Mitteilungen der
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften
Band 25

Nachhaltige Erzeugung von Nachwachsenden Rohstoffen

Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V. mit der Technischen Universität München, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und dem Technologie- und Förderzentrum Straubing

Beiträge in ausschließlicher wissenschaftlicher
Verantwortung der jeweiligen Autoren

Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Präsident: Prof. Dr. M. Wachendorf
Geschäftsführerin: Prof. Dr. C. Pekrun

Geschäftsstelle:
Institut für Angewandte Agrarforschung (IAAF)
Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen
Neckarsteige 6-10
72622 Nürtingen
Telefon: 07022 / 201 404
E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

Tagung der

Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

mit der

Technischen Universität München,

der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft

und dem

Technologie- und Förderzentrum Straubing

04. bis 06. September 2013

Weihenstephan

Nachhaltige Erzeugung von Nachwachsenden Rohstoffen

Kurzfassungen der Vorträge und Poster

Herausgeber:
C. Pekrun, M. Wachendorf
und L. Francke-Weltmann
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Verlag Liddy Halm
Göttingen 2013

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: Nachhaltige Erzeugung von Nachwachsenden Rohstoffen

Hülsbergen, K.-J., H. Schmid: Umweltwirkungen nachwachsender Rohstoffe und pflanzenbauliche Strategien zur Optimierung 1

Taube, F., A. Herrmann: Stoffflüsse im System Biogasproduktion 8

Becker, H. C.: Herausforderungen für die Züchtung von Pflanzen als Nachwachsende Rohstoffe 17

Ulber, R.: Stoffliche Nutzung Nachwachsender Rohstoffe 21

Krautkremer, B.: Rolle der Biomasse in einer zukünftigen Energieversorgung aus der Sicht des Systemdesigns 24

Heißenhuber, A.: Ökonomie der NawaRo-Produktion 28

Fritsche, U. R.: Bioenergieproduktion im globalen Spannungsfeld von Arten- und Klimaschutz, nachhaltiger Entwicklung und Nahrungsmittelproduktion*

Vorträge im Wettbewerb der GPW: Ernst-Klapp-Zukunftspreis

Ren, H., P. Schönbach, H. Wan, M. Gierus, F. Taube: Effects of Grazing Intensity and Environmental Factors on Species Composition and Diversity in Typical Steppe of Inner Mongolia, China 32

Breitsameter, L.: Grünlandpflanzen zur Begrünung von Legehennen-Auslaufflächen: welche Eigenschaften sind wichtig? 36

Pahlmann, I.: Teilflächenspezifische N-Düngung im Winterraps 40

Hauk, S., S. Wittkopf: Biomasseleistung von Kurzumtriebsplantagen im ersten Umtrieb - Erträge von bayerischen Praxisflächen 44

Claus, S.: Ökobilanzierung der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen unter den Anbaubedingungen Schleswig-Holsteins 48

Parallelsektion Biogas I

Hensgen, F., L. Bühle, M. Wachendorf: Biogasertrag von Presssäften europäischen Extensivgrünlands nach hydrothermaler Konditionierung und mechanischer Entwässerung 52

Stockmann, F., M. Fritz: Eignung der Pseudogetreide Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung – Einfluss von Jahr, Standort, Saattermin und Sorte auf Ertragsparameter und Substratqualität 54

Hartmann, A., M. Fritz: Biogas aus Sorghum – Saatzeitpunkt und Sortenwahl 56

Zander, D., M. Fritz: Wickroggen in Biogasfruchtfolgen 58

Biskupek-Korell, B., F. Tomala, H. Vogt, J. Papenbrock: Biogas- und Methanausbeuten von *Euphorbia tirucalli* als trockentolerante Energiepflanze ... 60

Hahn, H., W. Ganagin, K. Loewe, M. Wachendorf: Flexible Biogasproduktion durch das ReBi-Verfahren 62

Parallelsektion Energiepflanzen I

Fritz, M., F. Stockmann, A. Hartmann: Erste Ertragsergebnisse neuer Energiepflanzen in Bayern 64

Simon, R., E. Sticksel, D. Hofmann, J. Eder, H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Energiebindung und -effizienz des Energiepflanzenanbaus zur Biogasnutzung .. 66

Gauder, M., N. Billen, S. Zikeli, M. Laub, W. Claupein: Mittelfristige C_{org}-Veränderungen im Oberboden durch Energiepflanzen-Anbausysteme – Ergebnisse eines Feldversuchs 68

Paeßens, B., A. Pacholski, H. Kage: Energiepflanzenanbau und Klimawandel: Wurzelsysteme von Sorghum und Mais im Vergleich 70

Schümann, K.: Kompatibilität von Ertragsoptimierung und naturschutzfachlichen Zielen im Energiepflanzenanbau? 72

Rampérez-Carrasco, M., A. Saxler, M. Bläsing, M. Müller, R. Pude: Die optimierte Produktion von Biomasse zur energetischen Nutzung aus Miscanthus 74

Parallelsektion Anbausysteme/Kulturarten

Schneider, R., E. Heiles, G. Salzeder, M. Schmidt, P. Urbatzka: Vergleich der Produktivität verschiedener Fruchtfolgen im ökologischen Landbau – Ergebnisse aus zwei Dauerversuchen 76

Siebrecht, N., G. Reichenberger, H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Anbau von Ölfrüchten im Mischfruchtanbau zur Deckung des Primärenergiebedarfs in einem ökologischen Praxisbetrieb 78

Böhm, H.: Anbau der Saatwicke (*Vicia sativa* L.) im Gemenge mit Hafer – eine Alternative in der Körnerleguminosenproduktion? 80

Jacob, I., G. Salzeder, A. Aigner, P. Urbatzka: Einfluss der Biofumigation auf den Ertrag und agronomische Eigenschaften von Ackerbohnen und Erbsen 82

Grabendorfer, S.: Biofumigation im ökologischen Kartoffelanbau 84

Krieger, J., M. Baumecker, B. Kroschewski, F. Chmielewski, F. Ellmer: Ableitung von Vegetationsindizes zur Beschreibung von Bestandesparametern bei Zuckerrüben 86

Parallelsektion Düngung/Gärreste I

Severin, M., C. Ahl, M. Kücke, J.-M. Greef: Phosphatlöslichkeiten und Phosphatdüngewirkung von Stoffen aus der Klärschlammaufbereitung – Betrachtung unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren 88

Bischoff, J., M. Ullmann, O. Christen: Untersuchungen zu Strip-Till und der Gülle-/Gärsubstrat-Depotdüngung im Maisanbau auf einem Sand-Rostgley 90

Glisczynski, F. von, A. Sandhage-Hofmann, F. Wagener, R. Pude: Optimierung des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen durch „Terra-Petra“-Einsatz? 92

Klein, D.-P., W. Hübner, F. Ellmer: Wirkung von Phosphordünger aus aufgeschlossenen Klärschlammaschen bei Mais und Raps 94

Andruschkewitsch, M., C. Wachendorf, M. Wachendorf: Funktionale Diversität der Pflanzen und der Bodenmikroorganismen in naturnahem Dauergrünland – Einfluss geringer Düngermengen 96

Spicker, A., F.-X. Maidl: Möglichkeiten einer sensorbasierten, teilflächenspezifischen N-Düngung zu Winterraps (*Brassica napus* L.) 98

Parallelsektion Biogas II

Heuwinkel, H.: Vergleichende Bewertung des Methanertragspotentials verschiedener Kulturarten*

Reddersen, B., T. Fricke, M. Wachendorf: Einfluss der Biodiversität auf die Methanausbeute und den Brutto-Energieertrag von Grünlandsilagen und der durch mechanische Entwässerung gewonnenen Presssäfte 100

Lütke Börding, S., T. Nemecek, F. Ellmer, B. Honermeier, B. C. Schäfer: Einfluss der Bodenbearbeitung und Fruchtfolgegestaltung auf die Umweltwirkungen der Biogaserzeugung 102

Riedel, C., D. Hofmann, E. Sticksel, J. Eder: Wintergetreide-Ganzpflanzensilage als Biogassubstrat - Arten- und Sortenvergleich 104

Kiesel, A., I. Lewandowski: Optimaler Erntezeitpunkt von *Miscanthus* Genotypen zur Biogasnutzung..... 106

Hofmann, D., C. Riedel, E. Sticksel, J. Eder: Optimierung von Biogasfruchtfolgen unter bayerischen Bedingungen..... 108

Parallelsektion Agroforst I

Lamerre, J., K.-U. Schwarz, M. Langhof, S. Bliefernich, J.-M. Greef: Strukturelle Vielfalt eines agroforstwirtschaftlichen „Alley-Cropping“ Systems als Chance für die Nachhaltigkeit..... 110

Ochsenbauer, M., T. Machl, F.-X. Maidl, M. Schilcher, K.-J. Hülsbergen: Sensorgestützte Analyse der Ertragsvariabilität von Winterweizen in einem Agroforstsystem mit schnellwachsenden Gehölzen zur Bioenergieerzeugung .. 112

Jung, L. S., M. Bärwolff, A. Vetter: Einflüsse auf die Erntequalität von Ackerfrüchten in Agroforstsystemen..... 114

Siebrecht, N., C. Birke, H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Abschätzung der Wirkung von Agroforstsystemen in der Erosionsmodellierung am Beispiel der Versuchsstation Scheyern..... 116

Huber, J., H. Schmid, K.-H. Häberle, H. Blaschke, K.-J. Hülsbergen: Kohlenstoffbindung in ökologisch und integriert bewirtschafteten Agroforstsystemen der Versuchsstation Scheyern/ Bayern 118

Gehring, K., S. Thyssen, T. Festner: Möglichkeiten der chemischen Unkrautregulierung bei der Anpflanzung von Miscanthus-, Pappel- und Weiden-Plantagen als nachwachsende Rohstoffkulturen 120

Parallelsektion Modellierung/Methoden I

Andermann, L., H. Schmid, H. Boecker, F. Reinicke, N. Laun, F. Wiesler, K.-J. Hülsbergen: Feldexperimentelle Untersuchung und Modellierung der Nitratdynamik unter gemüsebaulichen Kulturen..... 122

Swieter, A., S. Moenickes, J.-M. Greef, B. Ohnmacht: Modellbasierte Ermittlung des optimalen Schnittzeitpunktes von *Lolium perenne*-Sorten zur Erhöhung der Biogasproduktion 124

Knieß, A., U. Böttcher, K. Ni, H. Kage: Simulation von N_2O-Emissionen aus Biogas-Fruchtfolgen mit einem dynamischen Simulationsmodell..... 126

Weymann, W., U. Böttcher, K. Sieling, H. Kage: Modellierung von N-Aufnahme, N-Verteilung und N-Translokation während der generativen Phase von Winterraps 128

Zutz, K., A. Fricke, H. Stützel: Modellgestützte Prognose von Ernteterminen und Erntefenstern in der intensiven Gemüseproduktion..... 130

Bastet, J., J. Müller, O. Christen: Modeling Effects of Drought Stress on CO_2 and H_2O Gas Exchange in Barley Leaves..... 132

Parallelsektion Düngung/Gärreste II

Schritz, B., D. Kern, K. Friedrich, T. Appel: Mit Pflanzenkohle im Boden Ammoniumverluste vermeiden..... 134

Dietz, M., H. C. Hoffmann, S. Machill, K. Schmidtke: Hemmende Effekte von Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.) auf die N-Mineralisation im Boden..... 136

Lichti, F., M. Wendland, U. Schmidhalter, K. Offenberger: Die N-Effizienz von Biogasgärresten 138

Krieger, J., N. Fischer, K. Nielsen, K. Sensel, F. Ellmer: Einfluss verschiedener Gärprodukte aus Biogasanlagen auf die Kohlenstoffdynamik des Bodens 140

Ehmann, A., U. Thumm, I. Lewandowski: Düngeeffekt separierter Biogasgärreste auf den Ertrag von Silomais 142

Formowitz, B., M. Fritz: Effiziente Düngung mit Gärresten in Energiepflanzenfruchtfolgen..... 144

Parallelsektion Biogas III

Stockmann, F., M. Fritz: Einfluss von Standort und Herkunft auf das Ertragspotenzial der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) unter bayerischen Anbaubedingungen..... 146

Mast, B., S. Graeff-Hönninger, A. Reinhardt-Hanisch, A. Lemmer, H. Oechsner, W. Claupein: Mehrjährige Biogaskulturen – Einfluss des Erntezeitpunktes auf Ertrag, TS-Gehalt und Methanausbeute..... 148

Simon, R., E. Sticksel, D. Hofmann, J. Eder, H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Treibhausgasemissionen des Energiepflanzenbaus zur Biogasnutzung..... 150

Hahn, H., B. Krautkremer, K. Hartmann, M. Wachendorf: Konzepte für eine bedarfsorientierte Bereitstellung von Biogas zur flexiblen Verstromung..... 152

Formowitz, B., C. Dürnberger, F. Karsch, C. Riepl, S. Schleissing, B. Widmann: Die Energiewende im ländlichen Raum – Untersuchungen des bayerischen Energiewende-Diskurses 154

Parallelsektion Modellierung/Methoden II

Bystricky, M., H. Schmid, G. Weber-Blaschke, K.-J. Hülsbergen: Ökologische Bewertung von Energiepflanzen-Anbauszenarien in drei Regionen Bayerns mit dem Modell REPRO und der Ökobilanz-Methode..... 156

Hinck, S., N. Emeis, K. Mueller: Möglichkeiten der teilflächenspezifischen Grünlandbewirtschaftung (Precison Grassland Management) 158

Kottmann, L., K.-P. Wittich, A. Giesemann, S. Schittenhelm: Bestandestemperatur und Kohlenstoffisotopendiskriminierung als pflanzenbasierte Methoden für die Beurteilung von Trockenstress bei Winterroggen..... 160

Chen, T.-W., K. Kahlen, H. Stützel: Applying quantitative limitation analysis of photosynthesis in crop production research 162

Manderscheid, R., M. Erbs, H.-J. Weigel: Wirkung unterschiedlicher CO_2-Konzentrationen auf den Saftfluss und das Bestandesklima von Mais bei unterschiedlicher Wasserversorgung 164

Wolfrum, S., N. Siebrecht, M. Kainz, S. Papaja-Hülsbergen, K.-J. Hülsbergen: Diversitätsindizes 2.0 – Neue Methoden zur besseren Interpretation und Bewertung von Biodiversitätsdaten am Beispiel bayerischer Gemischtbetriebe 166

Parallelsektion Getreide

Yan, F., B. Stumpf, B. Honermeier: Einfluss der Stickstoffversorgung auf die antioxidative Kapazität von Weizen 168

Siebrecht, N., H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Vergleich der Backweizenproduktion von fünf Anbauregionen bezüglich ausgewählter Nachhaltigkeitsindikatoren 170

Voit, B., B. Killermann: Welche Rolle spielen die samen- und bodenbürtigen Krankheitserreger Fusarium (*Fusarium spp.*), Steinbrand (*Tilletia caries*) und Zwergsteinbrand (*Tilletia controversa*) für das Saatgut heute noch? 172

Zeise, K.: Reifegruppenmodell für Sorghum 174

Shafiee-Hajiabad, M., J. Novak, B. Honermeier: Relationship between the trichome morphology and essential oil composition of four oregano subspecies (*Origanum vulgare* spp.) 176

Schattschneider, P., J. Brunotte, F. Ellmer, B. Honermeier, H. Laser, B. C. Schäfer: Nacherntemanagement in Bewirtschaftungssystemen der konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat unter besonderer Berücksichtigung großer Ernterestmengen 178

Workshop Agroforst

Böhm, C., M. Kanzler, D. Freese: Agroforstsysteme in Südbrandenburg – Effekte auf Mikroklima und Wasserqualität 180

Böhmer, J., F. Wagener: Agroforstsysteme als Kompensationsmaßnahmen – Ergebnisse aus drei Jahren Praxisforschung im Bundesverbundprojekt ELKE.. 182

Ehret, M., L. Hartmann, R. Graß, N. Lamersdorf, M. Wachendorf: Ertragsentwicklung während der Etablierung eines Agroforstsystems aus Grünland und Weiden zur Erzeugung biogener Festbrennstoffe 184

Huss, H., B. Stimm: Hutwaldbeweidung mit Schweinen 186

Jung, L. S., M. Bärwolff, C. Schmidt, A. Vetter: Einflüsse auf Ertrag und Erntequalität von Ackerfrüchten in Agroforstsystemen 188

Masur, D., F. Hirschberg, J. Lamerre, J. Dauber: SRC-alley cropping: An integrative measure to sustain biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes? 190

Posterpräsentation 1: Leguminosen

Tauchnitz, N., J. Bischoff, M. Schrödter, H. Rupp, R. Meissner: Einfluss von Leguminosen in Maisfruchtfolgen auf die Sickerwassermenge und den Nitrataustrag anhand von Lysimeteruntersuchungen 191

Urbatzka, P., G. Salzeder, A. Rehm: Vergleich verschiedener Wuchstypen von Sommererbsen unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus 193

