Model AccuPar LP-80, Decagon Devices, Pullman, WA, USA) at soil surface, 60 cm (distance between boarder rows of bush bean and maize) away from the west side of the maize strips at 11 am.

Results and Discussion

In China and Germany total dry matter of bush bean was increased in row two adjacent to the maize strips compared to the centre row of the bush bean strips at harvest. In row one next to maize total dry matter was reduced the most (Figure 1).

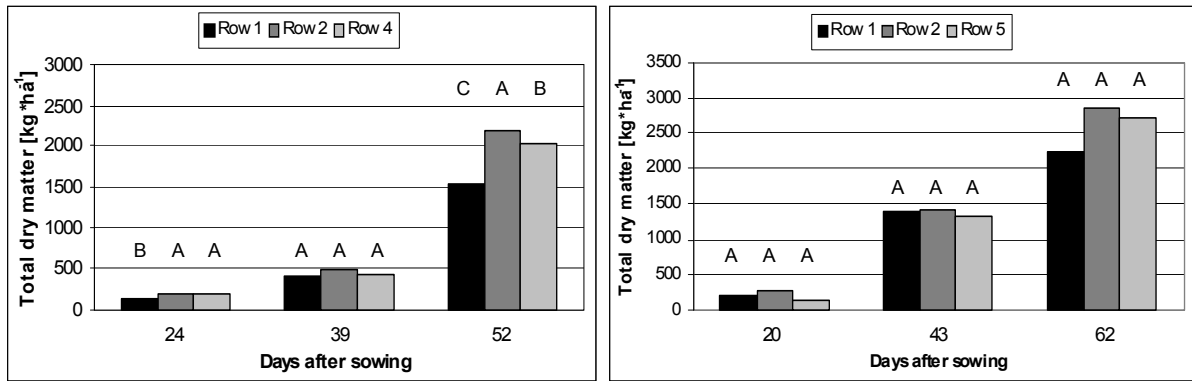


Fig. 1: Total dry matter [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$] of bush bean in row one (adjacent to maize strips), two and the centre row (four and five, respectively) 24, 39 and 52 days after sowing in China (left) and 20, 43 and 62 days after sowing in Germany (right). Capital letters denote significance ($\alpha < 0.05$).

This suggests a positive effect of slight shadowing on bush bean growth up to a certain threshold where the decreased radiation significantly reduces plant growth. The maize cultivar experiment demonstrated a significantly higher percentage of TPAR of the strips of the cultivar with reduced plant height (Lapriora) for all strip widths. The maize cultivars Lapriora and Companero showed a significantly higher percentage of TPAR for the strips of four rows than NK Ravello. Above a strip width of four rows the measured quantity of transmitted radiation did not demonstrate a clear trend, but suggest that radiation transmittance is not decreased further (Figure 2). The maize cultivars did not differ in leaf area index and final yield.

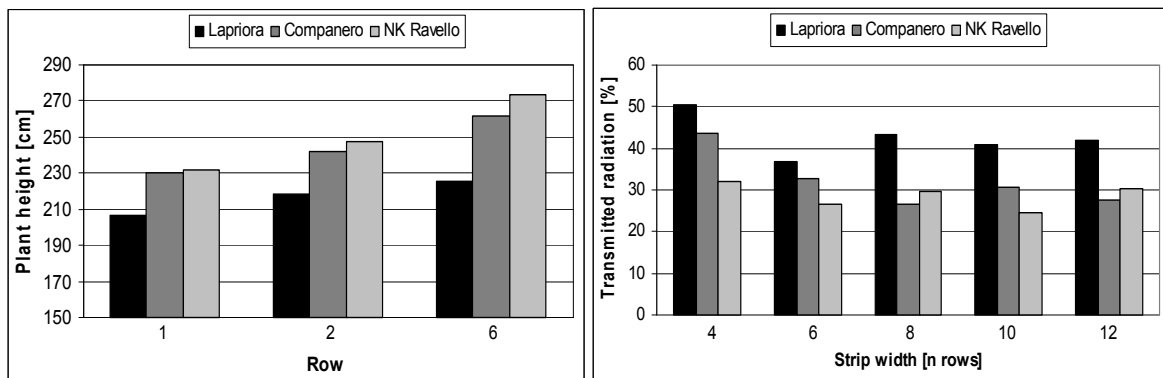


Fig. 2: Final plant height [cm] in row one, two and the centre row (six) of the maize strips of three cultivars (Lapriora, Companero and NK Ravello) (left), and the percentage of TPAR (compared to open area PAR) 0.5 m away from the maize strips of three cultivars with a strip width of four, six, eight, ten and twelve maize rows (right).

Thus using a maize cultivar of reduced plant height and a strip width below 6 rows of maize increases the amount of transmitted radiation to the neighboring bush bean plants and might therefore enhance plant growth in the first row of bush bean next to maize.

References

Feike, F., Chen, Q., Graeff-Hönninger, S., Pfenning J., Claupein W. 2010: Farmer-developed vegetable intercropping systems in southern Hebei, China. *Renewable Agriculture and Food Systems* 25(4):272-280.

Intercropping of pea with oil seed rape and cereals in a pot experiment

Elnaz Ebrahimi, Reinhard Neugschwandtner and Hans-Peter Kaul

University of Natural Resource and Life Sciences Vienna, Department of Crop Sciences, Division of Agronomy, Tulln. E-Mail: elnaz.ebrahimi@boku.ac.at

Introduction

Intercropping (IC) is known as an agricultural practice that can improve the use of environmental resources (light, nutrients and water) and results in yield advantages and increased yield stability compared to sole cropping (SC). However, IC can also negatively affect growth. Lack of synchronism in maturation is one of common drawbacks in IC (Vandermeer, 1989). Pea (*Pisum sativum*), oil seed rape (*Brassica napus*), wheat (*Triticum aestivum*), barley (*Hordeum vulgare*) and oat (*Avena sativa*) are important crops in Austria routinely grown in SC. In the present study we focused on the performance of the legume pea (P) in IC with oil seed rape (R) and cereals wheat (W), barley (B) and oat (O) with special regard on relative yield and some physiological characters of pea.

Material and Methods

A pot experiment was conducted under glass house conditions (day: 20°C, 16 h; night: 16°C, 8 h) in winter 2010 in Vienna. Two different soils were taken from Edelhof (E: shallow Cambisol - loamy sand, $pH_{H_2O} = 6.3$) and Raasdorf (R: Calcaric Phaeozem - silty loam, $pH_{H_2O} = 7.7$). The experiment was designed as a completely randomized factorial with four replications. Treatments included two soils and five crop-stands, i. e. SC of pea (6 plants per pot), substitutive IC of pea-rape (3+3 plants per pot) and IC of pea-cereals (wheat, barley, oats, all 3+9 plants per pot). Due to obvious infections of pea with *Fusarium sp.* disease severity was visually scored (1-9). The phenological growth stage (BBCH) and plant height were observed during stem elongation of pea. Chlorophyll content and chlorophyll fluorescence were evaluated on the beginning of flowering, one day after watering in the morning by a SPAD meter and a Handy PEA chlorophyll fluorimeter. All plants were harvested in the end of flowering and fresh and dry matter yield of shoots for each species were measured. Pot soils were sampled for determination of nitrate (NO_3) content. For estimating IC effects, the relative yield (RY) of pea in IC with rape and cereals was calculated according to Vandermeer (1989):

$$RY = Y_{ic}/Y_{sc}$$

with Y_{ic} : crop yield in intercropping and Y_{sc} : crop yield in sole-cropping. All observations were subjected to analysis of variance. For significant effects at $p < 0.05$, means were compared by LSD.

Result and Discussion

No significant differences were observed in the chlorophyll content and chlorophyll fluorescence of pea plants between plant stands or soils. Plant disease scoring showed a substantial infection by *Fusarium sp.* of pea plants grown in Edelhof soil (mean score: 7.9), while pea plants grown in Raasdorf soil were hardly infected (mean score: 2.5). Also plants grew higher in soil R (+35%) than in soil E. These differences in soil fertility may have resulted from soil nutrient availability and disease incidence.

Table 1: Yield parameters and soil NO₃-N concentrations as affected by plant stand and soil

Plant stand	Total DM per pot (g)		Pea DM per pot (g)	Relative yield of pea	Pea DM per plant (g)	Pea FM per plant (g)	Soil NO ₃ -N (mg 100 g ⁻¹)
	Soil R	Soil E					
P	5.52 ab	2.18 d	3.85 [†]	1.00	0.66 ab	4.05 a	0.45 a
P-R	5.17 ab	3.13 c	2.27 a	0.59	0.82 a	4.18 a	0.18 b
P-W	5.16 ab	4.97 b	1.81 ab	0.47	0.67 a	3.56 ab	0.18 b
P-B	5.42 ab	5.09 ab	1.92 ab	0.50	0.69 a	3.80 a	0.20 b
P-O	5.62 a	5.32 ab	1.42 b	0.37	0.47 b	2.58 b	0.14 b
LSD 0.05	0.582		0.575	n.a.	0.219	1.061	0.162

[†]pea data in SC not included in ANOVA; DM: dry matter, FM: fresh matter, n.a; not analyzed

Fresh and dry matter per pot and per plant and soil NO₃ content were significantly affected by plant stand composition. Total yield per pot was differently affected by IC in both soils. No differences were observed in total yield between pea SC and IC systems in R soil while pea SC yielded lowest in E soil, presumably due to the disease infection. Among IC stands highest total yield in E soil was achieved in pea-barley and pea-oats IC.

Dry matter of pea per pot was lowest in pea-oats among IC stands. Also fresh and dry matter per pea plant was lowest in pea-oats intercrops. Obviously oats was the strongest competitor for pea plants while there was no difference between other ICs and SC pea. Contrary to that, Lauk and Lauk (2008) concluded that oats is a better companion crop to pea than wheat and barley.

Only in pea-rape IC, pea gained a relative advantage from intercropping (RY=0.59). In contrast, pea-oats IC showed the lowest relative pea yield. But the yield of oats more than compensated for the decreased pea yield resulting in highest total yields compared to other IC treatments. Kontturi et al. (2011) reported similar results in pea-oats intercrops for pea yields.

Soil NO₃-N was higher in pea SC than in other plant stands, presumably due to atmospheric nitrogen fixation by pea in symbiosis with rhizobia in absence of cereals as strong soil mineral N consumers.

References

- Kontturi, M., A. Laine, M. Niskanen, T. Hurme, M. Hyövelä, P. Peltonen-Sainio 2011: Pea-oat intercrops to sustain lodging resistance and yield formation in northern European conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, first publ. on 30 March 2011 (iFirst).
- Lauk, R., E. Lauk 2008: Pea-oat intercrops are superior to pea-wheat and pea-barley intercrops. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 58:139-144.
- Vandermeer, J.H. 1989: *The ecology of Intercropping*. Cambridge Univ. Press Cambridge, MA.

Das Bioenergiepotential des Biosphärengebiets Schwäbische Alb

Diana Genius¹, Karin Wünsch², Michael Weiß¹, Sabine Gruber² und Wilhelm Claupein²

¹Institut für Evolution und Ökologie, Eberhard Karls Universität Tübingen; ²Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340), Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: diana@genius-home.de

Einleitung

Das Biosphärengebiet Schwäbische Alb ist einmalig in Baden-Württemberg und steht für die nachhaltige Regionalentwicklung im Einklang mit Mensch und Natur. Es besteht eine Gliederung in Kern-, Pflege- und Entwicklungszone, in denen unterschiedliche Bewirtschaftungsintensitäten und Landnutzungen erlaubt sind (Biosphärengebiet Schwäbische Alb 2011). Auch in den Gemeinden des Biosphärengebietes soll auf die Nutzung erneuerbarer Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung nicht verzichtet werden. Ziel der Studie war das Potential zu schätzen, das für die Bioenergienutzung von Interesse ist.

Material und Methoden

Zunächst wurden die Flächen quantifiziert, welche zur Produktion von Biomasse dienen können. Dazu zählen 25 % der Waldflächen, 40 % der Dauergrünland-Flächen, 100 % der Flächen der Obstanlagen (u.a. Streuobstwiesen) und Teile des Ackerlandes (ohne Flächen zur Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln sowie von Gartenbauerzeugnissen und Handelsgewächsen). In der Kernzone ist jegliche wirtschaftliche Nutzung untersagt, diese Flächen wurden deshalb nicht berücksichtigt. In der Pflegezone können die Flächen des Dauergrünlandes, der Obstanlagen und die Waldflächen genutzt werden, und in der Entwicklungszone kommen noch die Ackerflächen hinzu. Mithilfe von standortspezifischen Ertragsdaten und den entsprechenden Heizwerten konnte das Bioenergiepotential der einzelnen Zonen und des gesamten Biosphärengebietes ermittelt werden.

Ergebnisse und Diskussion

Das gesamte Bioenergiepotential des Biosphärengebietes Schwäbische Alb (Fläche von 85.268,73 ha) beträgt 2393,41 TJ a⁻¹. Die Nutzungsform Wald macht den größten Flächenanteil für die Biomassegewinnung aus, gefolgt von Dauergrünland, Ackerland und Obstanlagen mit nur circa 1 %. Da das Bioenergiepotential jedoch nicht nur von der Fläche, sondern auch vom Ertrag pro Hektar und vom mittleren Heizwert abhängt, macht dabei das Ackerland den größten Anteil aus, erst dann folgen Dauergrünland und schließlich Waldflächen und Obstanlagen. Dies liegt zum einen an einem deutlich höheren Ertrag pro Hektar (Ackerfläche = 12,35 t TM/ha*a, Dauergrünland = 8 t TM/ha*a, Wald = 2,93 t TM/ha*a) und zum anderen an einem höheren mittleren Heizwert (Ackerfläche = 18 MJ/kg, Dauergrünland = 16,76 MJ/kg, Wald = 14,3 MJ/kg) (KTBL 2006).

Literatur

Biosphärengebiet Schwäbische Alb 2011: <http://www.biosphaerengebiet-alb.de/>

KTBL 2006: Energiepflanzen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

Pflanzenbauliche und ökonomische Konsequenzen einer erweiterten Biogasafruchtfolge bei reduziertem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Carola Pekrun, Sabine Hubert, Björn Stauß und Ludger Hinners-Tobrägel

Institut für Angewandte Forschung, Abteilung Agrarwirtschaft, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt
Nürtingen-Geislingen, E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

Problemstellung

Der zunehmende Maisanbau für Biogasanlagen wird in der Bevölkerung und in der Fachwelt aufgrund fruchtfolgetechnischer Probleme sowie im Hinblick auf den Erosionsschutz kritisch gesehen. In einer Reihe von Versuchen wird und wurde getestet, inwiefern in Biogasbetrieben eine Erweiterung der Fruchtfolge über die Nutzung von Zweitfruchtssystemen möglich ist. Bei Anbau von Getreide für die Nutzung als Ganzpflanzensilage ist im Vergleich zum Drusch von Korngut ein früherer Erntetermin realisiert. Dies könnte die Reproduktion von Unkräutern über Samen unterbinden. Gleichzeitig könnten unter Umständen erhöhte Unkrautpopulationen in der Biogaskultur toleriert werden, da Unkrautbiomasse ebenfalls als Substrat in der Biogasanlage vergoren werden kann. In ähnlicher Weise müsste in Biogasafruchtfolgen die Notwendigkeit Fungizide und Halmverkürzer zu applizieren, vermindert sein.