Kerttu, V., N. Legner, C. Meinen, R. Rauber: Analyse der Artanteile in Wurzelproben aus Erbsen-Hafer-Gemengen in zwei Jahren mit sehr unterschiedlicher Witterung 195

Bauer, A., T. Ebertseder, I. Jacob, P. Urbatzka: Ermittlung des ober- und unterirdischen Biomasseertrages verschiedener Wuchstypen von Erbsen in einem Gefäßversuch 197

Ziegler, K. V., R. Neugschwandtner, H.-P. Kaul: Überwinterung, Ertrag und Ertragsstruktur von Winter-Ackerbohnen im Marchfeld 199

Ziegler, K. V., R. Neugschwandtner, H.-P. Kaul: N-Aufnahme und N-Fixierungsleistung von Winter-Ackerbohnen 201

Chmelíková, L., H. Schmid, M. Hejcman, K.-J. Hülsbergen: Biomasseproduktion und Wurzelbildung von Luzerne-Klee-Grasmischungen auf unterschiedlich texturierten Böden 203

Voit, B., B. Killermann: Keimfähigkeit, Triebkraft und Feldaufgang bei Sojabohnen (*Glycine max*) 205

Recknagel, J., H. Nußbaumer, K. Wilbois: Übersicht der Ertrags- und Qualitätsergebnisse der Sortenversuche mit Sojabohnen im Rahmen des BÖLN-Projekts 'Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland...' im Jahr 2012 ... 207

Höppner, F., G. Rühl: Anbaueignung von Sojabohnen unter Berücksichtigung der Ertragsstruktur und wertgebender Inhaltsstoffe für den norddeutschen Raum .. 209

Stauß, B., T. Häußermann, J. Recknagel, C. Pekrun: Ertragsleistung von frühreifen Sojasorten in Abhängigkeit vom Saatzeitpunkt unter besonderer Berücksichtigung der ukrainischen Sorte Annushka 211

Pekrun, C., A. Koch, M. Röhl, J. Deuschle, C. Zimmermann, R. Lenz, K. Reidl: Bedeutung des Linsenanbaus für die Artenvielfalt – Auswirkungen auf Unkräuter und Feldvögel 213

Posterpräsentation 2: Sonderkulturen und Qualität

Kassa, G. D., V. J. Barthet, R. Bacala, S. Zikeli, S. Gruber, W. Claupein: Composition of cyanogenic glycosides in Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum* L.) collections: assessment of agro-ecological impacts 215

Espig, F., S. Graeff-Hönninger, W. Claupein: Screening von 293 Pflaumengenotypen hinsichtlich ihres Gehalts an gesundheitsfördernden, bioaktiven Inhaltsstoffen 217

Zeller, S., B. Honermeier: Einfluss von Saatgutbehandlung und Wachstumsbedingungen auf den Befall mit Falschem Mehltau und den Kornertrag von Gartenkresse (*Lepidium sativum* L.) 219

Gerson, L., K. J. Dehmer, S. Hartmann: Genetische Drift in Populationen des Deutschen Weidelgrases und Möglichkeiten von Selektionshilfen für die Betrachtung des Merkmals „Ausdauer“ 221

Russo, M., B. Honermeier: Licht- und entwicklungsbedingte Modifikation sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe in drei Sorten der Zitronenmelisse (*Melissa officinalis* L.) 223

Heuberger, H., G. Heubl, R. Bauer: Produktion von Pfingstrosenwurzeln (*Paeonia lactiflora* PALL.) für die Verwendung in der Traditionellen Chinesischen Medizin 225

Gruber, S., J. Kraus, M. Wahl, M. Pflugfelder, W. Claupein: Kann Saatgutaktivierung die Keimung und Entwicklung von Zuckerrüben günstig beeinflussen? 227

Graß, R., U. Böttcher, H. Kage: Untersuchung des CWSI-Index zur Erklärung von Ertragsdifferenzen zwischen bewässerten und unbewässerten Roggenhybriden einer Züchtungspopulation 229

Nurk, L., T. Fricke, B. Reddersen, M. Wachendorf: Einfluss der funktionellen Gruppen und Artenzahl des Grünlands auf die Silagequalität 231

Schmid, M., R. Pude: Kaskadennutzung von Schnitt- und Rodungsholz aus Obstplantagen als biogener Festbrennstoff 233

Posterpräsentation 3: Energiepflanzen

Hartmann, A., M. Fritz, T. Glauert, C. Rieckmann: Ertragspotential von Sorghum an unterschiedlichen Standorten in Deutschland 235

Klein, D., C. Wolf, G. Weber-Blaschke, C. Schulz, C. Kölling, K. Richter: ExpRessBio- Expertengruppe Ressourcenmanagement Bioenergie Bayern Ökobilanzielle Betrachtung der Forst- und Holzwirtschaft in Bayern 237

Strimitzer, L., K. Engelmann, E. Remmele, M. Effenberger, K.-J. Hülsbergen, D. Klein, K. Richter, C. Schulz, K. Thuneke, G. Weber-Blaschke, B. Widmann, P. Zerle: ExpRessBio Expertengruppe Ressourcenmanagement Bioenergie in Bayern 239

Schoo, B., M. Wessel-Terharn, S. Schroetter, S. Schittenhelm: Vergleichende Untersuchung von Wurzelmerkmalen bei Silphie und Mais 241

Pekrun, C., S. Hubert, C. Zimmermann, A. Rössler, W. Schmidt: Ertragsbildung von Mais-Stangenbohnen-Gemengen in Abhängigkeit von der Standraumverteilung und Saattechnik 243

Pekrun, C., S. Hubert, W. Schmidt: Unkrautkontrolle in Mais-Stangenbohnen-Gemengen 245

Knebl, L., G. Leithold, C. Brock: Inanspruchnahme von Humus-N durch Grünschnittroggen zur energetischen Nutzung 247

Duskova, S., J. Kren: Growing energy crops in the Czech agriculture 249

Gauder, M., R. Löx, S. Graeff-Hönninger, W. Claupein: Untersuchungen mit *Herbaspirillum frisingense* und Stickstoffdüngung auf das Wachstum von *Miscanthus* x *giganteus* 251

Hehmann, D., T. Kraska, G. Völkering, R. Pude: Nutzungsmöglichkeiten von mehrjährigen Biomassepflanzen als Torfersatz in Pflanzsubstraten 253

Graß, R., R. Stülpnagel, F. Watermann, M. Wachendorf: Integration von Energiepflanzen in Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus - Auswirkungen auf die Folgefrucht Winterweizen 255

Posterpräsentation 4: Biogas und Agroforst

Jacobs, A., S. Auburger, E. Bahrs, W. Brauer-Siebrecht, O. Christen, P. Götze, H.-J. Koch, O. Mußhoff, N. Pelka, J. Rücknagel, B. Märländer: Die Zuckerrübe als Energiepflanze in Fruchtfolgen auf hoch produktiven Standorten - eine pflanzenbaulich/ökonomische Systemanalyse 257

Hensgen, F., L. Bühle, J. Khalsa, M. Wachendorf: Energetische Verwertung des Laubes städtischer Bäume 259

Stockmann, F., M. Fritz: Einfluss von Trockenstress auf die Ganzpflanzen-Ertragsleistung von Buchweizen und Quinoa zur Nutzung als Biogassubstrat .. 261

Zeise, K.: Sorghum für Biogas –Ergebnisse des bayernweiten Sortenvergleichs 2012 263

Ohnmacht, B.: Einfluss einer verminderten Schnitthäufigkeit und N-Düngung auf den Biogasertrag verschiedener Futtergräser 265

Bühle, L., A. Urban, G. Dürl, F. Hensgen, M. Wachendorf: Ascheerweichungsverhalten bei der Verbrennung von Grünlandbrennstoffen... 267

Ehret, M., R. Graß, M. Wachendorf: Einfluss von Schatten auf die Produktivität und Qualität von Weißkleegras in einem Agroforstsystem aus Grünland und Weiden 269

Winterling, A., H. Borchert, K. Wiesinger: Etablierung und Wuchsleistung von schnellwachsenden Baumarten zur Energieholzgewinnung im ökologischen Landbau 271

Hartmann, L., M. Ehret, F. Richter, C. Leitch, N. Lamerstdorf: Ertragsschätzung von schnellwachsenden Gehölzen in Kurzumtriebs- und Agroforstsystemen während der Etablierungsphase im Rahmen des Verbundprojektes BEST 273

Jorissen, T.: Bewertung von Agroforstsystemen – ökonomische und ökologische Bilanzierung zur Berechnung der $CO_{2äq}$-Vermeidungskosten*

Posterpräsentation 5: Modellierung und Methoden

Wolf, S., J. Burkhard, S. Graeff-Hönninger, S. Zikeli, N. Merkt, M. Zahner, W. Claupein: Messung von Glucosinolaten in Brokkoli mit Nahinfrarotspektroskopie..... 275

Böttcher, U., A. Knieß, K. Ni, H. Kage: Dynamische Simulation der Einflussfaktoren auf Nitrifikation und Denitrifikation in Biomasse-Produktionssystemen zur Parametrisierung eines Modells für N_2O-Emissionen 277

Meinen, C., R. Rauber: Anwendung der Fourier-Transform-Infrarot (FTIR) Spektroskopie zur Erfassung der Wurzelverteilung in einem Ackerbohnen-Hafer-Gemenge..... 279

Thies, B., R. Graß, C. Kluß, A. Hermann, M. Wachendorf: Modellierung der Biomasseproduktion von Extensivgrünland mit dem Simulationsmodell FOPROQ zur Bewertung der Auswirkungen veränderter Klimabedingungen 281

Legner, N., C. Meinen, R. Rauber: Vertikale und horizontale Wurzelverteilung in einem Erbsen-Hafer-Gemenge mittels Profilwandmethode und FTIR-Analyse.. 283

Rühl, G., M. Langhof: Koexistenz im Maisanbau: Entwicklung einer effizienten Probenahmestrategie zur zuverlässigen Vorhersage des GV-Gehaltes eines konventionellen Nachbarschlages..... 285

Langhof, M., G. Rühl: Ergebnisse des BMELV-Forschungsprogramms zur Sicherung der Koexistenz beim Anbau von gentechnisch verändertem Mais: Ist die Anlage einer Mantelsaat eine zuverlässige Koexistenzmaßnahme? 287

Eckl, T., S. Hartmann, H.-P. Piepho: Erweiterung der „Hohenheim-Gülzower Serienauswertung“ um die Besonderheiten mehrjähriger Futterpflanzenversuche 289

Zecha, C. W., J. Link, W. Claupein: Nährstoffdefizite erkennen – Fluoreszenz und Spektrometrie im Vergleich 291

Gröblinghoff, F.-F., M. Westerschulte, A. El Jellouli, Th. Weyer: Einsatz von Reflexionssensoren zur Bestandsbeschreibung in pflanzenbaulichen Versuchen 293

Geipel, J., G. G. Peteinatos, J. Link, W. Claupein: "Hexe": eine unbemannt fliegende Multi-Sensor-Plattform zur Erfassung hyperspektraler Daten 295

Bryzinski, T., G.. Leithold, K.-J. Hülsbergen: Aussagekraft von Umweltindikatoren am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebs „Gladbacherhof“ 297

Heckmann, M., V. Richter, B. C. Schäfer, J.-M. Greef: Optimierter Klimabetrieb – Ertragsmodellierung und Risikominimierung in unterschiedlichen Anbausystemen mit dem Ziel einer optimalen Anpassung an den Klimawandel 299

Posterpräsentation 6: Düngung und Inhaltsstoffe

Tauchnitz, N., J. Bischoff, M. Schrödter, H. Rupp, F. Wiese, R. Meissner: Verminderung von Stickstoffverlusten durch Anwendung des Gülle-Strip-Till-Verfahrens in Maisfruchtfolgen 301

Zeise, K.: Untersuchungen zur Stickstoffeffizienz von Sorghum 303

Pacholski, A., K. Ni, D. Gericke, H. Kage: Kulturartspezifische NH_3-Emissionen nach Gärrestdüngung von Biogaskulturen - eine modellgestützte Szenarioanalyse 305

Holland, D., F.-X. Maidl: Charakterisierung der N- Aufnahme und Biomasseentwicklung von Pflanzen mit Hilfe des Spektralsensors „OpSeN“ 307

Seidel, A., A. Pacholski, H. Kage: Ammoniakverluste nach Ausbringung und Einarbeitung hoher Gärrestmengen zu Mais 309

Makary, T., R. Schulz, T. Müller, C. Pekrun: Sind frühe Düngungstermine bei kompensationsfähigen Winterweizensorten und Standorten mit einem hohen N-Nachlieferungspotential noch notwendig? 311

Übelhör, A., N. Billen, H. Ziegenhagel, S. Gruber, W. Claupein: Strip-Till im Weißkohlanbau – Wasserhaushalt und N-Düngestrategie 313

Reibe, K., F. Ellmer: Einfluss von Biokohle und deren Behandlung auf die Ertragsbildung von Kulturpflanzen 315

Schattschneider, P., S. Schrader, F. Ellmer, B. Honermeier, H. Laser, B. C. Schäfer: Einfluss von Zerkleinerungsintensität und Stickstoff auf den Strohabbau am Beispiel von Winterweizenstroh 317

Schwemmlein, L, S. Graeff-Hönninger, W. Claupein: Screening von Amarant-Akzessionen vier verschiedener Spezies hinsichtlich ihres Ölgehaltes unter Süddeutschen Anbaubedingungen 319

Posterpräsentation 7: Anbausysteme und Kulturarten

Pekrun, C., T. Würfel, B. Stauß, K. Köller, A. Bunk, K. Weiß: Das Konzept des Konservierenden Ackerbaus 321

Huang, S., S. Gruber, E. A. Weber, W. Claupein: Development of post-harvest strategies for oilseed rape (*Brassica napus*) to control volunteers in following crops 323

Weber, E. A., P. Wassermann, S. Gruber, W. Claupein: Kann unter trockenen Aussaatbedingungen sekundäre Dormanz Ursache für verminderte Feldaufgänge bei Winterraps sein? 325

Hey, K., C. Meinen, R. Rauber: Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wurzelverteilung und Ertragsbildung von Triticale (*Triticosecale*) 327

Jung, R., R. Rauber: Regulation von Unkräutern im ökologischen Maisanbau durch Untersaaten 329

Döring, T. F., O. Crowley, J. Smith: Reduzierte Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau – Erfahrungen mit dem Ecodyn- Kultivator aus On-Farm Feldversuchen in Südengland 331

Döring, T. F., L. Winkler, N. Fradgley, S. Howlett, M. Wolfe: Beziehungen zwischen Pflanzenhöhe, Unkrautunterdrückung, Lager und Kornertrag bei Winterhafer unter Bedingungen des ökologischen Landbaus 333

Klepatzki, J., T. Döring, J. Sayer, F. Ellmer: Ertragsvariabilität von Silomais in Brandenburg – Ergebnisse von On-Farm-Versuchen 335

Eder, B., J. Eder, H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Einfluss von Bilanzierungsmethoden auf die Humusbilanz von Silomais 337

Link, J., M. Neubauer, W. Claupein: Zwischenfruchtanbau zur Optimierung des Strip-Till Verfahrens auf schweren Böden 339

Kasper, M., H. Schmid, B. Freyer, K.-J. Hülsbergen, J. K. Friedel: Veränderte Produktionsverhältnisse in der Landwirtschaft durch den Klimawandel am Beispiel Ost-Österreichs 341

Neugschwandtner, R., H. Wagentristl, P. Liebhard, H.-P. Kaul: Ertrag und Ertragsstruktur von Winter-Weizen in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Vorfrucht 343

Bryzinski, T., G. Leithold, K.-J. Hülsbergen: Flächenbedarf und Nutzungseffizienz ökologischer und konventioneller Landnutzungssysteme 345

Grüter, M., H. Vogel, F. Ellmer: Durchdringungswiderstand des Bodens in verschiedenen Nutzungssystemen auf sandigen Standorten 347

Autorenverzeichnis……..349

*Beitrag lag bei Redaktionsschluss nicht vor

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 1–7 (2013)

Umweltwirkungen nachwachsender Rohstoffe und pflanzenbauliche Strategien zur Optimierung

Kurt-Jürgen Hülsbergen[1] und Harald Schmid[1]

[1] Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising. E-Mail: huelsbergen@wzw.tum.de

Problemstellung

Mit der Förderung nachwachsender Rohstoffe werden ambitionierte Ziele verfolgt. Nachwachsende Rohstoffe sollen zur Ressourcenschonung und Energieversorgung, zum Umwelt- und Klimaschutz beitragen, zudem Arbeitsplätze im ländlichen Raum schaffen. Allerdings treten aufgrund der Ausdehnung und räumlichen Konzentration von Biogasanlagen auch negative Umwelteffekte auf; in der öffentlichen Diskussion werden Biodiversitätsverluste durch „Vermaisung der Landschaft“, Nitrateinträge in Gewässer und Bodenbelastungen befürchtet (Die ZEIT 2011). Studien zeigen, dass die CO_2-Vermeidungsleistung von Bioenergielinien durch Humusabbau und negative C-Bilanzen (Hülsbergen & Schmid 2008, Schulze & Körner 2012) vermindert wird; bei Landnutzungsänderungen kann die CO_2-Freisetzung durch Mineralisation organischer Substanz sogar die CO_2-Bindung von Energiepflanzen übertreffen (Righelato & Spracklen 2007, Searchinger et al. 2007). Die Leopoldina-Studie (2012) empfiehlt keinen weiteren Ausbau der Bioenergie aufgrund des Flächenbedarfs und geringer Energieeffizienz. Diese Beispiele verdeutlichen, dass die Akzeptanz der Bioenergieerzeugung wesentlich davon abhängt, welche Umweltwirkungen bei der Biomasseerzeugung entstehen.