In einem Feldversuch auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Tachenhausen südlich von Stuttgart wurden über die Jahre 2007-2010 zwei Anbausysteme miteinander verglichen. In Anbausystem A wurde jedes Jahr Energiemais angebaut. In Anbausystem B wurde nach Möglichkeit Zweitfruchtanbau betrieben mit Getreide-GPS jeweils als Vorfrucht für die Zweitfrucht. Im Anbausystem B wurden keine Pflanzenschutzmittel oder Wachstumsregulatoren ausgebracht. Ausnahme waren Mais und Zuckerhirse. Diese wurden mit Herbiziden behandelt. Die Düngung erfolgte standortangepasst und entsprechend des zu erwartenden Ertrags mineralisch.

Ergebnisse und Diskussion

In Anbausystem B wurden über die Jahre aufsummiert etwas höhere Trockenmasseerträge geerntet als in Anbausystem A (81,9 t TM ha⁻¹ im Vergleich zu 79,0 t TM ha⁻¹). Jedoch war der nach KTBL-Faustzahlen errechnete Methanertrag in beiden Varianten etwa gleich hoch: 22.337 m³ Methan ha⁻¹ in Anbausystem B und 22.292 m³ Methan ha⁻¹ in Anbausystem A. Aufgrund der verringerten Aufwendungen in Anbausystem A waren die Kosten je m³ Methan deutlich niedriger als in Anbausystem B. In Anbausystem A betragen die Kosten je m³ Methan 0,18 €. In Anbausystem B lagen diese im Mittel bei 0,25 € je m³ Methan. Dazu wurden in Anbausystem B erhebliche Unkrautpopulationen festgestellt (0,75 % der Biomasse im Erntegut), auch von Arten, die problematisch sind wie Ackerfuchsschwanz und Klettenlabkraut. Bei Ackerfuchsschwanz wurde teilweise auch Samenbildung vor der GPS-Ernte beobachtet. Die als Zweitfrucht nach Landsberger Gemenge angebaute Zuckerhirse lieferte zwar in nur vier Monaten Wachstumszeit Erträge von über 9 t TM ha⁻¹, jedoch war der Trockensubstanzgehalt bei der Ernte mit 18 % zu gering für die Silierung. Der Anbau von Energiemais stellt für Biogasbetriebe somit die sicherste und billigste Variante der Produktion von Co-Substraten dar.

Energiebilanzierung der Biogasproduktion unter den Anbaubedingungen Schleswig-Holsteins

Sandra Claus¹, Babette Wienforth², Klaus Sieling², Henning Kage², Friedhelm Taube¹ und Antje Herrmann¹

¹Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; ²Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. E-Mail: sclaus@email.uni-kiel.de

Einleitung

Die Biogas-Produktion in Schleswig-Holstein basiert hauptsächlich auf Co-Fermentation von Mais und Gülle und zeigt einen Trend zur Errichtung von größeren Anlagen, woraus längere Transportwege für Gärsubstrate und Gärreste folgen und die Energie- und Treibhausgasbilanzen negativ beeinflusst werden. Für Energiebilanzen zur Biogasproduktion in Norddeutschland liegen bislang nur wenige Daten vor, die zudem meist auf Literaturdaten basieren. Ziel dieser Studie war es daher, eine Energiebilanzierung für die Biogasproduktion aus Energiepflanzen, basierend auf den Daten eines 2-jährigen Feldversuchs in zwei typischen Landschaftsräumen Schleswig-Holsteins (Geest, Hügelland), durchzuführen und zu bewerten.

Material und Methoden

Untersucht wurde der Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen (Mais-Monokultur, Mais-Weizen-Gras, Dauergrünland), N-Düngemengen und -formen (Mineraldünger KAS, Gärrest, Gülle). Die Inputberechnungen basieren auf folgenden Grundannahmen: Feldgröße (20 ha), Hof-Feld Entfernung (8 km). Bei der Erstellung der Energiebilanz ist nach Hülsbergen et al. (2001) nur der direkte und indirekte Input berücksichtigt worden. Für die Konversion sind folgende Annahmen getroffen worden: 500 kWh KWK-Anlage, elektrische Effizienz von 40 %, thermische Effizienz von 41,5 %, Eigenwärmebedarf 20 % der produzierten Wärme, Eigenenergiebedarf 7,5 % der produzierten Elektrizität. Die Analyse der Beziehung zwischen N-Input und Energieinput bzw. -output erfolgte mittels der Prozedur NLIN des Statistikprogrammpaketes SAS Version 9.2 (SAS Institute, Cary, NC).

Ergebnisse und Diskussion

Der Nettoenergiegewinn variiert zwischen 75 und 122 GJ ha⁻¹ in Abhängigkeit von Fruchtfolge, Standort und Stickstoffdüngerart. Der Anbau von Maismonokultur resultiert in einem höheren Nettoenergiegewinn als eine Mais-Fruchtfolge (Mais-Weizen-Weidelgras) oder Grünland. Gärreste weisen stets eine günstigere Energiebilanz auf als Mineraldünger. Ableitend aus diesen Ergebnissen wird in einem nächsten Schritt unter Berücksichtigung der N₂O Emissionen eine Treibhausgasbilanz erstellt, um Rückschlüsse auf das CO₂-Minderungspotential der untersuchten Fruchtfolgen und Düngerarten zu ziehen.

Literatur

Hülsbergen K., Feil B., Biermann S., Rathke G., Kalk W., Diepenbrock W. 2001: A method of energy balancing in crop production and its application in a long term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86:303-321.

Streifenweiser Anbau ein- und mehrjähriger Kulturpflanzen – ein nachhaltiges Energiepflanzenanbausystem

Benjamin Mast, Simone Graeff-Hönninger und Wilhelm Claupein

Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, FG Allg. Pflanzenbau, Stuttgart. E-Mail: benjamin.mast@uni-hohenheim.de

Einleitung

Zur Produktion von Biogas wird bislang zu einem überwiegenden Teil Mais als ökonomisch und anbautechnisch bewährtes Substrat für die Biogasnutzung eingesetzt. Dies hat in einigen Regionen Deutschlands eine kontinuierliche Zunahme der Maisanbaufläche zur Folge. Jedoch wird diese Fokussierung auf Energiemais als Hauptsubstrat aufgrund möglicher negativer ökologischer Belastungen (Bodenerosion, Nährstoffauswaschung, Verlust von Biodiversität und landwirtschaftlicher Vielfalt, Humusabbau) zunehmend kritisch gesehen (SRU, 2007). Darüber hinaus können, durch den intensiven Maisanbau begünstigt, Schädlinge (*Diabrotica virgifera virgifera*) zu starken Ertragsausfällen führen (Schwabe et al. 2010) und somit langfristig eine Biogasproduktion alleinig basierend auf Mais gefährden. Eine breitere Diversifizierung des Substratangebots durch die Verwendung alternativer Kulturarten bzw. die räumliche und zeitliche Optimierung des Anbaus unterschiedlicher Kulturen in alternativen Anbausystemen kann vor diesem Hintergrund eine wirksame Lösungsmöglichkeit zur langfristigen Reduzierung von Mais in Biogasfruchtfolgen darstellen.

Alternatives Anbausystem

In diesem Zusammenhang wurde ein Streifenanbausystem (Abb. 1), bestehend aus einer mehrjährigen Kultur (Energieampfer (*Rumex Schavnat*)) und einer Fruchtfolge (FF) aus mehreren einjährigen Kulturen (**Sonnenblume – Wintertriticale – Kleegras – Amarant – Grünroggen**), geplant und im Frühjahr 2011 an zwei Standorten (Ihinger Hof (LK Böblingen) und Laupheim (LK Biberach)) etabliert. Aus ökologischer Sicht sind Verbesserungen gegenüber bislang vorwiegend genutzten Anbausystemen zur Biogassubstratproduktion (Maismonokulturen) sowohl in einem verminderten Erosions- und Nährstoffauswaschungspotential (ganzjährige Bodenbedeckung) als auch in der Schaffung neuer Biodiversitätsaspekte in der Kulturlandschaft (FF) und somit eine Steigerung der Nachhaltigkeit zu erwarten. Auf Basis der Versuchsergebnisse wird in den folgenden Jahren eine ökonomische und ökologische Bewertung dieses Anbausystems durchgeführt.

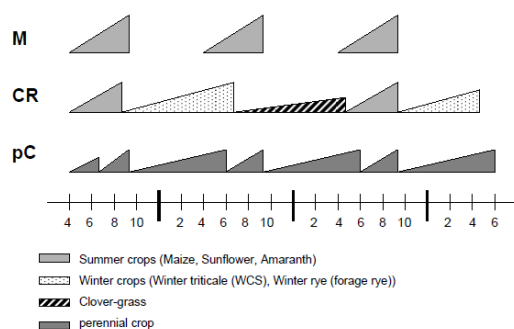


Abb. 1: Schematische Darstellung alternatives Anbausystem (CR & pC) und Mais als Monokultur (M) über 3 Jahre.

Literatur

- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 2007: Klimaschutz durch Biomasse – Sondergutachten, Juli 2007, Erich Schmidt Verlag & Co KG: Berlin, 43-56.
- Schwabe, K., Kunert, A., Heimbach, U., Zellner, M., Baufeld, P., Grabenweger, G., 2010: Der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) – eine Gefahr für den europäischen Maisanbau. Journal für Kulturpflanzen 62(8):277-286.

Leistungsfähigkeit von Energiepflanzenanbausystemen mit Mais und Sorghum in Schleswig-Holstein

Rainer Wulfes, Hartmut Ott und Richard Hünerjäger

Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft, Osterrönfeld. E-Mail: rainer.wulfes@fh-kiel.de

Einleitung

Eine ökonomisch sinnvolle Biogasproduktion setzt die Auswahl effizienter Kulturpflanzen sowie geeignete Anbausysteme voraus, um auf der vorhandenen, knappen landwirtschaftlichen Nutzfläche eine sichere und effiziente Bereitstellung von Substraten zu gewährleisten. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Leistungsfähigkeit von Sorghumhirsen (*Sorghum bicolor* L.) im Vergleich zum Silomais in unterschiedlichen Anbauformen unter den Klimabedingungen Schleswig-Holsteins zu prüfen, um Alternativen zur Maismonokultur bei der Substratbereitstellung bewerten zu können.

Material und Methoden

Im Rahmen des Kompetenzzentrums Biomassenutzung Schleswig-Holstein wurde in einem Feldversuch (Standort Ostenfeld, IS, 45 Bodenpunkte) in den Jahren 2007-2010 die Leistungsfähigkeit von Mais- und Sorghum-Monokulturen (jeweils 5 Sorten) mit dem Anbau von Mais und Sorghum im Wechsel mit Grünroggen oder Welschem Weidelgras als Winterzwischenfrucht verglichen. Zusätzlich erfolgte der Anbau von Mais und Sorghum im jährlichen Wechsel mit Grünroggen als Winterzwischenfrucht sowie deren Anbau in 2-jährigen C₄ – Getreide – Gras-Fruchtfolgen (Mais/Sorghum – Winterweizen – Welsches Weidelgras mit der Nutzung des 1. Schnittes).

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse in Tab. 1 lassen erkennen, dass in den Monokulturen Sorghum nur 60 % der Ertragsleistung des Silomaises erreicht (mit Zwischenfrucht 85 % des Silomaises in Monokultur). Alle Anbausysteme mit Silomais sind denen mit Sorghum überlegen, allerdings sinkt durch eine Winterzwischenfrucht im Vergleich zur Monokultur der Sorghumertrag weniger (-15 dt TM/ha/Jahr) als der Maisertrag (-38 dt TM/ha/Jahr). Wulfes und Ott (2008) kamen für Silomais zur Futterproduktion zu ähnlichen Ergebnissen. Die Winterzwischenfrucht Grünroggen (im Mittel 61 dt TM/ha/Jahr) führt zu den höchsten Jahreserträgen aller Anbausysteme.

Tab. 1: TM-Erträge (dt TM/ha/J) der Anbausysteme (Mittel 4 Jahre; C₄: je 5 Sorten)

	Mono- kultur	mit Zwischenfrucht		jährl. Wechsel	2-jähriger Wechsel
		Grünroggen	W.Weidelgras	Mais/Sorghum	C ₄ - W.Weizen - Gras
Mais	194,4 ^c	224,8 ^a	209,8 ^b	192,5 ^c	189,2 ^{cd}
Sorghum	117,9 ^g	167,4 ^e	160,7 ^{ef}	183,7 ^d	155,3 ^f

GD_{0,05} = 7,9 dt TM/ha; Mittelw. mit gleichen Buchstaben nicht sig. unterschiedlich; C₄ = Mais oder Sorghum

Literatur

Wulfes, R., H. Ott 2008: Performance of silage maize in forage crop rotation systems. In: Hopkins, A., Gustafsson, T., Bertilsson, J., Dalin, G., Nilsdotter-Linde, N. and E. Spörndly (eds.): Biodiversity and Animal Feed. Grassland Science in Europe 13:353-355.

Einfluss von Parametern der Witterung und des Bodens auf den Ertrag von Mais und Sonnenblumen – Ergebnisse aus 4 Jahren und 6 Standorten

Lars Klingebiel, Reinhold Stülpnagel und Michael Wachendorf

Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel. E-Mail: klingebiel@uni-kassel.de

Problemstellung

Im Rahmen des FNR-Vorhabens „Energiepflanzenanbau zur Biogasgewinnung“ wurde vom Sommer 2006 bis 2009 ein „Systemversuch zur Zweitkulturnutzung“ an 7 (bis 2008) bzw. 6 Standorten in Deutschland durchgeführt. In diesem Versuch wurden Mais und Sonnenblume im Zweikulturnutzungssystem nach Futterroggen dem Hauptfruchtanbau dieser Kulturen nach der Sommerzwischenfrucht Senf als Mulch gegenübergestellt. Zur Saat einer Zweitkultur ist die Menge an verfügbarem Wasser allgemein niedriger als zur Saat einer Hauptkultur, da die Erstkultur den Wasservorrat im Boden reduziert. Dieses führt zu der allgemeinen Einschätzung, dass eine Zweitkulturnutzung nur an Standorten zu empfehlen ist, an denen eine ausreichende Wasserversorgung gewährleistet ist. Da aber an allen Standorten mit der Zweitkulturnutzung ein höherer Jahresertrag als im Hauptfruchtanbau nach Senf realisiert werden konnte, wird vermutet, dass neben dem Faktor Wasser auch weitere Parameter einen großen Einfluss auf den Ertrag haben. Um dies zu analysieren, wurden multiple Regressionen mit den Parametern Bodenwassergehalt zur Saat, der Summe des Niederschlags und des genutzten Bodenwassers von der Saat bis zur Ernte, der Summe der Globalstrahlung und der Temperatursumme sowie dem Stickstoffgehalt der Pflanze zum Schossen berechnet (Heuser 2010).