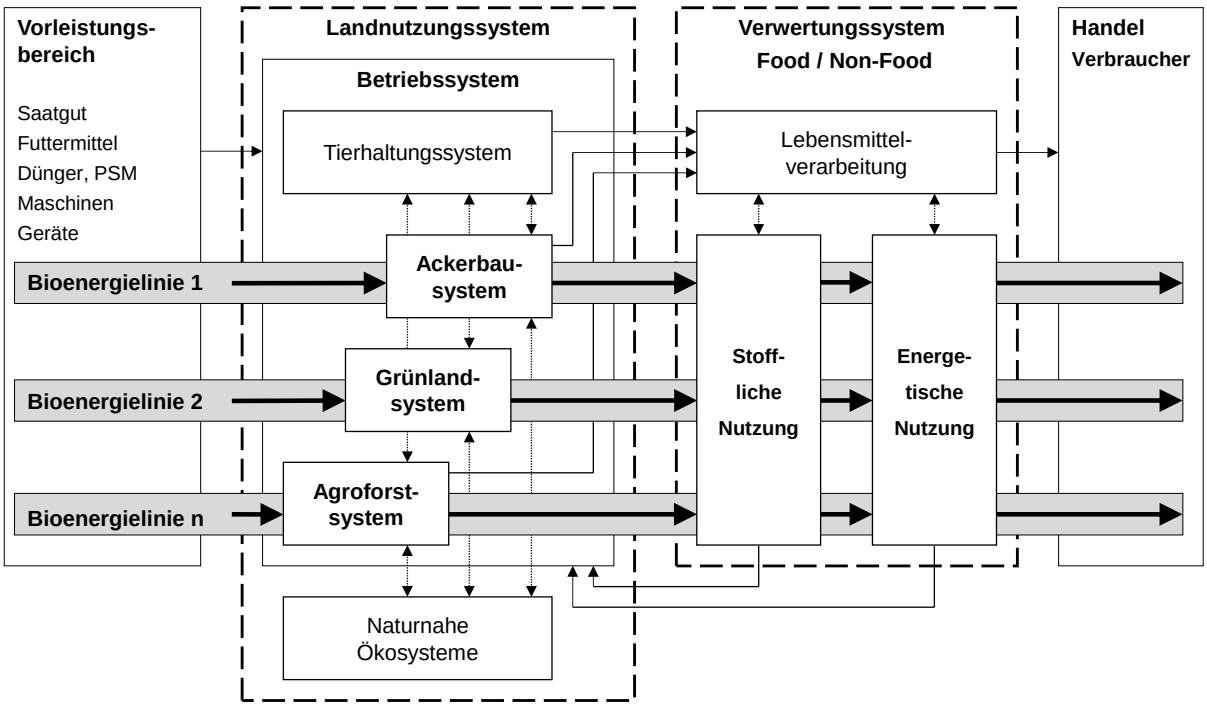


Abbildung 1: Konzeptmodell von Wertschöpfungsketten nachwachsender Rohstoffe. Systemebenen, Stoffflüsse und Wechselwirkungen

Ein methodischer Ansatz zur Analyse der Umweltwirkungen von Bioenergielinien ist die Ökobilanzierung, mit der alle relevanten ökologischen Effekte erfasst werden sollen (Scharlemann & Laurance 2008). Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU 2007) schätzt jedoch ein, dass „*… die für fundierte Prognosen der Umweltwirkungen notwendige umfassende Betrachtung der Ökobilanz der Biomasse bisher noch nicht zufriedenstellend geleistet ist. Bei den Ökobilanzen ist die Vergleichbarkeit aufgrund der Wahl unterschiedlicher Systemgrenzen nicht gegeben. In vielen Untersuchungen werden in Bezug auf den Treibhauseffekt vor allem Emissionen vernachlässigt, die durch den Anbau von Biomasse verursacht werden*“. Ein weiteres methodisches Problem ist die außerordentliche Vielfalt und Komplexität der Biomasseerzeugung (Abb. 1). In bisherigen Ökobilanzen werden meist mittlere Bedingungen (Ertrag, Emissionen) unterstellt; nur wenige Arbeiten beziehen regionale Unterschiede ein (Bystricky et al. 2013). Auch die Integration der Biogaserzeugung in Stoffkreisläufe, z.B. in Verbindung mit der Tierhaltung (Abb. 1), kann die Umwelteffekte entscheidend prägen. Das vor kurzem begonnene Forschungsprojekt *ExpRessBio* (Bryzinski et al. 2013) greift diese Problematik auf. Es hat zum Ziel, Methoden der Treibhausgas- und Ökobilanzierung nachwachsender Rohstoffe weiterzuentwickeln und zu harmonisieren sowie pflanzenbauliche, betriebliche und regionale Einflussfaktoren in die Ökobilanz zu integrieren.

Energieeffizienz nachwachsender Rohstoffe

Der Energieeinsatz bestimmt die Ressourceneffizienz und die CO_2-Emissionen im Pflanzenbau maßgeblich (Hülsbergen et al. 2001, Küstermann et al. 2013). Mit detaillierten Energiebilanzen kann die Effizienz der Biomasseerzeugung analysiert werden; hierbei werden alle Inputs fossiler Energie im Produktionsprozess, auch die des Vorleistungsbereichs, erfasst (Abb. 2).

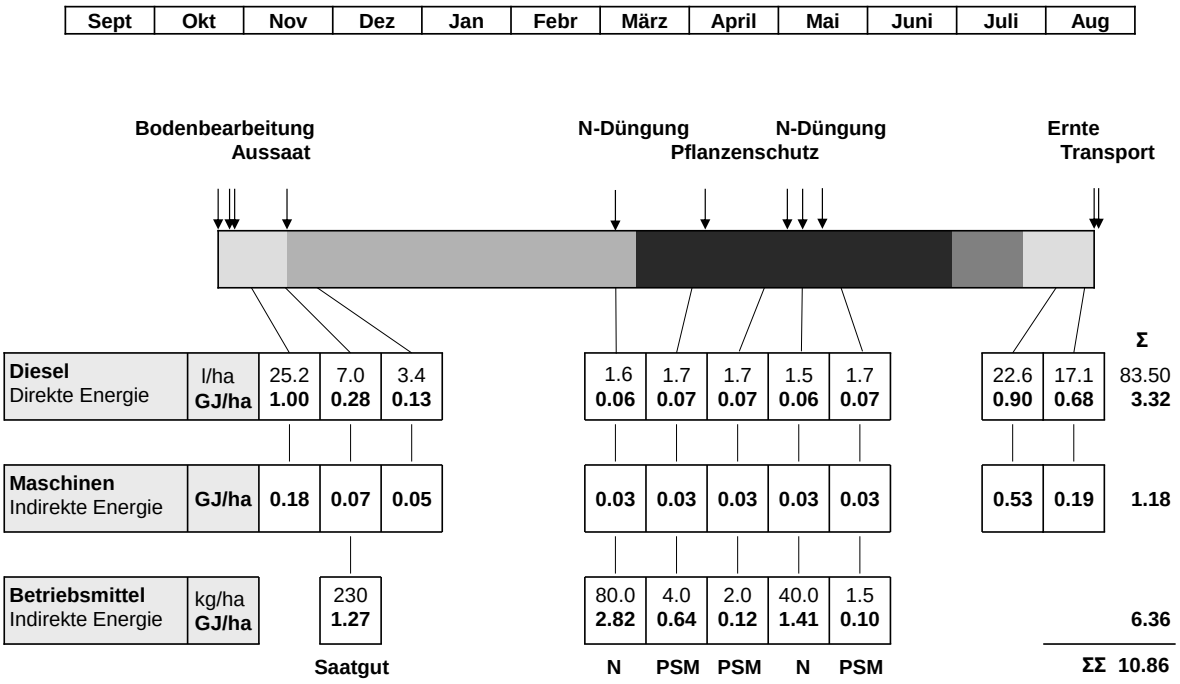


Abbildung 2: Ableitung des Energieeinsatzes im Produktionsverfahren von Winterweizen (nach Hülsbergen et al. 2002).

Im Beispiel (Abb. 2) werden 10,9 GJ ha^{-1} eingesetzt, davon 30,5% als Diesel, 10,9% durch Maschinen und Geräte. Der Mineral-N-Einsatz stellt mit 4,2 GJ ha^{-1}, wie in den meisten konventionellen Produktionssystemen, den bedeutendsten Energieinput dar. Oftmals ist die Erhöhung der N-Effizienz die wichtigste Maßnahme zur energetischen Optimierung des Anbausystems (Hülsbergen et al. 2002). Darüber hinaus bestimmt das Ertragspotenzial die Energieeffizienz. Maissilage ist auf den meisten Standorten das dominierende Biogassubstrat, auch weil im Maisanbau die höchste Energiebindung je Hektar erreicht wird. Unter günstigen Bedingungen sind Erträge bis 30 t TM ha^{-1} möglich, das entspricht einer Energiebindung von > 500 GJ ha^{-1} und einem Output/Input-Verhältnis von 20:1 bis 40:1 (bezogen auf die Systemgrenze Feld). Es gibt zahlreiche Versuche, die Effizienz weiter zu steigern, z.B. durch die Nutzung eines höheren genetischen Potenzials, durch optimierte Anbausysteme (Eder 2009) sowie die effiziente Verwertung der Gärreste (Lichti 2013). Andere pflanzenbauliche Experimente haben zum Ziel, den Mais in Energiepflanzen-fruchtfolgen zu integrieren und/oder Alternativen zum konzentrierten Maisanbau zu finden (Simon et al. 2013).
In der Prozesskette (Abb. 3) treten durch Transporte und die Lagerung von Biomasse, im Biogasprozess sowie bei der Stromerzeugung weitere Energieinputs und Verluste auf, so dass sich die Energieeffizienz deutlich reduziert (Abb. 3).

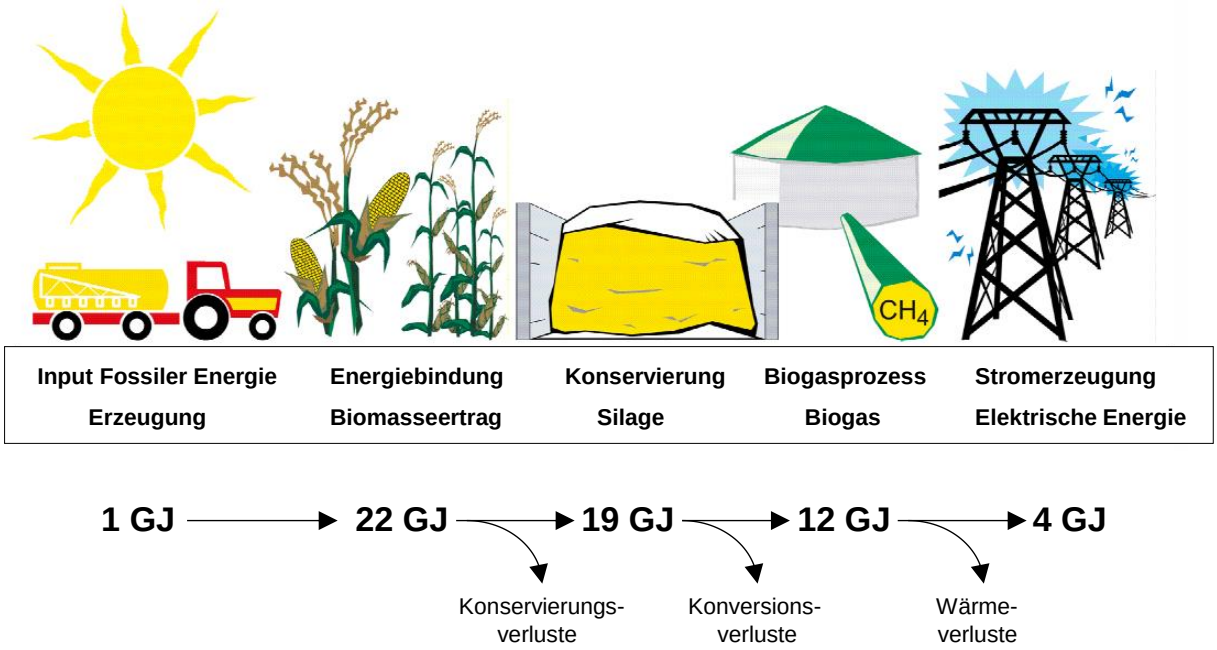


Abbildung 3: Energieeffizienz entlang der Biogas-Prozesskette (Helbig & Hülsbergen 2009)

Stickstoffeffizienz und Lachgasemissionen nachwachsender Rohstoffe

Beim Anbau von Raps und anderen N-intensiven Bioenergiepflanzen können so hohe N_2O-Emissionen auftreten, dass die Klimabilanz negativ wird (Crutzen et al. 2007). Wegen des hohen spezifischen Treibhausgaspotenzials von N_2O genügen bereits N_2O-N-Verluste von wenigen kg je Hektar, um die Treibhausgasbilanz deutlich zu beeinflussen. Daher ist es außerordentlich wichtig, die Prozesse der N_2O-Bildung aufzuklären und N_2O-Emissionen wirksam zu mindern.

Generell sind die Kenntnisse über die N_2O-Emissionen im intensiven Rapsanbau, gemessen an der großen wirtschaftlichen Bedeutung der Kulturart, der Anbaufläche und der N-Verlustrisiken, unzureichend. Es gibt einige ältere wissenschaftliche Arbeiten zu N_2O-Emissionen beim Anbau von Raps, die jedoch mit geringen, heute nicht mehr praxisüblichen N-Gaben und/oder auf Standorten mit sehr geringem N_2O-Emissionspotenzial durchgeführt wurden. Damit ist es bisher weder möglich, die durch den Rapsanbau verursachten Treibhausgasflüsse hinreichend genau abzuschätzen, noch den Effekt von Minderungsstrategien zuverlässig zu beurteilen. Auch aufgrund der schlechten Datenlage wurden bisher bei der Ökobilanzierung von Rapsmethylester die N_2O-Emisisonen entweder ganz vernachlässigt oder nur pauschale Emissionswerte angesetzt (Gärtner & Reinhardt 2003).

Auch im ökologischen Landbau wird die Bioenergienutzung ausgebaut, z.B. die Biogaserzeugung mit Kleegras als Substrat. Neben der Energieerzeugung geht es hierbei auch um die produktive Kleegrasnutzung, die Intensivierung von Stickstoffkreisläufen und Ertragssteigerungen. Feldexperimente im bayerischen Tertiärhügelland zeigen, dass die energetische Verwertung von Kleegras (Ernte anstelle von Mulch) zur Erhöhung der N_2-Fixierleistung und Minderung von N_2O-Emissionen führt. Die anfallenden Gärreste bewirken deutliche Ertragssteigerungen, z.B. bei Winterweizen von 4,5 auf 6,0 t ha^{-1} (Reents et al. 2012). Allerdings erhöhen sich auch die N_2O-Emissionen nach Gärrestanwendung (Abb. 4).

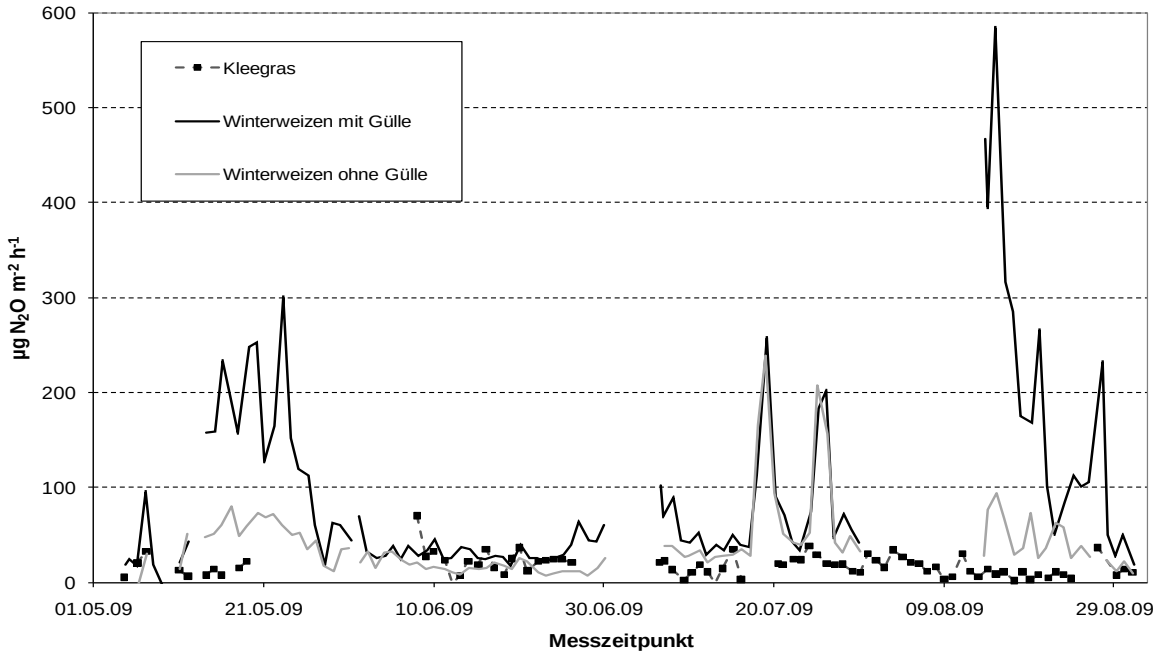


Abbildung 4: N_2O-Emissionen beim Anbau von Winterweizen und Kleegras, Messungen im Energiepflanzen-Fruchtfolgeversuch Viehhausen (Peter et al. 2011)

Die Messdatenreihen werden zur Validierung von Bodenprozessmodellen genutzt. Ziel ist es, N_2O-Flüsse unter differenzierten Standort- und Anbaubedingungen zu modellieren, und diese Daten in Ökobilanzen einzubinden.