Ergebnisse und Diskussion

Entsprechend der Ergebnisse dieser Analyse mit den Ergebnissen aus den Jahren 2006 bis 2008 (Heuser 2010) zeigt sich auch bei dem vierjährigen Vergleich, dass neben dem Faktor Wasser auch die Temperatur einen bedeutenden Einfluss auf die Ertragsunterschiede hat. Die mehrschichtige Analyse ergab, dass unabhängig von der Pflanzenart und dem Nutzungssystem die Temperatursumme ($r^2 = 0,31$) den größten Einfluss hat, gefolgt von dem Wasserverbrauch ($r^2 = 0,07$). Bei getrennter Betrachtung der Pflanzenarten ist für den Mais die Temperatursumme ($r^2 = 0,55$) bedeutender als die Summe des Niederschlags und des genutzten Bodenwassers von der Saat bis zur Ernte ($r^2 = 0,11$), bei den Sonnenblumen hat das Bodenwasser zur Saat ($r^2 = 0,22$) die größte Bedeutung. Bei getrennter Betrachtung der Nutzungssysteme hat im Hauptfruchtanbau nach Senf als Mulch der Wasserverbrauch den höchsten Einfluss auf die Ertragsbildung ($r^2 = 0,13$), während in der Zweikulturnutzung die Temperatursumme die größte Bedeutung hat ($r^2 = 0,26$), gefolgt von dem Wasserverbrauch ($r^2 = 0,07$). Mit den geprüften Kenngrößen kann meistens nicht mehr als 50 % der Streuung erklärt werden.

Literatur

Heuser, F. 2010: Prüfung des Zweikultur-Nutzungssystems für die Bereitstellung von Energiepflanzen auf sieben Standorten in Deutschland. Diss. Universität Kassel, FB 11.

Einfluss von Mineral-, Rohgülle- und Gärrestdüngung auf ausgewählte Bodenparameter sowie den Trockenmasseertrag von Mais (*Zea mays*)

Barbara Elste¹, Jan Rücknagel² und Olaf Christen²

¹Agrochemisches Institut Piesteritz e.V., Lutherstadt-Wittenberg; ²Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle/Saale, Professur für Allgemeinen Pflanzenbau/ÖL. E-Mail: barbara.elste@landw.uni-halle.de

Einleitung

Mit dem starken Anstieg der Anzahl an Biogasanlagen hat auch der Anfall an Biogasgärrückständen erheblich zugenommen. Ziel dieses Beitrages ist es, anhand eines Gefäßversuchs den Einfluss einer Gärrestdüngung auf Bodeneigenschaften und die Düngewirkung im Vergleich zu anderen Düngearten zu beurteilen.

Material und Methoden

In dem Gefäßversuch (Blockanlage, n=6) mit einem schluffig-lehmigen Sand als Bodensubstrat wurden die Varianten ungedüngt (1), Mineraldüngung (2), Rindergülle (3), Rindergülle mit Nitrifikationsinhibitor (4), Gärrest (5) sowie Gärrest mit Nitrifikationsinhibitor (6) geprüft (Düngermenge jeweils bezogen auf 160 kg N/ha). Alle Varianten wurden einmal ohne Bewuchs und einmal mit Aussaat von Mais angelegt. Die Probenahme für den pH-Wert (CaCl₂-Lösung) und die mikrobielle Biomasse (C_{mic}) erfolgte 4 Wochen und die Ernte der Maisbestände mit Trockenmassebestimmung erfolgte 5 Wochen (5-6 Blattstadium) nach Versuchsanlage.

Tab. 1: Bodenparameter und TM-Ertrag in Abhängigkeit der Düngevarianten (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanzen ($p \leq 0,05$) zwischen den Düngevarianten)

Variante	pH-Wert		C_{mic} [$\mu\text{g C/g TS}$]		TM-Ertrag [g/Gefäß]
	ohne Mais	mit Mais	ohne Mais	mit Mais	
1 ungedüngt	6,3 a	6,3 a	227,7 b	254,9 b	4,45 c
2 Mineraldüngung	6,2 a	6,2 a	138,7 d	182,5 c	6,69 b
3 Rindergülle	6,2 a	6,3 a	264,0 a	331,5 a	8,22 ab
4 Rindergülle + NI	6,2 a	6,3 a	259,1 a	338,3 a	8,73 a
5 Gärrest	6,2 a	6,3 a	183,4 c	256,7 b	9,59 a
6 Gärrest + NI	6,2 a	6,3 a	179,5 c	255,2 b	8,68 a

Ergebnisse und Diskussion

Der pH-Wert differenziert sich nicht zwischen den unterschiedlichen Düngevarianten, wohl aber zwischen den bewachsenen und nicht mit Mais bewachsenen Varianten (Tab. 1). Darüber hinaus zeigt die mikrobielle Biomasse nicht nur eine deutlich positive Wirkung des Bewuchses, sondern auch der Düngerart. Insbesondere in der Variante mit Rindergülle ist der Gehalt an mikrobieller Biomasse deutlich höher als in der ungedüngten und der Mineraldüngervariante. Die Trockenmasseerträge von Mais werden im Vergleich zur ungedüngten Variante durch alle Düngevarianten positiv beeinflusst. Innerhalb der gedüngten Varianten zeichnet sich nur tendenziell eine Ertragssteigerung durch die Gärrest- und Rindergülledüngung ab. Der Einsatz eines Nitrifikationsinhibitors zu den organischen Düngern zeigte keinerlei Dünge- und Bodenwirkung.

Einfluss der Stickstoffdüngung auf Wachstum und Ertrag von *Miscanthus x giganteus*

Martin Gauder, Sara Hackspacher, Simone Graeff-Hönninger und Wilhelm Claupein

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

Einleitung

In dieser Arbeit wurde der Einfluss der N-Düngung auf Ertragskomponenten und Biomasseproduktivität von *Miscanthus x giganteus* anhand von neunjährigen Versuchsergebnissen ausgewertet.

Material und Methoden

M. x giganteus wurde im Frühjahr 2002 auf der Versuchsstation Ihinger Hof in 4 Wiederholungen ausgepflanzt. Jede Wiederholung enthielt jeweils 3 N-Düngungsstufen, von denen eine über den gesamten Versuchszeitraum keine N-Düngung erfuhr, eine jährlich mit 40 kg N ha⁻¹ und eine mit jährlich 80 kg ha⁻¹ gedüngt wurde. Die N-Düngung erfolgte zwischen März und Mai mit ammoniumstabilisiertem Entec 26 (7,5 % Nitrat-N; 18,5 % Ammonium-N; 13 % Schwefel). Neben N wurden alle Nährstoffe im optimalen Bereich gehalten. Der vorherrschende Lehmboden wies eine Ertragszahl von 65 auf. Die Ernte erfolgte jährlich zwischen Januar und April, wobei Parzellenränder nicht mit erfasst wurden.

Ergebnisse und Diskussion

Die unterschiedlich hohe N-Düngung der Parzellen führte bei den Ernteterminen im Frühjahr zu signifikant unterschiedlichen Wassergehalten im Erntegut. Der mittlere Wassergehalt in den Nullparzellen betrug 18,5 %, in den mit 40 kg N ha⁻¹ gedüngten Parzellen betrug er 21 % und in den mit 80 kg N ha⁻¹ gedüngten Parzellen 24,9 %. Die unterschiedlichen Wassergehalte im Erntegut könnten mit der Biomasse des Bestandes zusammenhängen, welche möglicherweise die Durchlüftung beeinflusste. Mit N gedüngte Parzellen wiesen im Mittel über 9 Jahre signifikant höhere Erträge auf als die nicht mit N gedüngten Parzellen (12,9 t; 15,5 t und 16,0 t TM ha⁻¹ für die Varianten 0 kg N, 40 kg N und 80 kg N ha⁻¹ a⁻¹). Allerdings bestanden keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen der Variante mit jährlich 40 kg N ha⁻¹ und der Variante mit 80 kg N ha⁻¹. Nach der Pflanzung zeigten sich in den ersten zwei Jahren keine signifikanten Ertragsunterschiede durch die N-Düngung. Erst ab dem dritten Jahr wiesen die mit N gedüngten Varianten signifikant höhere Erträge auf. Die Triebzahl pro Quadratmeter wurde nicht signifikant von der N-Düngung beeinflusst, sie schwankte in allen drei Varianten um 60 Triebe m⁻².

Dagegen wurde die N-Konzentration in der Pflanze zum Erntetermin signifikant beeinflusst. Mit steigenden N-Gaben stieg auch die N-Konzentration im Erntegut an (0,28 %; 0,33 % und 0,38 % i.d. TM).

Die Ergebnisse zeigen, dass auf dem untersuchten Standort eine jährliche N-Düngung für *M. x giganteus* von 40 kg N ha⁻¹ ausreichend für hohe Ertragsleistungen ist. Eine Erhöhung der N-Düngung auf 80 kg N ha⁻¹ führte nicht zu einer signifikanten Ertragssteigerung. Weiterhin führte die moderate N-Düngung von 40 kg N ha⁻¹ jährlich zu geringeren Wasser- und N-Gehalten im Erntegut, was als positiv im Hinblick auf Lagerung und Verbrennung zu bewerten ist.

Winterrüben – Wie können Zuckerrüben Frostperioden überstehen?

Jens Loel und Christa Hoffmann

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

Einleitung

Es wird erwartet, dass Winterrüben, die bereits Anfang Herbst ausgesät werden, höhere Erträge produzieren als im Frühjahr gesäte Zuckerrüben. Um diese Erträge realisieren zu können, müssen die Pflanzen Frostperioden im Verlauf des Winters überstehen. Es wird angenommen, dass eine Akkumulation verschiedener Inhaltsstoffe in Rübe und Blatt zur Verbesserung der Winterhärte beiträgt.

Material und Methoden

Um dies zu prüfen, wurde ein Feldversuch am Standort Göttingen mit 5 verschiedenen Zuckerrübenhybriden angelegt, welche eine hohe Variation in den Gehalten verschiedener Inhaltsstoffe aufweisen. Die Aussaat fand im August 2010 statt. Es wurden 2 Ernten vor dem Winter durchgeführt. Im März wurde die Überlebensrate festgestellt. Ferner wurden die Trockenmasseerträge und -gehalte sowie die Gehalte an Zucker, K, Na, Amino-N, Betain und Glutamin in Rübe und Blatt ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Es wurden Unterschiede in der Überlebensrate nach Winter zwischen den einzelnen Zuckerrübenhybriden festgestellt, die auf Frostereignisse während des Winters zurückzuführen waren. Die Überlebensraten variierten dabei von 28 bis 98 %. Während dieser Phase von Oktober bis Dezember erhöhten sich die Gehalte an Saccharose und Raffinose in der Rübe, während sich die Gehalte an K, Na, Amino-N, Glucose, Fructose, Betain und Glutamin verringerten. Im Zuckerrübenblatt kam es zur Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes sowie des Saccharose-, Amino-N- und Raffinosegehaltes. Die Gehalte an K, Na, Glucose, Fructose, Betain und Glutamin verringerten sich von Oktober bis Dezember.

Des Weiteren unterschieden sich die Hybriden beim Erntetermin im Dezember im Gehalt an potentiell frostschtützenden Substanzen wie Saccharose, Betain, Glutamin, Glucose und Fructose sowie Trockensubstanz. Zuckerrübenhybride mit hohen Überlebensraten wiesen tendenziell höhere Gehalte an Kalium und Betain in der Rübe und höhere Gehalte an Trockensubstanz, Saccharose und Betain im Blatt auf. Die positive Wirkung von Betain und Saccharose auf die Frosttoleranz ist wahrscheinlich auf den Schutz der Membranen zurückzuführen. Außerdem kann Kalium und zum Teil auch Saccharose durch die Fähigkeit, das osmotische Potential zu beeinflussen, die Frosttoleranz verbessern. Eine negative Korrelation der Überlebensrate deutet sich mit dem Raffinosegehalt in der Rübe sowie dem Glucose-, Fructose- und Kaliumgehalt im Blatt an.

Um diese ersten Ergebnisse zu bestätigen, werden weitere Feld- und Gewächshausversuche durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung dienen dem besseren Verständnis der Winterhärte und können dazu verwendet werden, Selektionskriterien für Züchter zu definieren, um Winterzuckerrüben zu entwickeln.

Ertrag von Topinambur und Potenzial der energetischen Nutzung

Dina Otto, Karin Wunsch, Sabine Gruber und Wilhelm Claupein

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340), Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: dina.otto@uni-hohenheim.de

Einleitung

Durch die Verknappung fossiler Energie gewinnen Bio-Kraftstoffe und deren nachhaltige Herstellung zunehmend an Bedeutung (Matías et al., 2011). Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) stammt ursprünglich aus Nordamerika, ist eine C₃-Pflanze und stellt geringe Ansprüche an Boden und Witterung. Ziel der Studie war es, zu untersuchen, ob verschiedene N-Düngungsstufen den Knollenertrag beeinflussen und ob Topinambur dadurch als Zuckerlieferant für die Ethanolproduktion in den gemäßigten Breiten in Betracht gezogen werden kann.

Material und Methoden

Auf der Versuchstation Unterer Lindenhof der Universität Hohenheim (480 m ü.N.N., Jahresdurchschnitt 8,5 °C und 887 mm) wurde 2009 und 2010 ein Feldversuch zur Ermittlung der Knollenproduktivität von Topinambur durchgeführt. Auf 12 Parzellen (4 m × 8 m) wurde der Knollenertrag in Abhängigkeit der N-Düngungsstufen 0, 40 und 80 kg N ha⁻¹a⁻¹ ermittelt. Die oberirdische Biomasse wurde im Oktober 2009 bzw. 2010 geerntet, während die Knollen erst im darauffolgenden Frühjahr gerodet wurden. Zur Ertragsbestimmung wurde eine Fläche von jeweils 6 m² gerodet.

Ergebnisse und Diskussion

Mit steigenden N-Gaben konnte ein deutlicher Mehrertrag an Knollen auf dem Standort festgestellt werden (Tab. 1). Daraus lässt sich schließen, dass die Stickstoffdüngung die Entwicklung der Knollen erheblich fördert. Im zweiten Jahr (2009) fielen die Knollenerträge zwar geringer aus (-42 %); bei Annahme von durchschnittlich 90 l Ethanol t⁻¹ FM Knollen (Lelio et al., 2009) entsprechen diese aber immer noch einer durchschnittlichen Ausbeute von über 3000 l Ethanol. Ertraglich gesehen können Topinamburknollen deshalb als mehrjährige Nicht-Nahrungspflanze bei mittlerer Stickstoffversorgung für die Ethanolherstellung als geeignet eingestuft werden.

Tab. 1: Knollenertrag von Topinambur am Unteren Lindenhof in dt FM ha⁻¹

N-Düngung in kg ha ⁻¹	Ertrag 2009	Ertrag 2010
0	580	374
40	680	350
80	701	410

Literatur

- Lelio, H., C. Reborá, L. Gómez 2009: Ethanol potential production from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) irrigated with urban waste water. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 41(1):123-133.
- Matías, J., J. González, L. Royano, R. A. Barrena 2011: Analysis of sugars by liquid chromatography-mass spectrometry in Jerusalem artichoke tubers for bioethanol production optimization. *Biomass and Bioenergy* 35(5):2006-2012.