Humus- und Kohlenstoffbilanz nachwachsender Rohstoffe

Kontrovers werden die möglichen Auswirkungen der Biomassevergärung auf den Humushaushalt des Bodens diskutiert (Hülsbergen & Schmid 2008). Durch den Abbau organischer C-Gerüste im Biogasfermenter werden negative Effekte auf den Humusgehalt befürchtet, da diese Stoffe nicht mehr für die Humusbildung zur Verfügung stehen. Einige Untersuchungen weisen aber darauf hin, dass die Gärrestsubstrate eine relativ hohe Humusersatzleistung besitzen, da im Biogasprozess vorwiegend leicht abbaubare C-Gerüste genutzt werden.

Mit einem neu entwickelten Modell (Küstermann et al. 2008) ist es möglich, die relevanten C-Flüsse auf Betriebsebene auf der Grundlage verfügbarer Daten näherungsweise zu beschreiben (Abb. 5). Betriebliche Beispiele zur Humusbilanz zeigen, dass es bei der Bewertung der Humuswirkungen entscheidend darauf ankommt, wie der Energiepflanzenanbau betrieben wird und wie die Biogaserzeugung in landwirtschaftliche Betriebssysteme eingebunden wird.

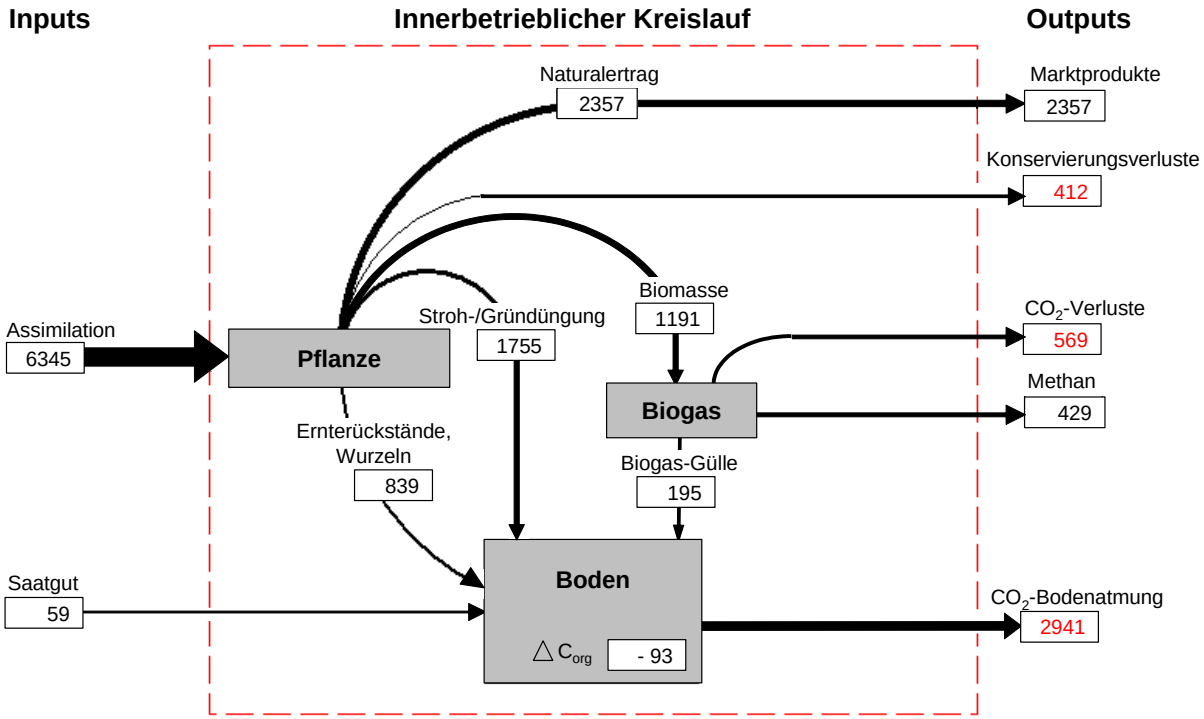


Abbildung 5: Kohlenstoffkreislauf in einem Betrieb mit Biogasanlage, Modellbetrieb mit Biogasanlage (Hülsbergen & Schmid (2008)

Die Wirkung der Bioenergieerzeugung auf betriebliche C-Flüsse und C-Pools hängt von der Energiepflanze, dem Anbauverfahren, der Konversionstechnologie, dem Recycling von Restsubstanzen und letztlich auch dem Referenzsystem (z.B. Marktfrucht- oder Tierhaltungssystem) ab. Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass es bei der Biogasgewinnung nicht zum Humusabbau kommen muss und auch positive Humusbilanzen erreichbar sind. Gefahren für die Humusreproduktion bestehen bei sehr hoher Maiskonzentration oder nach Grünlandumbrüchen.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Im vorliegenden Übersichtsbeitrag wurden Beispiele für Umweltwirkungen durch Stickstoff-, Kohlenstoff- und Energieflüsse (vor allem Treibhausgasemissionen) gegeben, die sich auf die in Deutschland wichtigsten Energiepflanzen und Bioenergielinien beziehen. Nicht behandelt wurden ökologischen Leistungen von Agroforstsystemen (vgl. Huber et al. 2013). Agroforstsysteme mit schnellwachsenden Gehölzen zur bioenergetischen Nutzung besitzen aber ein erhebliches Potenzial zur Kohlenstoffbindung, zur Treibhausgasminderung und Steigerung der Biodiversität. Neben den ökologischen Effekten ist die Produktivität eines Agroforstsystems wichtig, also die Frage, ob synergistische oder konkurrierende Effekte zwischen der Forst- und Agrarkomponente existieren. Mit Sensormessungen (Ochsenbauer et al. 2013) können derartige Ertragseffekte sowie die Wachstumsvariabilität, z.B. eines Weizenbestandes, in Abhängigkeit vom Forststreifen, quantifiziert werden.

Insgesamt stellt sich die Frage, ob die Bioenergieförderung künftig nicht stärker auf eine energie- und stickstoffextensive Biomasseerzeugung (vgl. Tilman 2006), z.B. in Agroforstsystemen, ausgerichtet werden sollte.

Literatur

Bryzinski T., Effenberger M., Engelmann K., Fritz M., Henkel K., Hijazi O., Hülsbergen K.-J., Klein D., Ochsenbauer M., Remmele E., Richter K., Schmidt H., Schulz C., Serdjuk M., Strimitzer L., Thuneke K., Weber-Blaschke G., Wolf C., Zerle P. (2013): Expertengruppe Ressourcenmanagement Bioenergie in Bayern. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25.

Bystricky M., Schmid H., Weber-Blaschke G., Hülsbergen K.-J. (2013): Ökologische Bewertung von Energiepflanzen-Anbauszenarien in drei Regionen Bayerns mit dem Modell REPRO und der Ökobilanz-Methode. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25.

Crutzen P.J., Mosier A.R., Smith K.A., Winiwarter W. (2007): N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmos. Chem. Phys. Discuss. 7, 11191-11205.

Die Zeit (2011): Biostrom, nein danke! Die Zeit vom 14. Juli 2011.

Eder B. (2009): Pflanzenbauliche Untersuchungen zum Einfluss von Genotyp und Anbauverfahren auf die Ertragsbildung und das Methanbildungspotenzial von Mais (*Zea mays.* L). Dissertation. Technische Universität München.

Gärtner S.O., Reinhardt G.A. (2003): Erweiterung der Ökobilanz für RME. IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.

Helbig S., Hülsbergen K.-J. (2009): Energiebilanz nachwachsender Rohstoffe zur Biogaserzeugung. In: Nachhaltige Landwirtschaft. Indikatoren, Bilanzierungsansätze, Modelle. Initiativen zum Umweltschutz 74. Erich Schmidt Verlag Berlin, S. 95-105.

Huber J., Schmid H., Häberle K.-H., Blaschke H., Hülsbergen K.-J. (2013): Kohlenstoffbindung in ökologisch und integriert bewirtschafteten Agroforstsystemen der Versuchsstation Scheyern/ Bayern. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25.

Hülsbergen K.-J., Feil B., Biermann S., Rathke G.-W., Kalk W.-D., 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.

Hülsbergen K.-J., Feil B., Diepenbrock W. (2002): Rates of nitrogen application required to achieve maximum energy efficiency for various crops: results of a long-term experiment. Field Crops Research 77, 61-76.

Hülsbergen K.-J., Schmid H. (2008): Humusbilanzen und C-Kreisläufe in Betriebssystemen mit Bioenergieerzeugung. KTBL-Schrift 468, 151-171.

Küstermann B., Kainz M., Hülsbergen K.-J. (2008): Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. Renewable Agriculture and Food Systems 23, 38-52.

Küstermann B, Munch C., Hülsbergen K.-J. (2013): Effects of soil tillage and fertilization on resource efficiency and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment in Southern Germany. Europ. J. Agronomy 49, 61-73.

Lichti F. (2013): Bewertung und Optimierung der Nährstoff- und Umweltwirkungen von Gärrückständen aus der Biogasgewinnung. Dissertation. Technische Universität München.

Leopoldina (2012): Bioenergy – Chances and limits. German National Academy of Sciences Leopoldina. Halle (Saale), 118 S.

Ochsenbauer M., Machl T., Maidl F.-X., Schilcher M., Hülsbergen K.-J. (2013): Sensorgestützte Analyse der Ertragsvariabilität von Winterweizen in einem Agroforstsystem mit schnellwachsenden Gehölzen zur Bioenergieerzeugung. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25.

Peter J., Schmid, H., Schilling, R., Munch, J.C., Hülsbergen K.-J. (2011): Treibhausgasflüsse beim Anbau von Winterweizen und Kleegras. In: Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischen Landbau, S. 147-150.

Reents H.J., Kainz M., Hülsbergen K.-J. (2012): Fruchtfolgen zur Biomasseproduktion für Biogas im ökologischen Anbausystem – ausgewählte Erträge und Bodenmerkmale. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24, 228-229.

Righelato R., Spracklen D.V. (2007): Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests? Science 317, 902.

Scharlemann J. P. W., Laurance W.F. (2008): How Green Are Biofuels? Science 319, 43-44.

Schulze E.-D., Körner C. (2012): Net primary production and bioenergy. In: Leopoldina: Bioenergy – Chances and limits. German National Academy of Sciences Leopoldina. Halle (Saale), S. 90-102.

Searchinger T., Heimlich R., Houghton R.A., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Tokgoz S., Hayes D., Yu T.-H. (2007): Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Trough Emissions from Land-Use Change. Science 319, 1238-1240.

Simon R., Sticksel E., Hofmann D., Eder J., Schmid H., Hülsbergen K.-J. (2013): Energiebindung und -effizienz des Energiepflanzenanbaus zur Biogasnutzung. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25.

SRU (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen. Erich Schmidt Verlag.

Tilman D., Hill J., Lehman C. (2006): Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. Science 314, 1598-1600.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 8–16 (2013)

Stoffflüsse im System Biogasproduktion

F. Taube und A. Herrmann

Grünland u. Futterbau/Ökol. Landbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24118 Kiel,
Email: ftaube@gfo.uni-kiel.de; aherrmann@gfo.uni-kiel.de

Einleitung und Problemstellung

In den letzten Jahren hat die Biogasproduktion in Norddeutschland eine starke Ausdehnung erfahren, die begleitet wurde von einer Expansion des Silomaisanbaus. In einigen Regionen, wie beispielsweise im Norden Schleswig-Holsteins, ist parallel ein deutliches Wachstum der Milchproduktion und/oder Rindermast zu beobachten (Gömann und Kreins, 2012). Nutzungskonkurrenzen zwischen dem Anbau von Futterpflanzen zur Bioenergieerzeugung bzw. der Nahrungs- und Futtermittelproduktion können folglich nicht ausgeschlossen werden. Dies betrifft vor allem Flächen, die für den Anbau von Mais geeignet sind, während der Einsatz von Grünlandaufwüchsen in der Biogaserzeugung bislang einen deutlich geringeren Stellenwert einnimmt (DBFZ, 2011).

Ziel dieses Beitrages ist es daher, (i) die Potentiale der Biogasproduktion aus Grünland und Mais bzw. Maisfruchtfolgen am Beispiel von Schleswig-Holstein aufzuzeigen, (ii) die aus dem Anbau resultieren Umwelteffekte darzustellen, (iii) eine ökonomische Betrachtung unterschiedlicher Substratproduktionssysteme vorzunehmen und (iii) Schlussfolgerungen für eine nachhaltige Biogasproduktion zu ziehen.

Ertragspotentiale der Substratproduktion

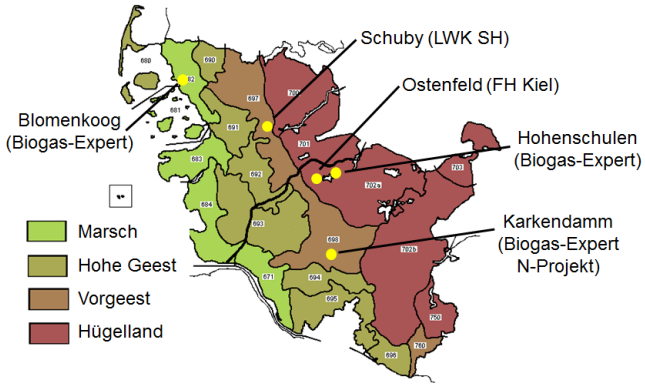


Abb. 1. Versuchsstandorte der Landschaftsräume Östliches Hügelland (Hohenschulen, Ostenfeld), Geest (Karkendamm, Schuby) und Marsch (Blomenkoog).

Der Beitrag basiert auf Untersuchungen zur Ertragsleistung und den Umweltwirkungen von Substratproduktionssystemen, welche an unterschiedlichen Standorten in den drei Naturräumen Schleswig-Holsteins, d.h. Geest, Hügelland und Marsch, von der CAU Kiel, der Fachhochschule Kiel, sowie der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein durchgeführt wurden (Abb. 1).

Im Rahmen des Verbundprojekts BIOGAS-EXPERT wurden an der agrarwissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel unterschiedliche Anbausysteme für die Biogasproduktion geprüft. Auf drei für die Naturräume Schleswig-Holsteins typischen Standorten (Hohenschulen (HS) im Hügelland, Karkendamm (KD) in der Geest und Blomenkoog in der Marsch) wurden mehrjährige Feldversuche etabliert. Auf dem sandig-lehmigen Standort Hohenschulen wurde Silomais in Monokultur (FF1), eine Fruchtfolge aus Mais, Weizen zur GPS-Nutzung und Welschem Weidelgras als zweischnittige Winterzwischenfrucht (FF2), sowie eine Fruchtfolge aus Mais, Körnerweizen und Senf als Winterzwischenfrucht (FF3) geprüft. Auf dem leicht humosen Sandstandort Karkendamm wurde eine Maismonokultur (FF1) mit einem Ackergras (Dt. Weidelgras , 4 Schnitte, FF4) verglichen. Auf dem Marschstandort wurden die Anbausysteme FF1, FF2 sowie FF4 analysiert. Darüber hinaus wurde die Wirkung unterschiedlicher Stickstoffdüngerformen (mineralisch (KAS), Biogasgärrückstände (Mix) und in HS Schweinegülle (SG) bzw. in KD Rindergülle (RG)) in vier Düngestufen (N1-N4) getestet. Untersucht wurden die Ertragsleistungen der Anbausysteme, der spezifische Methanertag der jeweiligen Substrate sowie

düngungsbezogene Lachgas- und Ammoniakemissionen und die N-Konzentration im Sickerwasser. Die gewonnenen Daten ermöglichten die Ermittlung der Energie- und Treibhausgasbilanzen der Biogasproduktion sowie Abschätzungen des Treibhausgasminderungspotentials.

Die Maismonokultur (FF1) erzielte auf den beiden Standorten KD und HS bei ausreichend hoher Stickstoffversorgung die höchsten Biomasseerträge (WIENFORTH, 2011, Sieling et al., 2013), s. Abb. 2. Das Ertragsniveau des Deutschen Weidelgras in 4-Schnittnutzung (FF4) lag auf dem futterbaulich geprägten, fakultativen Grünlandstandort deutlich unter dem der Maismonokultur. Der von der Maismonokultur in HS erzielte Biomasseertrag lag deutlich über dem von FF2 und FF3, insbesondere bei Düngung mit Gärrest (nicht dargestellt). Das geringe Ertragsniveau von FF3 ist hauptsächlich auf den Verbleib des Weizenstrohs und der Senfbiomasse auf der Fläche zurückzuführen. Außerdem trugen versuchsbedingt geringe Weizenerträge im ersten Versuchsjahr zu den niedrigen Gesamterträgen von FF2 und FF3 bei. Zudem erreichte die in FF2 angebaute frühe Maissorte (S200) im Vergleich zur in FF3 und FF1 angebauten mittelfrühen Maissorte (S240) ein deutlich geringeres Ertragsniveau. Der Vorteil einer nahezu ganzjährigen und somit höheren Strahlungsaufnahme der Fruchtfolgen FF2 und FF3 im Vergleich zur Maismonokultur konnte unter den Versuchsbedingungen nicht in einen höheren Biomasseertrag umgesetzt werden. Zu etwas abweichenden Resultaten kamen Untersuchungen, die von der CAU Kiel im Rahmen des N-Projektes Karkendamm sowie von der FH Kiel in Ostenfeld durchgeführt wurden. Am Standort Karkendamm konnten mittels einer Maisfruchtfolge (Ackergras-Silomais-Triticale) vergleichbare TM-Erträge erzielt werden wie mit einer Maismonokultur, bei allerdings deutlich höhererem N-Input (VOLKERS, 2004). Auch am Standort Ostenfeld wiesen Fruchtfolgen (Mais-GPS-Weizen-Gras bzw. Mais-Grünroggen) im 3-jährigen Mittel 10-20% höhere Ertragsleistungen auf als eine Maismonokultur (WULFES, 2010). Ob diese moderate Ertragssteigerung die höheren Kosten überkompensiert, bleibt zu hinterfragen. Sorghummonokultur bzw. –fruchtfolgen waren unter den gegebenen Witterungsbedingungen nicht konkurrenzfähig.

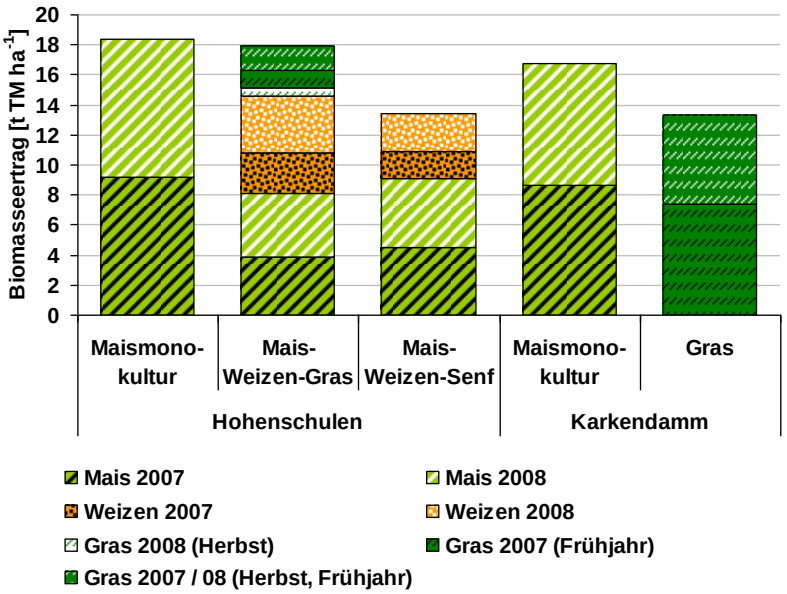


Abb. 2. Biomasseerträge der Anbausysteme auf den Versuchsstandorten Hohenschulen und Karkendamm im Mittel der Versuchsjahre bei mineralischer Stickstoffdüngung unter nicht limitierter Stickstoffversorgung (N3). Unterschiedliche Farben und Schraffuren geben jeweils den Ertragsanteil der einzelnen Kulturenarten in den unterschiedlichen Jahren wieder (WIENFORTH, 2011).

Auf dem Marschstandort zeichneten sich im 2-jährigen Mittel bei N-Versorgung über Mineraldünger die Maismonokultur und das Ackergras (FF4) durch die höchste Ertragsleistung aus (QUAKERNACK et al., 2011). Das Ertragspotential der Energiefruchtfolge (FF2) konnte nicht ausgeschöpft werden, da in einem Versuchsjahr witterungsbedingt Sommer- statt Winterweizen etabliert werden musste, was auf ein höheres Ertragsrisiko hinweist. Darüber hinaus konnte standortbedingt das Welsche Weidelgras nur über einen Herbstschnitt genutzt werden. Ein deutlich erhöhtes Ertragsrisiko wurde auch für den Mais dokumentiert, da im Vorversuch ein kompletter Ertragsverlust für den Mais zu verzeichnen war, bedingt durch eine starke Frühjahrstrockenheit, welche das Auflaufen des Maises stark einschränkte. Hinsichtlich der spezifischen Methanerträge (l_N CH_4 kg^{-1} TM) zeigten sich in Hohenschulen und Karkendamm keine Effekte der Düngerform bzw. -menge und nur geringe Unterschiede zwischen den Kulturen (Mais: 350 l_N CH_4 kg^{-1} TM, Weizen: 340 l_N kg^{-1} TM, Dt. Weidelgras 290-330 l_N CH_4 kg^{-1} TM in Abh. des Aufwuchses). Der Methanhektarertrag (m^3_N CH_4 ha^{-1}) wurde somit hauptsächlich durch den Biomasseertrag determiniert und die kalkulierten Methanhektarerträge der Anbausysteme (4.125-6.750 m^3_N CH_4 ha^{-1}) wiesen eine vergleichbare Rangfolge und Abstufung auf wie die Biomasseerträge.
Inwieweit eine Reduktion der Schnitthäufigkeit und damit der Produktionskosten in einer Steigerung der Konkurrenzfähigkeit von Grünland resultieren kann, wurde in allen drei Naturräumen geprüft. Die Ergebnisse eines im Hügelland und in der Geest durchgeführten 2-jährigen Versuches mit 12 Dt. Weidelgrassorten aus 3 Reifegruppen belegen eine Interaktion von Schnitthäufigkeit und Standort. Während in Hohenschulen eine Reduktion der Schnittzahl in einem Anstieg des Jahres-TM-Ertrages resultierte, konnte am Standort Schuby kein Effekt abgesichert werden (TOBI et al., 2012). In der Marsch wurden für das 3-Schnittsystem in Abhängigkeit der geprüften Dt. Weidelgrassorte (mfrüh vs. mspät) etwas höhere bzw. vergleichbare Methanhektarerträge als im 4-Schnitt dokumentiert (TECHOW et al., 2011). Zu bedenken ist jedoch die geringere Persistenz von Weidelgrasbeständen bei reduzierter Nutzungsintensität.

N-Bedarf und N-Düngewirkung von Gärresten

Von allen geprüften Anbausystemen zeichnete sich die Maismonokultur durch den geringsten N-Bedarf zur Erzielung des Maximalertrages (= N-Optimum) aus. So benötigten das Grünland und Anbausystem FF2 bei mineralischer Düngung (KAS) mit 300 bzw. 267 kg N ha^{-1} eine mehr als doppelt so hohe Stickstoffmenge im Vergleich zu FF1 (135 kg N ha^{-1} in KD, 124 kg N ha^{-1} in HS), was auf eine höhere N-Nutzungseffizienz von Mais zurückzuführen ist.
Was den relativen N-Düngewert* der organischen N-Dünger betrifft, zeigte sich sowohl in der Maismonokultur an beiden Standorten (HERRMANN et al., 2012b) als auch im Grünland eine Überlegenheit der Gärrestapplikation (HS-FF1: 0.98, KD-FF1: 0.75, KD-FF4: 0.65) im Vergleich zur Düngung mit Rinder- oder Schweinegülle (HS-FF1: 0.75, KD-FF1: 0.57, KD-FF4: 0.62), während in FF2 Schweinegülle einen höheren N-Düngewert (0.98 vs. 0.87) aufwies. Die höhere Düngewirkung des Gärrestes in der Maismonokultur bzw. im Grünland erscheint überraschend angesichts des geringeren Ammonium-N-Anteils des Gärrestes, wird aber vermutlich bedingt durch das geringere C/N-Verhältnis (reduzierte N-Festlegung). Der geringere N-Düngewert des Gärrestes in der Energiefruchtfolge FF2 ist zurückzuführen auf eine unterschiedliche Dynamik der N-Aufnahme von Mais und Weizen. Während der hohe N-Bedarf von Weizen im Frühjahr/Frühsommer über den hohen Ammoniumgehalt der Schweinegülle abgedeckt wird, kann Mais den aus der Mineralisation freigesetzten Stickstoff effizienter nutzen. Bei einer N-Versorgung alleinig über Gärrest kann jedoch das Ertragspotential von Grünland nicht voll ausgeschöpft werden, d.h. ein weitgehend geschlossener Nährstoffkreislauf ist nicht möglich. So wurden in der Marsch bei N-Aufwandmengen von 360-480 kg N ha^{-1} Ertragsdifferenzen von bis zu 38% zwischen mineralischer N-Düngung und Gärrestapplikation festgestellt.

* relativer N-Düngerwert = $NUE_{organisch}$ / $NUE_{mineralisch}$, und NUE = (N-Aufnahme der Variante – N-Aufnahme der Kontrolle) / (Gesamt-N-Düngungsmenge); der N-Düngerwert wurde nach Abzug der NH_3-Emission berechnet

Gasförmige N-Verluste und N-Auswaschung

Gärreste stellen wertvolle Nährstoffquellen dar, welche nachhaltig eingesetzt werden sollten, um auf Basis fossiler Brennstoffe erzeugte mineralische Düngemittel zu ersetzen. Herausforderungen in diesem Zusammenhang ergeben sich in Regionen mit hohen Anlagendichten aus den zur Verfügung stehenden Gärrestmengen. Zum anderen können spezifische Gärresteigenschaften Konfliktpotential zu bestehenden Umweltschutzzielen bergen. Dies betrifft im Besonderen (i) die Wasserrahmenrichtlinie, (ii) die NEC (National Emission Ceilings)-Direktive, welche den EU-Mitgliedsstaaten Obergrenzen für die Emission von Ammoniak, Schwefeldioxid, Stickoxiden und volatilen organischen Verbindungen setzt, sowie (iii) die ambitionierten Ziele auf nationaler und EU-Ebene hinsichtlich der Treibhausgasvermeidung. Gasförmige N-Emissionen sowie die N-Auswaschung nach Gärrestapplikation stellen die mengenmäßig bedeutendsten Verlustquellen. Weitere Emissionen enstehen am Fermenter und während der Gärrestlagerung (LIEBETRAU et al., 2011).

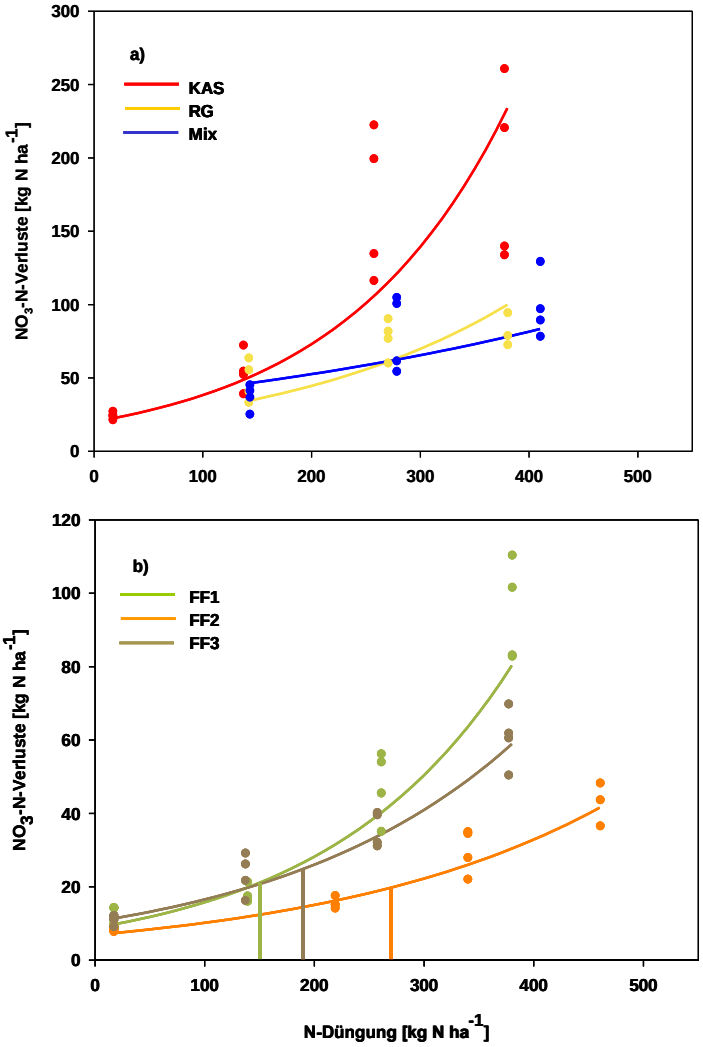


Abb. 3. Nitrat-N-Fracht (kg NO_3-N ha^{-1}) in Abhängigkeit des Gesamt-N-Inputs (a) in Maismonokultur am Standort Karkendamm für unterschiedliche N-Düngeformen (mineralischer Dünger (KAS), Rindergülle (RG) und Gärrest) in der Auswaschungsperiode 2007/08 mit 36 Beobachtungswochen, und (b) für die Anbausysteme FF1, FF2 und FF3 am Standort Hohenschulen als Mittel über N-Düngeformen und Jahre. Die vertikalen Linien geben das optimale N-Düngungsniveau zur Erreichung maximaler Erträge an (SVOBODA ET AL., 2013).

Ein Vergleich der im Biogas-Expert Projekt untersuchten *Kulturarten und Anbausysteme* zeigt, dass Mais aufgrund seiner im Vergleich zu Gras und Weizen geringeren Blattfläche sowie durch die Möglichkeit einer sofortigen Einarbeitung der ausgebrachten Dünger die geringsten NH_3-Emissionen aufwies (GERICKE, 2009). Da eine Einarbeitung im Grünland und im Weizen aufgrund der Ausbringung mittels Schleppschlauch nicht möglich war, lagen die NH_3-Emissionen unweigerlich höher als im Mais. Die Emission von Ammoniak nach Gärrestausbringung kann durch eine angepasste Applikationstechnik jedoch stark eingeschränkt werden, wie ein weiter führender Versuch am Standort Blomenkoog belegt. So wurde wurde nach Gärrestinjektion im Grünland eine im Vergleich zur Schleppschlauchapplikation verminderte Ammoniakemission festgestellt. Ein Anstieg der Lachgasemission, wie von WULF et al. (2002) berichtet, konnte nicht bestätigt werden (HERRMANN et al., 2012a). Die NO_3-Auswaschung am Standort Hohenschulen wies bei optimaler N-Düngung für alle drei untersuchten Anbausysteme ein ähnliches Niveau auf (Abb. 3b). Bei Überdüngung hingegen stie-

gen die potenziellen Auswaschungsverluste in der Maismonokultur im Vergleich zu den Fruchtfolgen (FF2 und FF3) stärker an. Am Standort Karkendamm führte der Maisanbau unabhängig vom Düngungsniveau immer zu deutlich höheren Nitratfrachten als die Substratproduktion vom Grünland (< 5 kg N ha^{-1}). Die flächenbezogene Lachgasemission war unter Mais im Vergleich zu Grünland oder Weizen (Abb. 4a) erhöht, was vermutlich mit höheren N_{min}-Werten und höheren Bodenwassergehalten unter Mais insbesondere im späten Frühjahr zu begründen ist (SENBAYRAM, 2009). Diese Relationen ändern sich jedoch bei Bezug der Emissionen auf die Produkteinheit kg TM (Abb. 4b).