Stoffliche Nutzung industrieller Abwässer zur Produktion hochwertiger mikrobieller Öle und Pigmente

Teresa Schneider¹, Simone Graeff-Hönninger¹, Wilhelm Claupein¹, Todd French²
und Rafael Hernandez²

¹Institut für Kulturpflanzenwissenschaften/Universität Hohenheim, Stuttgart-Hohenheim, ²Dave C. Swalm School of Chemical Engineering/Mississippi State University, Starkville. E-Mail: Teresa.Schneider@uni-hohenheim.de

Einleitung

In Deutschland wird bereits heute eine beachtliche Bandbreite von Produkten auf Basis nachwachsender Rohstoffe genutzt, wobei pflanzliche Öle oft als Ausgangsstoffe dienen. Die hieraus resultierende Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung wird verstärkt diskutiert. Um diesen Konflikt zu lösen, beschäftigt sich der vorliegende Versuch mit der Nutzung ölproduzierender Mikroorganismen zur Herstellung hochwertiger Öle, die sowohl der energetischen als auch der stofflichen Verwertung zugeführt werden können. Einige dieser Mikroorganismen können darüber hinaus Carotinoide produzieren, welche u. a. als natürliche Farbstoffe Verwendung finden. Im Sinne der Wirtschaftlichkeit und der Nachhaltigkeit des Verfahrens wurden Abwässer der Lebensmittelindustrie als Wachstumssubstrat gewählt.

Material und Methoden

Jeweils 500 ml Prozessabwasser aus der Fruchtsaftherstellung (FW) und der Kartoffelverarbeitung (KW) wurden mit der Hefe *Rhodotorula glutinis* inokuliert und als Schüttelkultur in Erlenmeyerkolben bei 25 °C für 5 Tage kultiviert. Aufgrund des geringen CSB-Wertes des Fruchtsaftabwassers wurden hier 29 g^{*l}⁻¹ Glucose zugefügt. In regelmäßigen Abständen wurden Proben entnommen und das Zelltrockengewicht sowie der Lipidgehalt bestimmt. Das Fettsäureprofil wurde nach der Umesterung der Lipide mittels Gaschromatographie analysiert. Die Carotinoide wurden mittels Dünnschichtchromatographie identifiziert.

Ergebnisse und Diskussion

Beide Abwässer ermöglichten das Wachstum von *R. glutinis* sowie die Produktion von Lipiden und Carotinoiden. Das Zelltrockengewicht stieg während der Kultivierung kontinuierlich an und erreichte mit 6,25 g^{*l}⁻¹ (FW) bzw. 7,69 g^{*l}⁻¹ (KW) das über 17-fache bzw. über 5-fache der Zellmasse zum Ausgangszeitpunkt. Die Ergebnisse der Lipidmessung waren stark schwankend, somit nicht eindeutig und nur schwer quantifizierbar. Ursache hierfür ist vermutlich, dass die Abwässer vor der Inokulation nicht sterilisiert wurden, bestimmte Inhaltsstoffe während der Extraktion in Wechselwirkung traten und so die Messergebnisse verfälschten. Das Fettsäureprofil mit hohen Anteilen an Ölsäure (C18:1), Palmitinsäure (C16:0) und Linolsäure (C18:2) entspricht der Zusammensetzung verschiedener Pflanzenöle. Dies zeigt, dass die gewonnenen mikrobiellen Öle als Ausgangsstoff für die Biodieselproduktion verwendet werden können. Im Bereich der Carotinoide konnten β -Carotin, Torularhodin und Torulene identifiziert werden.

Stickstoff im Spannungsfeld der Rechtsetzung

Friedel Cramer

Referat Acker- und Pflanzenbau, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn. E-Mail: friedel.cramer@bmelv.bund.de

Einleitung

Autorenverzeichnis

Angulo C.....	180	Döhler J.	247
Ashraf I.	236	Donath S.....	247
Athmann M.	47	Donnison I.	83, 85
Augustin J.....	214	Dressler H. von.....	79
Balík J.....	233	Drüge U.	122, 225
Barthelmes G.....	118, 166	Duensing R.....	184
Baumecker M.	51, 69, 145	Duschyk M.....	151
Becker H. A.	202	Ebertseder T.....	33
Behrens T.....	142	Ebrahimi E.	146, 270
Benzenberg M.....	174	Ehrhart E.	247
Bermejo G.	53, 217	Eichert T.	65
Beschow H.	194	Eitenmüller P.	191
Betzinger R.....	251	Ellmer F. 51, 53, 69, 118, 145, 166, 217, 228	
Beuters P.....	232	Elste B.	278
Beuthner V.....	228	Emmenegger L.	220
Bhadoria P. B. S.	210	Enders A.....	180
Bodner G.	75	Engelhardt S.....	145
Bogdan K.....	216	Engert N.	57
Böhm H.....	71	Erbs M.	167, 168
Bol R.....	220	Erdle K.....	222
Bollig K.	243	Erekul O.....	252
Böttcher U.....	63, 110, 204	Eticha D.	245
Bräsemann I.	170, 252	Ewert F.	61, 108, 180, 182
Braun J.	165	Fank J.....	103
Brock C.....	199	Fatima A.	244
Brunotte J.	165	Fecht-Bartenbach J. v. d.....	67
Bühle L.	83, 85	Feger G.	251
Bustamante I. G.....	215	Feike T.....	134
Butterbach-Bahl K.	205	Fellmeth U.	246
Cárdenas L. M.....	220	Fiedler K.	148
Carter T. R.....	180	Fierlbeck L.	256
Černý J.	233	Filipcik R.....	240
Chen D.	218	Franko U.....	103
Chen X.	150	Freitag L.	194
Christen O.	183, 209, 278	French T.	282
Claupein W. 149, 161, 162, 196, 205, 221, 224, 229, 247, 259, 260, 268, 272, 279, 281, 282		Fricke T.....	81, 89, 174
Claus S.	274	From T.....	176
Cortinas Vicent A.....	47	Fronzek S.	180
Cramer, F.....	283	Fuchs M.....	27, 37, 234
Daum D.	144	Führs H.....	151
Denmead O. T.....	218	Fusuo Z.	39
Deumelandt P.....	183	Gäbert T.	69, 145
Dietz-Pfeilstetter A.....	258	Gajić A.	24
Dinklage S.	144	Gall C.....	162
Dittert K.....	43, 218, 219, 220	Gallasch M.....	207
		Gans W.....	214

Gaudchau M.....	93	Hu Y.....	238
Gauder M.....	205, 279	Hubert S.	29, 157, 159, 247, 273
Geilfus C.-M.....	189, 241, 250	Hünerjäger R.	276
Genius D.....	272	Hutyrova H.....	240
Gesell S.	260	Ihling H.	45
Gibon Y.....	198	Ijaz M.	120
Gierus M.	173	Isermann K.	213
Gilli J.....	57	Isermann R.	213
Goldbach H.....	198	Isselstein J.....	87, 175, 176
Götz K.-P.....	170, 252	Jacobs A.....	26
Grabe M.....	170	Jampatong S.....	95
Graeff-Hönninger S.	205, 221, 229, 268, 275, 279, 282	Jandak J.....	240
Graß R.....	177, 178	Janke S.....	55
Greef J.-M.....	155, 165, 179	Janku L.	240
Greune B.	175	Jantschik D.	160
Gröblichhoff F.-F.	165, 248	Jasper J.	175
Gronle A.	71	Jung R.	208
Gruber S.	162, 196, 247, 259, 260, 272, 281	Kage H.	19, 35, 63, 91, 110, 156, 185, 204, 218, 219, 230, 274
Grün A.	250	Kahlen K.	101, 106
Gwinner A.....	150	Kaul H.-P.	75, 146, 263, 265, 270
Hackspacher S.	279	Kautz T.	202
Hähndel R.....	215	Kayser M.	175
Hamann H.	246	Kersebaum K.-C.	178
Hanstein S.....	190, 191, 244	Kielhorn A.	79
Harndorf J.....	81	Kipp S.	223
Hartmann T.....	39	Klingebiel L.	277
Hartung K.	29, 247	Klößing B.....	45
Heckmann M.	165, 179	Knab G.	45
Heinsoo K.....	83, 85	Knörzer H.	126
Henle W.....	149	Knotova D.....	240
Hensgen F.....	83, 85	Koch H.-J.....	24, 26, 97, 237
Herbst F.....	214	Köller K.	162
Hermann W.	161	Koltermann D.....	155
Hernandez R.	282	Köpke U.....	47, 202
Herrmann A.	35, 173, 185, 230, 274	Kos M.	233
Herzog H.	170, 252	Köslin-Findeklee F.....	154
Heuwinkel H.	33	Köster J. R.....	43, 218, 220
Heyer C. A. C.	255	Kraft M.	195
Hinck S.	79	Krauth E.....	256
Hinners-Tobrägel L.....	273	Krechel R.....	198
Hlusek J.....	240	Kreppold J.	33
Hoffmann C.	49, 254, 280	Kreuter T.....	27, 37, 234
Höhne E.....	209	Krieger J.	51, 228
Honermeier B.	55, 57, 93, 99, 120, 124, 163, 261	Kroschewski B.....	228
Höppner F.....	226, 254	Krück S.	217
Horst W. J.....	142, 151, 154, 243, 245	Krüger J.	103
		Kues P.	79
		Kuhn B.....	242