Abgesehen von Kulturart/Anbausystem hatte auch die *Düngerart* einen signifikanten Effekt auf die untersuchten Umwelteffekte. Die aus der anaeroben Vergärung resultierenden Veränderungen der Gärresteigenschaften (pH-Wert, NH_4-N-Anteil) führte zu Veränderungen hinsichtlich des Ammoniakemissionspotentials. Sowohl im Feldversuch als auch in Modellrechnungen zeichnete sich der Biogasgärrest durch höchste Ammoniakverluste aus, was auf den höheren pH-Wert des Gärrestes zurückzuführen ist (GERICKE, 2009). Bezüglich der NO_3-Auswaschung konnten unter Mais, wie zu erwarten, starke Düngemitteleffekte, mit deutlich höheren Verlusten bei KAS-Düngung im Vergleich zu den organischen Düngern festgestellt werden (Abb. 3a). Unter Grünland hingegen hatte die Düngerform aufgrund der sehr geringen N-Frachten keinen Einfluss auf die Höhe der Verluste. Generell wiesen Gärrreste kein höheres Auswaschungsrisiko auf als Güllen tierischer Herkunft (SVOBODA, 2011). Auch bezüglich der kumulierten Lachgasemissionen konnte kein Düngemitteleinfluss abgesichert werden. Allerdings ist von einem höheren Emissionspotenzial der organischen Düngemittel im Vergleich zu KAS gerade in Kombination mit hohen Bodenwassergehalten auszugehen, da flüssige Dünger tiefer in den Boden infiltrieren und dort eher Denitrifikationsprozessen ausgesetzt sind (SENBAYRAM, 2009).

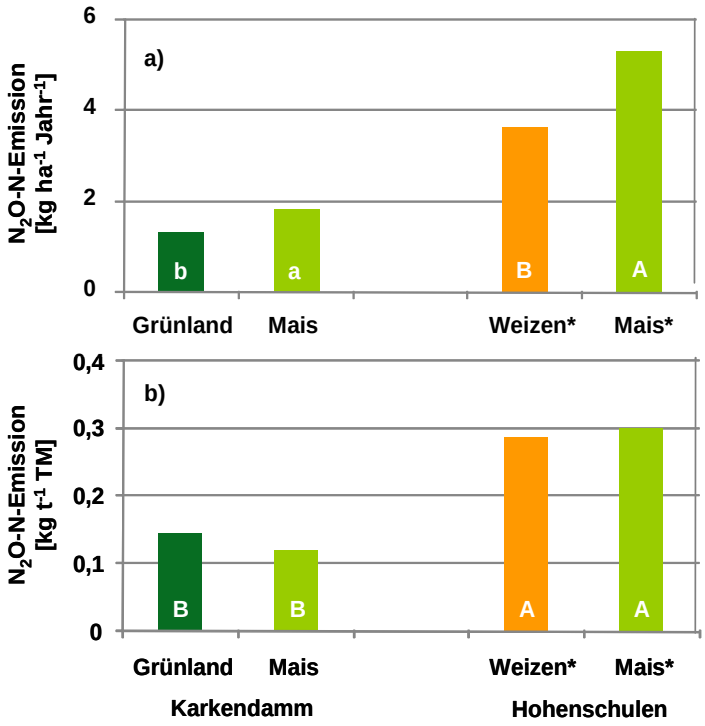


Abb. 4. (a) Mittlere jährliche (März-März) flächenbezogene (kg N_2O-N ha^{-1}) und (b) mittlere produktbezogene Lachgasemission (kg N_2O-N kg^{-1} TM) in Abhängigkeit von Standort und Kulturart. *inklusive Nachfrucht (SENBAYRAM, 2009).

Standorteffekte bezüglich der NH_3-Emission waren hauptsächlich auf unterschiedliche Windgeschwindigkeiten zurückzuführen und resultierten in höchsten Emissionen auf dem Marschstandort. Unterschiediche Bodentexturen führten unter Mais zu großen Standorteffekten bezüglich der Nitrat-N-Austräge, welche bei N-Überversorgung auf bis zu 80 kg N ha^{-1} (HS) bzw. 250 kg N ha^{-1} (KD) anstiegen. Auch die N_2O-Verluste unterschieden sich deutlich im Standortvergleich (Abb. 4), und waren auf dem sandig-lehmigen Standort HS unter Mais bis zu dreifach höher als auf dem Sandstandort KD. Dies ist zurückzuführen auf die höheren Bodenwassergehalte, welche den wichtigsten Prozess bei der Entstehung von N_2O, die Denitrifikation, begünstigen (SENBAYRAM, 2009).

Carbon footprint

Die in Biogas-Expert erfassten Daten zur Ertragsleistung, N-Auswaschung und Emission klimarelevanter Gase dienten weiterhin zur Abschätzung des Treibhausgas(THG)einsparpotentials der untersuchten Anbausysteme. Hierbei wurden direkte und indirekte THG-Emissionen resultierend aus der Substratproduktion im Feld, dem Transport und der Lagerung, sowie durch Konversionsverluste, Humusgehaltsänderung im Boden (Annahmen nach VDLUFA) und Methanschlupf an der Biogasanlage berücksichtigt und mit der Freisetzung von THG bei der Erzeugung derselben Energiemenge über fossile Energieträger verglichen. Maismonokultur erzielte im Hügelland und in der Geest bei optimaler N-Versorgung das höchste CO_2-Einsparungspotenzial (Abb. 5). Die höheren Methanhektarerträge der Maismonokultur konnten die negative Humusbilanz sowie die höheren flächenbezogenen N_2O-Emissionen überkompensieren. Eine positive Humusbilanz des Ackergrases (+ 600 kg Humus-C ha^{-1} $Jahr^{-1}$) ist ursächlich für ein THG-Einsparpotential, welches auf gleichem Niveau liegt wie Anbausystem FF2, obwohl das Ackergras deutlich geringere Methanhektarerträge realisierte. Organische N-Düngemittel zeichneten sich für die Maismonokultur an beiden Standorten und für das Anbausystem FF2 am Standort HS durch ein höheres THG-Einsparpotential im Vergleich zur mineralischen N-Düngung aus, was auf einen geringeren Energieaufwand und damit verbundene CO_2-Emissionen für die Düngerproduktion zurückzuführen ist. Bei der Nutzung von Ackergras zur Biogaserzeugung war ein umgekehrter Effekt zu beobachten. Die Applikation organischer Dünger führte zu einer geringeren CO_2-Einsparung als eine Mineraldüngung, begründet in der deutlich geringeren N-Düngewirkung und Biomassebildung. Alle dokumentierten CO_2-Einsparpotentiale der Anbausysteme übersteigen, mit Ausnahme von FF2 unter Mineraldüngung (48 %), die ab 2017 von der Biomassekraftstoff- bzw. Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnungen geforderten Minderungspotentiale von 50%. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Ertragspotential in der landwirtschaftlichen Praxis um bis zu 20% hinter den Erträgen auf Feldversuchsniveau zurück liegt.

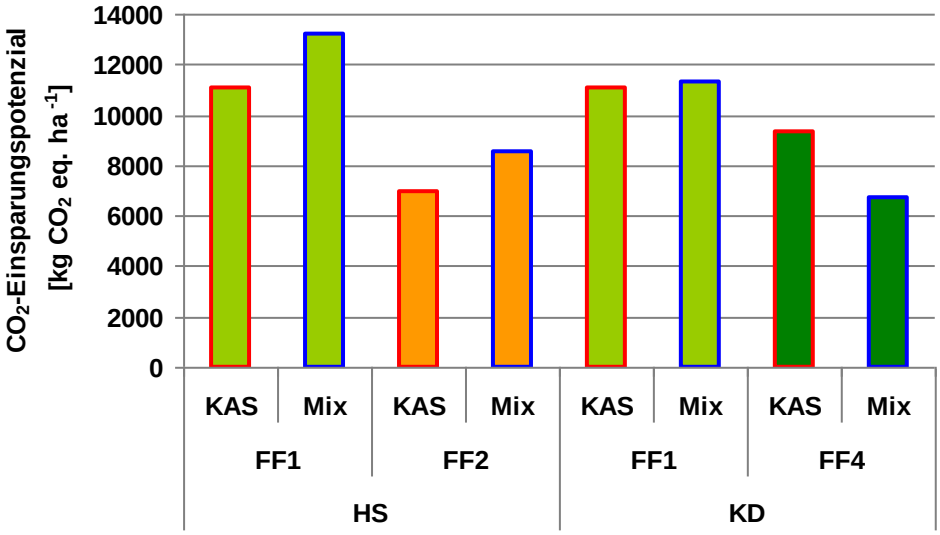


Abb. 5. CO_2-Einsparungspotential [kg CO_2 eq. ha^{-1}] bei optimaler N-Versorgung zur Erreichung eines maximalen Netto-Energiegewinns, in Abhängigkeit von Standort und N-Düngeform, im Mittel über 2 Jahre (CLAUS et al., 2012).

Ökonomische Betrachtung

Für die Betreiber von Biogasanlagen ist die ökonomische Bewertung der eingesetzten Kulturpflanzen von großer Bedeutung. Dabei sind nicht Ertragsleistung, Kosten der Substratproduktion u.a. entscheidend, sondern der Kostenanteil für die produzierte Energieleistung (Tab. 1). Für die im Rahmen des Biogas-Expert Projektes geprüften Kulturen Mais, Weizen-

GPS und Weidelgras wurde daher eine ökonomische Bewertung vorgenommen. Für die Ertragsleistung (t TM ha^{-1}) wurden durchschnittliche und sehr gute Erträge in Ansatz gebracht, die variablen Kosten sind in Anlehnung an die Kalkulationsdaten der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein dargestellt. Es wird dabei deutlich, dass Mais auf für diese Kultur ertragsstarken Standorten (Mittelrücken Schleswig-Holsteins) die geringsten Kosten pro erzeugter Energieeinheit verursacht. Weizen-GPS und Gras können aus ökonomischer Sicht auf Standorten konkurrieren, auf denen sie ertraglich überlegen sind (bessere Böden, u.a. Marsch).

Tab. 1. Ökonomische Bewertung von Silomais, Weizen-GPS und Weidelgras beim Einsatz in Biogasanlagen. (Techow, 2012)

		Mais		Weizen-GPS		Gras	
Ertrag TM	t ha^{-1}	14	18	14	16	14	16
TS-Gehalt	%	32	32	35	35	40	40
Ertrag FM		44	56	40	46	35	40
Σ variable Kosten	€ ha^{-1}	950	1010	860	900	940	1010
	€ t^{-1} TM	67,9	56,1	61,4	56,3	67,1	63,1
Gasertrag (CH_4)	l_N kg^{-1} TM	350	350	340	340	330	330
	m^3_N ha^{-1}	4.900	6.300	4.760	5.440	4.620	5.280
Stromertrag (38% WG)	kWh	18.620	23.940	18.088	20.672	17.556	20.064
Kof.kosten	Cent kWh^{-1}	5.1	4.2	4.8	4.4	5.4	5.0

Landschaftsbild - Akzeptanz - Monokultur

In Regionen mit intensiver Rindviehhaltung hat sich der Silomaisanbau, bedingt durch klimatische Veränderungen und Züchtungsfortschritte, in den letzten beiden Jahrzehnten deutlich ausgedehnt und bereits vor Einsetzen des „Biogasbooms“ zu einer Veränderung des Landschaftsbildes geführt. Durch den Anbau als nachwachsender Rohstoff und damit einer weiteren Zunahme des Flächenanteils nimmt die gesellschaftliche Akzeptanz der Kultur ab. Es wird zunehmend in Frage gestellt, ob dieser forcierte Maisanbau den Anforderungen an eine nachhaltige Landbewirtschaftung und damit der guten fachlichen Praxis entspricht. So förderte die zunehmende Monokultur im Laufe der vergangenen Jahre auch die Vermehrung von Fusarien und anderen, Blattkrankheiten auslösenden Erregern (SCHLÜTER, 2012). Die Maisabreife im vergangenen Jahr hat zudem gezeigt, dass sich der Mais neben diesem biotischen Stress auch den extremen Witterungsbedingungen anpassen musste. Blattfleckenanalysen bestätigten, dass auf dem Mais physiologische Blattflecken zu finden waren, denen keine pilzlichen Erreger zugeordnet werden konnten, da der Zelltod aufgrund von Beeinträchtigungen durch äußere Witterungseinflüsse entstanden ist. Neben diesem abiotischem Stress konnten auf den Maispflanzen aber auch Bereiche mit pilzlichen Erregern aufgezeigt werden (GRIMME, 2012).
Die skizzierten Entwicklungen erfordern eine Optimierung des Maisanbaus für die Biogaserzeugung aber auch die Rinderfütterung (Fruchtfolgen, Düngung etc.). Entsprechende Empfehlungen wurden unter Beteiligung von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft erarbeitet (MLUR, 2012).

Indirekte Landnutzungswandel (ILUC) – Effekte

In der derzeitigen politischen Diskussion der Bewertung der CO_2 – Einsparpotentiale nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Nutzung werden im Rahmen der Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe sogenannte ILUC-Effekte diskutiert bzw.

kalkuliert und eine Ausdehnung dieses Ansatzes auf die Biogaserzeugung erscheint mittelfristig als wahrscheinlich. Unter ILUC ist zu verstehen, dass Ausdehnungen von Nichtnahrungsmittelproduktionen auf Ackerland in Europa die hiesige Nahrungsmittelproduktion anteilig verdrängen und somit anderswo auf der Welt zu einer Ausdehnung entsprechender Ackerflächen führen, die mit zusätzlichen Emissionen assoziiert sind. Diese Emissionen werden den hiesigen Nawaro's angelastet. Abgesehen davon, dass eine solche Kalkulation mit erheblichen Unsicherheiten aufgrund geringer Datenverfügbarkeit und standörtlicher Variabilität in der Aussagefähigkeit eingeschränkt ist, ist ein solcher Ansatz grundsätzlich fragwürdig. Zum einen deshalb, weil unterstellt wird, dass die derzeitige Landnutzung in Europa als nachhaltig einzustufen ist. Dies ist jedoch angesichts der Tatsache, dass mehr als 72% der LN in der EU zur Futtermittelerzeugung genutzt werden, um den Konsum von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft zu decken, mehr als fragwürdig, da der aktuelle Fleischkonsum die Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) um den Faktor drei übersteigt. Ein „nachhaltigen Konsum" von Nahrungsmitteln entsprechend der Empfehlungen der DGE würde ca. 20 – 25% der Ackerflächen in der EU frei setzen. Angesichts dieser Dimensionen ist eine „Teller oder Trog" – Diskussion weit aus mehr angebracht als eine „Tank oder Teller" – Diskussion. Zum anderen müsste bei einer konsequenten Auslegung des ILUC-Ansatzes zum Beispiel auch die Förderung des ökologischen Landbaus in Europa grundsätzlich in Frage gestellt werden, da dieser aufgrund deutlich geringerer Flächenproduktivität als im konventionellen Landbau bei weiterer Ausdehnung erheblich ILUC-Effekte induziert, die jedoch den Produkten des ökologischen Landbaus nicht angelastet werden.

Schlussfolgerungen

Die Ausführungen haben gezeigt, dass eine ökoeffiziente Produktion von Biogas mit Substratanbau auf landwirtschaftlichen Nutzflächen mit erheblichen CO_2 – Einsparpotentialen möglich ist. Dies setzt eine optimierte „gute fachliche Praxis" des Anbaus ebenso voraus wie eine hohe technische Effizienz der Anlagen gekoppelt mit überzeugenden Kraft-Wärme-Konzepten. Unsere Kalkulation zeigen weiterhin, dass eine CO_2 – Vermeidung entsprechend der Renewable Energy Directive (RED) (minus 60% Emissionen im Vergleich zu fossilen Energieträgern) für optimierte Substratanbausysteme erreichbar ist. Die Berücksichtigung von ILUC – Effekten erscheint aus den verschiedenen dargelegten Gründen mehr als zweifelhaft.

Literatur

CLAUS, S., WIENFORTH, B., SIELING, K., KAGE, H., SENBAYRAM, M., DITTERT, K., TAUBE, F. & HERRMANN, A. (2012): Greenhouse gas balance of bioenergy cropping systems under the environmental conditions of Schleswig-Holstein. *Grassland Science in Europe* 17, 601-603.

DEUTSCHES BIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM, DBFZ (2011): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. http://www.erneuerbare-energien.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/36204.php.

GERICKE, D. (2009): Measurement and modelling of ammonia emissions after field application of biogas slurries. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

GÖMANN, H. und P. KREINS (2012): Landnutzungsänderungen in Deutschland. In: Tagung des DMK „Nachhaltige Intensivierung – ein neues Paradigma: Konsequenzen für den Maisanbau in Deutschland", 14. Mai 2012, Osnabrück.

GRIMMME, E., BEWARDER, I., BIRR, T., (2012): Krankheiten und Stress im Mais. Bauernblatt Schleswig-Holstein 13, 46 – 49.

HERRMANN, A., CLAUS, S., KAGE, H. & TAUBE, F. (2012a): Ökobilanzierung der Biogasproduktion in Schleswig-Holstein. Vortrag anlässlich der 62. Öffentlichen Hochschultagung der Agrar- und Ernährungswiss. Fakultat der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2. Februar 2012, Kiel.

HERRMANN, A., SIELING, K., WIENFORTH, B., TAUBE, F. & KAGE, H. (2012b): Short-term effects of biogas residue application on yield performance and N balance parameters of maize in different cropping systems. *Journal of Agricultural Science* (in press).

LIEBETRAU, J., DANIEL-GROMKE, J., REUSCHEL, C., OEHMICHEN, K., CLEMENS, J., HAFERMANN, C., WEILAND, P., FRIEHE, J. (2011): Bewertung klimarelevanter Gase aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf der Basis von Emissionsmessungen. In: KTBL (Ed.) Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. KTBL-Schrift 488, 185-195.

MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN, MLUR (2012): Empfehlungen zur Optimierung des Maisanbaus in Schleswig-Holstein. http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/LandFischRaum/05_Pflanzenproduktion/001_Maisanbau/Maisanbau_node.html.

QUAKERNACK, R., PACHOLSKI, A., TECHOW, A., HERRMANN, A., TAUBE, F. & KAGE, H. (2011): Ammonia volatilization and yield response of energy crops after fertilization with biogas residues in a coastal marsh of Northern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Doi:10.1016/j.agee.2011.05.030.

SCHLÜTER, K., (2012): Mais in Monokultur – Wie lange geht das noch gut? *Bauernblatt Schleswig-Holstein* 13, 44 – 46.

SENBAYRAM, M. (2009): Greenhouse gas emission from soils of bioenergy crop production systems and regulating factors - The Biogas Expert Project. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

SIELING, K., HERRMANN, A., WIENFORTH, B., TAUBE, F., OHLS, S., HARTUNG, E., KAGE, H. (2013): Biogas cropping systems: Short term response of yield performance and N use efficiency to biogas residue application. European Journal of Agronomy, 47, 44 - 54

SVOBODA, N. (2011): Auswirkung der Gärrestapplikation auf das Stickstoff-Aus¬waschungs¬po¬ten¬tial von Anbausystemen zur Substratproduktion. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

SVOBODA, N. TAUBE, F., WIEFORTH, B., KLUSS, C., KAGE, H., HERRMANN, A. (2013): Nitrogen leaching losses after biogas residue application to maize. Soil & Tillage Research, 130, 69 -80

TECHOW, A., QUAKERNACK, R., PACHOLSKI, A., KAGE, H., TAUBE, F. & HERRMANN, A. (2011): Deutsches Wiedelgras in der Biogasproduktion: Beeinflussung des Methanertrages durch Reifegruppe und Schnittregime. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau*, Band 12, 147-151.

TOBI, D., HERRMANN, A. & TAUBE, F. (2012): Wie oft Deutsches Weidelgras nutzen? *top agrar* 5/2012, 80-82.

VOLKERS, K. (2004): Auswirkungen einer variierten Stickstoff-Intensität auf Leistung und Stickstoffbilanz von Silomais in Monokultur sowie einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge auf sandigen Böden Norddeutschlands. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

WIENFORTH, B. (2011): Cropping systems for biomethane production: a simulation based analysis of yield potential and resource use efficiency. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

WULF, S., MAETING, M. & CLEMENS, J. (2002): Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: II. Greenhause gas emissions. *Journal of Environmental Quality* 31, 1795-1801.

WULFES, R. (2010): Energie aus Biomasse – Möglichkeiten der Fruchtfolgegestaltung und der Anbautechnik im Futterbau. 5. Master Class Course Conference „Renewable Energies“, HNE Eberswalde, 30. 11. 2010.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 17–20 (2013)

Herausforderungen für die Züchtung von Pflanzen als Nachwachsende Rohstoffe

Heiko C. Becker

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen.
E-Mail: hbecker1@gwd.de

Einleitung

In Deutschland sind zurzeit zwei Energiepflanzen flächenmäßig von großer Bedeutung: Mais als Substrat für die Biogaserzeugung (ca. 850.000 ha) und Raps für die Herstellung von Biodiesel (ca. 800.000 ha). Raps ist allerdings keine reine „Energiepflanze“ da ja etwa die Hälfte der Ernte als eiweißreiches Futtermittel verwendet wird. Darüber hinaus werden eine große Zahl weiterer Pflanzenarten in Forschungsprojekten untersucht und teilweise auch praktisch genutzt. Die damit verbundenen züchterischen Probleme werden im Folgenden zunächst für etablierte Arten wie Raps oder Mais und anschließend für „neue“ Energie- und Rohstoffpflanzen diskutiert.

Nutzung etablierter Arten mit teilweise neuen Zuchtzielen

Die Nutzung von Pflanzen als Nachwachsende Rohstoffe hat besonders bei Ölpflanzen eine große Bedeutung. Wie Tabelle 1 zeigt, werden pflanzliche Öle in Europa heute zu etwa gleichen Teilen als Nahrungsmittel und als Industrierohstoff verwendet. Dabei hat für die industrielle Nutzung Raps eine überragende Bedeutung.

Tabelle 1: Verwendung von Pflanzenölen in der EU 2011 [%]

	Nahrungsmittel	Industrielle Nutzung	Summe
Raps	11	30	41
Palmöl	12	8	20
Sonnenblume	12	1	13
Sojabohne	6	6	12
Sonstige	12	2	14
Summe	53	47	100

Quelle: Oil World, March 2011

Zur Erfolgsgeschichte von Biodiesel hat neben einer intensiven Lobbyarbeit wesentlich beigetragen, dass die Qualitätsanforderungen an Rapsöl für die Herstellung von Biodiesel identisch sind mit den Anforderungen an eine Verwendung als Speiseöl. Daher werden dieselben Sorten genutzt und die Einführung von Biodiesel war weder für Züchter noch für Anbauer eine besondere Herausforderung. Für technische Nutzungen z.B. als Schmiermittel gibt es auch Sorten mit einem hohen Erucasäuregehalt. Der Anbau solcher Sorten ist mit 30.000 ha in Deutschland und insgesamt 80.000 ha in Europa eine kleine Nische. Da aber Erucasäure einfach vererbt wird, können die allgemeinen Zuchtfortschritte bei Raps genutzt werden und es stehen heute Eruca-Sorten mit ähnlichem Ertragspotential wie 00-Sorten zur Verfügung.

Etwas anders ist die Situation bei der Verwendung von Mais als Biogassubstrat. Zwar können grundsätzlich alle Silomaissorten mit geeigneter Reifezeit verwendet werden, sie sind aber nicht optimal geeignet. Daher wird seit längerem an der Züchtung spezieller „Energiemaissorten“ gearbeitet. Solche Sorten sind extrem spät und als Silomais wegen eines zu geringen Kolbenanteils kaum geeignet. Die Spätreife wird erreicht durch eine Kombination von deutschem mit italienischem Material und der Einkreuzung von Kurztagsgenen aus mexikanischen und peruanischen Populationen (Schmidt und Landbeck 2004). Wichtig ist dabei die Selektion auf Kälte- und Trockenstresstoleranz.
Bei der Zuckerrübe als Biogassubstrat können ähnlich wie bei Mais die bisherigen Sorten verwendet werden. Aber auch hier wird an der Züchtung von „Energierüben“ gearbeitet, die vor allem einen hohen Trockenmasseertrag aufweisen während auf die sehr aufwendige Berücksichtigung der Qualitätsparameter für die Zuckergewinnung verzichtet werden kann. Auch bei der Nutzung von Getreide als Ganzpflanze verschieben sich die Zuchtziele gegenüber einer Körnernutzung, und an entsprechenden Sorten wird vor allem bei Roggen und Triticale gearbeitet. Ganz getrennte Zuchtprogramme für eine Nutzung als Energie- oder Rohstoffpflanze bzw. als Nahrungspflanze gibt es schließlich bei der Kartoffel. Hier sind die Zuchtziele für Stärkekartoffeln völlig unterschiedlich von den Anforderungen an eine Speisekartoffel.

Nutzung „neuer“ Energiepflanzen
Die Nutzung „neuer“ Arten wird seit über 20 Jahren diskutiert. Dazu gehören sowohl alte, nicht oder kaum noch genutzte Kulturpflanzen, sowie potentiell nutzbare Wildpflanzen. Einige Beispiele dazu zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Einige Beispiele für mögliche „neue“ Kulturpflanzen zur Energieerzeugung oder als Rohstoff (nach Becker 2000)

Energiepflanzen		Rohstoffpflanzen	
Weide	*Salix* spp.	Ölrettich	*Raphanus sativus ol.*
Pappel	*Populus* spp.	Leindotter	*Camelina sativa*
Scheinakazie	*Robinia pseudoacacia*	Ölrauke	*Eruca sativa*
Topinambur	*Helianthus tuberosus*	Krambe	*Crambe abyssinica*
Wurzelzichorie	*Cichorium intybus*	Silberblatt	*Luniaria annua*
Zackenschötchen	*Bunias orientalis*	Ölmadie	*Madia sativa*
Kornrade	*Agrostemma githago*	Mariendistel	*Silybum mariana*
Kenaf	*Hibiscus cannabis*	Ringelblume	*Calendula officinalis*
Hanf	*Cannabis sativa*	Hanf	*Cannabis sativa*
Chinaschilf	*Miscanthus* spp.	Wolfsmilch	*Euphorbia* spp.
Glanzgras	*Phalaris* spp.	Höckerblume	*Cuphea* spp.
Schlickgras	*Spartina* spp.	Borretsch	*Borago officinalis*
Schilfrohr	*Phragmites* spp.	Koriander	*Coriandrum sativum*

Ein Rückblick auf die züchterischen Arbeiten auf diesem Gebiet ist weitgehend ernüchternd, vor allem hinsichtlich einer stofflichen Nutzung. Bei vielen in der Tabelle genannten „alternativen“ Ölpflanzen sind große Ertragssteigerungen möglich gewesen, und z. B. bei *Crambe*, *Calendula* und *Euphorbia* sind Sorten mit

interessanten Fettsäuremustern entwickelt worden. Es hat aber bisher keinen nennenswerten praktischen Anbau gegeben, und die meisten dieser Arbeiten wurden inzwischen eingestellt.
Auch bei vielen der genannten Energiepflanzen haben sich die teilweise euphorischen Erwartungen (z. B. beim Hanf) bisher nicht erfüllt. Grundsätzlich ist aber für „neue“ Energiepflanzen die Situation wesentlich günstiger zu beurteilen als im Rohstoffbereich. Energiepflanzen können auch in kleinem Maßstab und probeweise genutzt werden. Dagegen liegt das wesentliche Problem bei einer stofflichen Nutzung darin, dass erst eine Produktionskette aufgebaut werden muss, die ihrerseits aber die sichere Verfügbarkeit ausreichender Rohstoffmengen erfordert.
Aktuelle Beispiele für „neue“ Arten enthält Tabelle 3. Dabei sind nur Energiepflanzen aufgeführt und eine energetische Nutzung von Grünland wurde nicht berücksichtigt.

Tabelle 3: Beispiele für „neue“ Energiepflanzen mit Forschungsergebnissen auf den Jahrestagungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 2012 und 2013

2012		2013	
Weide	*Salix* spp.	Weide	*Salix* spp.
Pappel	*Populus* spp.	Pappel	*Populus* spp.
Miscanthus	*Miscanthus* spp.	Miscanthus	*Miscanthus* spp.
Sorghum	*Sorghum* spp.	Sorghum	*Sorghum* spp.
Quinoa	*Chenopodium quinoa*	Quinoa	*Chenopodium quinoa*
Buchweizen	*Fagopyrum esculentum*	Buchweizen	*Fagopyrum esculentum*
Rutenhirse	*Panicum urgatum*	Wolfsmilch	*Euphorbia tirucalli*
Rübsen	*Brassica rapa*	Silphie	*Silphium perfoliatum*
Sareptasenf	*Brassica juncea*	Wicke	*Vicia villosa*
Stangenbohne	*Phaseolus vulgaris*	Stangenbohne	*Phaseolus vulgaris*

Tabelle 3 zeigt nur einen sehr kleinen Ausschnitt aus den zurzeit diskutierten Pflanzenarten. Besonders bei einer Verwendung als Biogassubstrat ergeben sich sehr viele Möglichkeiten durch ein Zweikultur-Nutzungssystem (Scheffer 1998) sowie unterschiedliche Konzepte für eine Mischkultur (Karpenstein-Machan 2005, Vetter et al. 2009).
Diese Aussichten zur Steigerung der Artenvielfalt und Erweiterung der Fruchtfolge sind aus pflanzenbaulicher Sicht faszinierend, lassen den Züchter allerdings etwas ratlos. Züchtung ist von Natur aus ein aufwändiger und langfristiger Prozess und es wäre aus züchterischer Sicht vorteilhaft, sich auf wenige der genannten Arten, etwa Weide oder Sorghum zu konzentrieren.
Als Beispiel für ein interessantes Mischanbausystem sei der Anbau von Energiemais mit Stangenbohnen erwähnt. In ersten sehr begrenzten Versuchen wurde bei diesem System ein etwa 10 % geringer Biomasseertrag beobachtet als im Reinanbau von Energiemais (Pekrun et al. 2012). Durch pflanzenbauliche Optimierung und Selektion geeigneter Maisgenotypen kann erwartet werden, dass es gelingt mindestens gleiche Biomasseerträge wie im Reinanbau von Mais zu erzielen mit günstigen ökologischen Nebenwirkungen (erhöhte Biodiversität, reduzierte mineralische N-Düngung, Nahrung für Bestäuberinsekten). Während sich in ersten Versuchen zwischen den untersuchten Sorten der Stangenbohne keine signifikanten Unterschiede zeigten, ist

in den Versuchen 2012 klar geworden, das zur Optimierung dieses Anbausystems auch bei der Stangenbohne eine züchterische Bearbeitung dringend erforderlich wäre.
Besonders interessant ist die Kultivierung von Wildpflanzen. Das wohl bekannteste Beispiel ist die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*), aber auch andere Arten werden untersucht, z.B. Sachalinknöterich (*Polygonum sachalinense*), Sida (*Sida hermaphrodita*) und viele andere (Vetter 2009, FNR 2012). Züchterisch werden solche Arten bisher kaum bearbeitet, da befürchtet werden muss, dass das Interesse an mancher neuen „Wunderpflanzen“ schon wieder erloschen ist, bevor Zuchtprogramme die ersten Ergebnisse zeigen können. Auch sind bei Wildpflanzen Probleme mit der Saatgutproduktion zu erwarten, die nicht unterschätzt werden sollten.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die züchterischen Perspektiven für Energie- und Rohstoffpflanzen sind am günstigsten zu beurteilen bei etablierten Arten wie Raps, Mais, Zuckerrübe oder Getreide. Auch bei veränderten Zuchtzielen kann hier auf ein umfangreiches Zuchtmaterial mit großer genetischer Variation zurückgegriffen werden, und die Zuchtmethodik ist gut bekannt. Bei „neuen“ Arten ist dagegen das Hauptproblem die Kurzfristigkeit und mangelnde Kontinuität öffentlich oder privat finanzierter Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Als Faustzahl wird häufig angegeben, dass die Züchtung einer neuen Sorte zehn Jahre dauert, und bei neuen Arten muss zunächst meist mit einem deutlich längeren Zeitraum gerechnet werden.

Literatur

Becker, H.C., 2000: Einfluss der Pflanzenzüchtung auf die genetische Vielfalt. Schriftenr. Vegetationskunde H. 32, pp. 87-94. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.

FNR (Hrsg.), 2012: Energiepflanzen für Biogasanlagen. Bestell-Nr. 554, FNR Gülzow

Karpenstein-Machan, M., 2005: Energiepflanzenanbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlag Frankfurt

Pekrun, C., S. Hubert, C. Zimmermann, W. Schmidt, 2012: Gemengeanbau von Mais mit Stangenbohnen – erste Ergebnisse aus Feldversuchen 2011. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24: 333-334.

Scheffer, K., 1996: Ein Produktiver, umweltschonendes Ackernutzungskonzept zur Bereitstellung von Energie und Wertstoffen aus der Vielfalt der Kulturpflanzen. Beitr. Akademie Nautr- und Umeltschutz Baden-Würtemberg 27:65-80

Schmidt, W., M. Landbeck, 2004: Züchtung von Energiepflanzen aus der Sicht der Industrie am Beilspiel Mais; FNR-Fachgespräch Energiepflanzen, 25.-26.02.2004, FAL Braunschweig; http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/energiepflanzen/ SCHMIDT_FAL_FNR.pdf

Vetter, A., 2009: Biogassubstrate – welche „Exoten“ haben Potenzial für die Zukunft. In: FNR: Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Pespektiven, Gülzower Fachgespräche Band 32, S. 289-298.