Kuhn K.....	45	Moreno J. G.....	242
Kulhánek M.....	233	Morgan S. H.....	188
Kuon J.	259	Mueller K.	79
Kupisch M.....	61, 108	Mühling K. H. 31, 43, 187, 188, 189,	
Küpper P. M.....	202	193, 218, 219, 220, 241, 249, 250,	
Lammel J.....	216	251, 255	
Landgraf A.	59	Müller K.	57
Landvogt C.	144	Müller T.....	29, 39, 41, 215, 246, 247
Langensiepen M.	61, 108	Munz S.	268
Langhof M.....	257, 258	Muskolus A.	51
Laser H.	165	Nerlich K.	221
Leithold G.	112, 116, 172, 199, 212	Neubauer M.....	161
Lemme H.	237	Neuschwandtner R. 146, 263, 265,	
Lenz R.	256, 267	270	
Leschhorn B.	99	Neuhaus C.....	241
Leubner R.....	191	Neukam D.....	110
Liebig H.-P.....	229	Neumann G.	242
Lindberg S.	188	Nowak N.....	194
Lindhauer M. G.....	249	Ober D.	189
Link-Dolezal J.	161, 224	Olfs H.-W.	158
Lock R.	180	Ott H.	276
Loel J.....	280	Otto D.	281
Lohr D.....	122, 225	Pacholski A.	35, 91, 218, 219, 230
Loiskandl W.....	75	Paeßens B.....	149
Losak M.....	240	Pahlmann I.	204
Losak T.....	240	Paladey E.	249
Lu W.	238	Parra-Londono S.	154
Ludewig U.....	67, 246	Pawelzik E.	13
Lütke Börding S.....	165	Peiter E.....	150, 153, 194
Lütke Entrup N.....	165	Peiter-Volk T.....	150
Lux G.....	73	Pekrun C. 29, 157, 158, 159, 160,	
Makary T.....	29, 247	162, 247, 256, 267, 273	
Mammel W.....	256, 267	Petersen J.	158
Manderscheid R.	167, 168	Pfenning J.....	229
Manninen A.	220	Pflaum S.....	160, 256, 267
Masood S.	187	Pflugfelder M.....	161
Mast B.	275	Pfützner B.....	45
Meier B.	150	Piepho H.-P.	29, 247
Meinen C.	231	Pitann B.	190, 192, 244
Meiners I.....	163	Plieth C.	187
Meinken E.....	122, 225	Pohle M.	103
Menge-Hartmann U.	226	Poschenrieder C.	238
Menke C.	227	Puhl T.	158
Merker C.....	248	Qayyum M. F.	201
Mistele B.....	95, 222, 223	Quakernack R.....	35, 230
Mohamed A.-K.....	190	Rauber R.	208, 227, 231
Mohn J.....	220	Reddersen B.....	89
Mokry M.....	29	Reichelt M.....	255
Möller K.	41	Reineke H.....	203, 206

Reinsdorf E.....	97	Sneyd J.....	256, 267
Reisenauer H. P.	201	Sommer H.....	112, 116, 172, 211, 212
Richter F.	177	Song Z.	238
Richter V.....	165, 179	Stadler A.....	61, 108
Rimbach G.....	255	Starke P.	49
Rissel D.	153	Stauß B.....	273
Rohwer M.	219	Steffens D.....	152, 201, 236
Roitsch T.	154	Steinfurth D.....	250
Römheld V.....	242	Steininger M.....	45, 183
Rötter R.	180	Steinmann H.-H.	114
Rücknagel J.....	209, 278	Stemann G.	157, 158
Rueß L.....	217	Stephan H.....	185
Rühl G.	155, 257, 258	Stetzl E.	103
Ruser R.	215	Stieber J.	77
Salas P.	240	Stillger V.	79
Saleh L.	187	Stockfisch N.....	203, 206, 207
Salvaro de Souza, M. A.....	177	Strakova M.....	240
Saqib M.	197	Streb J.	246
Sayer J.	118, 166	Stülpnagel R.	277
Schäfer B. C.	157, 158, 165, 248	Stützel H.	101, 106, 148, 184, 186
Schattschneider P.	165	Sung Y.-H.....	124
Schellberg J.....	87	Taube F.	35, 173, 230, 274
Scherer H. W.....	232	Techow A.....	35, 230
Schiefer R.....	162	Thies B.	178
Schierstein S.	159	Thor K.....	153
Schill R.	196	Tillmann P.....	225
Schittenhelm S.	195	Tobi D.	173
Schmidhalter U. 1, 33, 95, 222, 223, 238		Trautz D.	79
Schmidtke K.	59, 73, 77	Trimpler K.	206
Schneider H.....	149	Tuzson B.	220
Schneider T.	282	Uddin N.....	191
Scholl P.	75	Ulas A.	142
Schubert S.	152, 190, 191, 192, 197, 201, 236, 244	Ullah H.....	261
Schulte auf'm Erley G.....	142, 154	Uptmoor R.	148, 184
Schulz R.	29, 39, 41, 215, 247	Urban A.	85
Schuster C.....	27, 37, 234	Vašák F.	233
Schwarz M.....	55	Veh C.....	229
Sedlář O.	233	Wachendorf C.....	174
Seidel A.	91	Wachendorf M. 81, 83, 85, 89, 174, 177, 178, 277	
Seidel F.	221	Wagner A. E.	255
Seling S.	249, 251	Wagner B.....	45, 183
Senbayram M.	43	Wahmhoff W.	7
Sevcikova M.....	240	Weber E. A.	259, 260
Shahzad A. N.	192	Weidemann C.	31
Shahzad M.	193	Weigel H.-J.	167, 168
Siebert S.....	182	Weigelt A.	81
Sieling K.	91, 156, 204, 274	Weimer A.	159
		Weinmann M.....	242

Weiß K.....	162, 247	Witzel K.	187, 251, 255
Weiß M.	272	Wrage N.	176
Weisser W. W.....	81	Wulfes R.....	276
Well R.....	220	Wünsch K.	130, 272, 281
Wellie-Stephan O.	158	Xingping C.	39
Wening A.....	152	Yan F.....	55, 57
Wenske D.....	45	Yang H.....	67
Werban U.	103	Zacharias A.....	148
Weyer T.....	165	Zahn M.	243
Wiechers D.....	101, 106	Zecha C.	224
Wiegel R.....	205	Zeller S.	55
Wienforth B.....	138, 274	Zerche S.	122, 225
Wiesler F.	142	Zikeli S.....	196
Wijk M. van.....	61, 108	Zimmermann C.....	162, 256, 267
Wimmer M.	187, 198	Zörb C.....	187, 189, 193, 250
Winterhalter L.	95	Zutz K.	186
Wittich K.-P.....	195		