Vetter, A., M. Heiermann, T. Toews, 2009: Anbausysteme für Energiepflanzen, DLG-Verlag Frankfurt

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 21–23 (2013)

Stoffliche Nutzung Nachwachsender Rohstoffe

Roland Ulber

TU Kaiserslautern, Lehrgebiet Bioverfahrenstechnik, Kaiserslautern. ulber@mv.uni-kl.de

Deutschland ist derzeit international ein Vorreiter bei der Nutzung von Biomasse für die Produktion von Chemikalien, Werkstoffen und Energie. Diese Technologieführerschaft gilt es auszubauen und weiter zu entwickeln. Hierzu hat die Bundesregierung bereits mit dem „Natio¬nalen Biomasseaktionsplan für Deutschland - Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energiever¬sorgung“ [1], dem „Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ [2], mit der „Hightech-Strategie 2020 für Deutschland - Zukunftsprojekt: Nachwachsende Rohstoffe als Alternative zum Öl“ und mit der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ [3] wichtige Weichen gestellt. Die im letzten Jahr erstellte „Roadmap Bioraffinerien“ ist ein weiteres Element in der Strategie der Bundesregierung zur Nutzung von Biomasse und zur Entwicklung einer Bioöko¬nomie in Deutschland. Der Zweck der Roadmap ist es, eine fundierte Basis zur Formulierung einer Strategie zur Entwicklung und Umsetzung von Bioraffinerien zu schaffen [4]. Die Bioraffinerie ist nach einer gängigen Definition ein integratives Gesamtkonzept für die Verarbeitung von nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRo) zu Chemikalien, Biowerkstoffen sowie Brenn- und Kraftstoffen (Biokraftstoffen) als Beitrag zum nachhaltigen Wirtschaften unter möglichst vollständiger Ausnutzung der Biomasse. Bisherige Bioraffinerieprojekte fokussieren auf die Verwertung der Kohlenhydrate (Cellulose und Hemicellulose) und des Lignins, wobei beim Lignin oftmals die energetische Verwertung oder die Nutzung als Werkstoff im Mittelpunkt steht. Im nationalen Bereich laufen derzeit mehrere Verbundprojekte aus Hochschule und Industrie, die die Nutzung von NaWaRo in der chemischen Industrie zum Gegenstand haben. Beim Aachener Exzellenzcluster „Tailor Made Fuels“ [5] liegt der Schwerpunkt auf der Verwertung der Kohlenhydrate zur Herstellung von Biofuels. Das Vorhaben „Lignocellulose-Bioraffinerie – Aufschluss lignocellulosehaltiger Rohstoffe und vollständige stoffliche Nutzung der Komponenten (Phase 2)“ (BMELV/FNR, FKZ 22019409) fokussiert auf die Nutzung von Buchenholz [6]. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde eine erste Pilotanlage am Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse (CBP) in Leuna errichtet, die Lignin, Cellulose und Hemicellulose als Zwischenprodukte einer Bioraffinerie herstellt. Der Forschungsverbund „SynRg – Systembiotechno¬logie nachwachsender Rohstoffgewinnung“ (BMELV/FNR, FKZ 22023008) geht in den Untersuchun¬gen von der Pflanzenzüchtung bis zum Endprodukt für den Verbraucher und fokussiert dabei auf die Erzeugung neuer Biopolymere auf Basis von Fettsäuren und Polyphenolen [7]. Das Konzept „BERBION: Die Stadt der Zukunft – Eine bedarfsangepasste ZERO-WASTE-Bioraf¬finerie“ (BMBF, FKZ 03SF0345A) betrachtet variable Inputströme in eine Bioraffinerie und legt den Schwerpunkt dabei auf die energetische Ausnutzung bzw. auf die Produktion von Bioethanol [8]. Der seit Anfang 2012 in der Förderung befindliche Spitzencluster BioEconomy [9] hat die nachhaltige Maximierung der Wertschöpfung von Non-Food Biomasse durch Koppel- und Kaskadenproduktion zur Erzeugung von Chemikalien, neuen Materialien, Werkstoffen und Energie zum Ziel. Der Spitzencluster ist dabei auf den Schwerpunkt Holz als Eingangsstoffstrom ausgerichtet. Im europäischen Umfeld sind insbesondere vier Verbundvorhaben zu nennen, die sich mit der stofflichen Nutzung

von NaWaRo auseinandersetzen: AFORE, BIOCORE, EuroBioRef und SUPRABIO. Alle Vorhaben streben den Aufbau von Bioraffineriekonzepten an, die eine möglichst vollständige Umsetzung der eingesetzten Rohstoffe ermöglichen. Schwerpunkte sind hierbei wiede¬rum die Nutzung von Lignocellulose und die Entwicklung von Treibstoffen der zweiten Generation.
Besonderes Augenmerk liegt derzeit im Aufbau von Bioraffinerien der 2. Generation, die NaWaRo verwenden, welche nicht in Konkurrenz zu den Nahrungsmitteln stehen. Hierfür kommen insbesondere lignocellolytische Rohstoffe wie Holz, Stroh oder Silage und weitere Reststoffe der Landwirtschaft in Frage. Zur stofflichen Nutzung müssen die NaWaRo in einem ersten Verfahrensschritt in die drei Hauptkomponenten Lignin, Cellulose und Hemicellulose aufgetrennt werden. Diese Komponententrennung stellt in der Regel den energetisch aufwändigsten Schritt dar und führt meistens auch zur Bildung unerwünschter Nebenprodukte wie Furfural oder HMF, die die weitere biotechnologische Verarbeitung durch inhibitorische Effekte auf Enzyme und Mikroorganismen erschwert. Daher schließt sich an die Komponententrennung meist eine Detoxifizierung auf Basis chromatographischer Verfahren an. Da die direkte Nutzung der erhaltenen Cellulose durch MOs nur schwierig möglich ist, wird diese über Enzyme in Glucose gespalten. Hierfür steht mittlerweile eine Vielzahl kommerzieller Enzymkits zur Verfügung. Die Hemicellulosen sind durch die Prozessbedingungen zum größten Teil bereits hydrolysiert und können ohne weitere Hydrolyse verwendet werden. Im Rahmen von unabhängigen Untersuchungen des US Department of Energy und des europäischen BREW-Projektes [10], sind Zwischenprodukte von Bioraffinerien identifiziert worden, die für eine weitere Verarbeitung in der chemischen Industrie am besten geeignet sind (Tab. 1).

Tab. 1: Interessante Zwischenprodukte von Bioraffinerien für die chemische Industrie (modifiziert nach [10])

Zwischenprodukt	Anzahl C-Atome	Rohstoff	Produktionsverfahren
Essigsäure	2	Ethanol/Kohlenhydrate	Biotechnologisch
Ethanol	2	Kohlenhydrate	Biotechnologisch
Glycerin	3	Öle	Chemisch
Milchsäure	3	Kohlenhydrate	Biotechnologisch
Propionsäure	3	Glycerin/Kohlenhydrate	Biotechnologisch
Asparaginsäure	4	Kohlenhydrate	Biotechnologisch
Itaconsäure	4	Kohlenhydrate	Biotechnologisch
Bernsteinsäure	4	Kohlenhydrate	Biotechnologisch
Glutaminsäure	5	Kohlenhydrate	Biotechnologisch

Nach heutigem Stand des Wissens liefert die Bioraffinerie prinzipiell den Großteil der notwendigen Grundchemikalien, die z. B. für den Aufbau von Polymeren notwendig sind. Sie benötigt hierfür aber abhängig von der verwendeten Rohstoffquelle integrierte Verfahrensschritte zum Rohstoffaufschluss, Detoxifizierung und der chemischen oder biotechnologischen Weiterverarbeitung. Bioraffinerien werden derzeit technisch auf Basis von Stärke und Zucker im industriellen Maßstab umgesetzt, werden in Zukunft aber verstärkt mit Lignocellulose als Rohstoff betrieben werden und benötigen stabile Rohstoffquellen und innovative Katalysatoren (auch gentechnisch optimierte Systeme) zur großflächigen Umsetzung. Damit verbunden ist sicherlich auch ein verbessertes Verständnis in der Bevölkerung notwendig, um „emotionale Hemmschwellen“ z. B. der Grünen Biotechnologie gegenüber zu überwinden. Neben der wissenschaftlichen Weiterentwicklung ist somit auch ein großes Maß an Öffentlichkeitsmaßnahmen notwendig, um die Bioraffinerien in Deutschland zu einem nachhaltigen Erfolg zu führen.

Literatur

[1] Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland - Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energie¬versorgung, BMU (2009); Online in Internet: http://www.bmu.de/bmu/parlamentarische-vorgaenge/detailansicht/artikel/bmu-broschuere-nationaler-biomasseaktionsplan-fuer-deutschland-beitrag-der-biomasse-fuer-eine-nachhaltige-energieversorgung/ [29. 01. 2013]

[2] Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, BMELV (2009); Online in Internet: http://www.bmelv.de/cln_182/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Bioenergie-NachwachsendeRohstoffe/NachwachsendeRohstoffe/AktionsplanNaWaRo.html [29. 01. 2013]

[3] Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 - Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft“, BMBF (2010); Online in Internet: http://www.bmbf.de/de/1024.php, http://www.bmbf.de/pub/biooekonimie.pdf [29. 01. 2013]

[4] Roadmap Bioraffinerien, BMBF, BMU und BMELV (2012); Online in Internet: www.bmbf.de/pub/roadmap_bioraffinerien.pdf [29. 01. 2013]

[5] Exzellenzcluster Tailor Made Fuels from Biomass; RWTH Aachen; Online in Internet: http://www.fuelcenter.rwth-aachen.de/ [29. 01. 2013]

[6] Lignocellulose-Bioraffinerie; Online in Internet: http://lignocellulose-bioraffinerie.de/ [29. 01. 2013]

[7] Forschungsverbund: SynRg® Systembiotechnologie nachwachsender Rohstoffgewinnung; Online in Internet: http://www.synrg-cluster.de/ [29. 01. 2013]

[8] BERBION: Die Stadt der Zukunft – Eine bedarfsangepasste ZERO-WASTE-Bioraffinerie; Online in Internet: http://berbion.de/index.php/page/Home-2011-02-11 [29. 01. 2013]

[9] BioEconomy-Cluster; Online in Internet: http://bioeconomy.de/spitzencluster-bioeconomy/ [29. 01. 2013]

[10] The BREW-Project; Online in Internet: www.bio-economy.net/applications/files/Brew_project_report.pdf [29. 01. 2013]

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 24–27 (2013)

Rolle der Biomasse in einer zukünftigen Energieversorgung aus der Sicht des Systemdesigns

Dr. Bernd Krautkremer

Fraunhofer Institut für Windenergie und Energieystemtechnik/Bereich Bioenergie-Systemtechnik, Kassel. E-Mail: *bernd.krautkremer@iwes.fraunhofer.de*

Bioenergie im Kontext der Transformation des Energiesystems

Die Transformation der Energieversorgung zu einem System mit hohen Anteilen aus Erneuerbaren Energien (EE) erfordert neben der Erweiterung der Energieversorgungsnetze, der Erschließung von Lastmanagementpotentialen und Effizienzsteigerungen zusätzlich den Einsatz von Energiespeichern für eine bestmögliche Integration fluktuierender erneuerbarer Energieträger. Die hierzu notwendige Entwicklung ist im Detail schwer vorhersehbar. Neben einer Vielzahl von technologischen und wirtschaftlichen Aspekten werden sich in Zukunft vor allem auch politische und soziologische Einflüsse auf den Ausbau erneuerbarer Energien auswirken. Erschwerend kommt hinzu, dass diese Entwicklungen weit über den nationalen Kontext rückgekoppelt sind. Dies gilt im besonderen Maße für die Bioenergie. Es scheint daher sinnvoll, die Transformation des Energiesystems als fortwährenden Annäherungsprozess zu betrachten, bei dem technologische Notwendigkeit und Machbarkeit mit der ökonomischen Umsetzbarkeit sowie der gesellschaftlichen Akzeptanz abgeglichen werden müssen.

Nach heutigem Kenntnisstand kann eine zukünftige Energieversorgung mit hohen Anteilen an Erneuerbaren Energien nur durch den Aufbau großer Nennleistungsüberkapazitäten dargebotsabhängiger Energieformen wie zum Beispiel Windenergie und Photovoltaik realisiert werden. Dies führt einerseits zu hohen, zeitlich befristeten Überangeboten an Leistung, kann andererseits jedoch nicht verhindern, dass Zeiten niedrigen Dargebots überbrückt werden müssen. Selbst mit einem (ökonomisch nicht sinnvollen und gesellschaftlich kaum durchsetzbaren) idealen Netzausbau bliebe die Notwendigkeit von Speichern bestehen. Vor diesem Hintergrund kommt chemischen Speichern, zu der auch die Biomasse zählt, eine besondere Rolle zu.

Bei der Definition der Rolle, die die Bioenergie in diesem Zusammenhang spielen kann, sind neben einer Vielzahl gesellschaftlicher, ökonomischer und ökologischer Fragestellungen aus der Sicht der Energiesystemtechnik einige wesentliche Punkte zu betrachten. Zunächst ist zu klären, welche Leistung [MW] durch Bioenergie zu welcher Zeit bereitgestellt werden muss. Daran orientiert sich die zu installierende Nennleistung. Es gilt ebenso zu klären, welche Jahresarbeit [TWh] durch Bioenergie bereit gestellt werden muss. Daraus lassen sich die notwendigen Biomassepotenziale ableiten, die unter Berücksichtigung der jeweiligen Systemwirkungsgrade bereit gestellt werden müssen, damit diese Aufgabe erfüllbar ist. In einem weiteren Schritt gilt es, die zeitliche Abfolge und jeweilige Einsatzdauer (z. B. Tagesausgleich oder saisonaler Ausgleich) der Leistungsbereitstellungen zu erfassen. Daran lassen sich die in Frage kommenden Technologiepfade ableiten. Beispielseise kann eine vor Ort verstromende Biogasanlage nur im Tagesbereich ausgleichen, wohingegen in das Erdgasnetz eingespeistes Biomethan auch für den Ausgleich längerfristiger Schwankungen herangezogen werden kann. Bedenkt man zusätzlich, dass es sich hier nicht um die Betrachtung eines statischen Zustandes

handelt, sondern dass sich der Umbau des Energiesystems über einen Zeitraum erstreckt, in dem sich alle Elemente sowohl in ihrem absoluten Beitrag als auch in ihrer Zusammensetzung stetig ändern, wird klar, dass sich die Rolle der Bioenergie nicht auf einen Punkt bringen lässt, sondern als eine Entwicklung mit einer gewissen Bandbreite zu verstehen ist.

Verfügbare Bioenergiepotenziale

Die Bioenergie spielt heute schon eine besondere Rolle im Konzert der Erneuerbaren Energien. Aufgrund ihrer Speicherbarkeit und der Möglichkeit sie in verschiedene Energieträger mit unterschiedlichen Aggregatzuständen (fest, flüssig, gasförmig) und Zielenergieformen (Strom, Wärme, Kraftstoff) umwandeln zu können, wird sie auch künftig in den unterschiedlichsten Energieszenarien eine wichtige, wenn nicht unverzichtbare Rolle spielen. Gleichzeitig kann Bioenergie nur einen begrenzten Beitrag zur Gesamtversorgung mit EE liefern, weil trotz der mannigfaltigen Herkunft Biomasse nur begrenzt verfügbar ist. Ihre Verfügbarkeit beschränkt sich durch die Forderung nach einer nachhaltigen Bereitstellung ebenso wie durch die konkurrierende Nutzung im stofflichen und vor allem im Nahrungsbereich. Bei einer sinnvollen Integration der Biomasseproduktion für die energetische Nutzung in die Produktionsabläufe von Nahrungsmitteln können Konkurrenzsituationen jedoch vermieden werden und sogar Synergieeffekte hinsichtlich der Fruchtfolge, dem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie der Biodiversität erzielt und trotzdem nennenswerte Bioenergieanteile zur Verfügung gestellt werden. Nicht zu vergessen sind biogene Abfallströme, die bisher noch nicht erfasst werden beziehungsweise deren Nutzungspfade technologisch noch nicht ausgereift sind.

In diesem Kontext ist es nicht verwunderlich, dass über die tatsächlich, nachhaltig zur Verfügung stehenden Biomassepotenziale Dissens herrscht, alleine schon weil der „Nachhaltigkeits“-Begriff sehr dehnbar verwendet wird. Trotzdem helfen Potenzialstudien, einen Überblick über den theoretisch möglichen Beitrag der Bioenergie an der künftigen Energieversorgung zu bekommen. In den Szenarien der Leitstudie des Bundesumweltministeriums wird eine Fläche von rund vier Millionen Hektar als nachhaltig verfügbare Fläche für Anbaubiomasse zur energetischen Nutzung zugrunde gelegt. Andere Studien gehen sogar von größeren Flächenpotenzialen aus. Allerdings ist zu bedenken, dass bereits bei den derzeit genutzten Fläche von etwa zwei Millionen Hektar schon deutliche Akzeptanzprobleme auftreten. Es scheint also notwendig zu sein, eine Potenzialanalyse nicht nur von der Seite der Verfügbarkeit, sondern auch vom Bedarf her zu betrachten.

Notwendige Bioenergiepotenziale aus systemtechnischer Sicht

Die Nutzung von Bioenergie ist in vielen Anwendungsbereichen heute Stand der Technik und liefert derzeit den größten Anteil zur Deckung des Endenergiebedarfs durch EE in Deutschland (fast 70 Prozent).

Sie liefert jedoch große Beiträge in Anwendungen, die im Zuge der Steigerung der Gesamteffizienz der Energieversorgung vermieden werden können (zum Beispiel Wärmeversorgung von unzureichend gedämmten Gebäuden), beziehungsweise wo sie ineffizient und ohne Ausnutzung ihrer spezifischen Eigenschaften genutzt wird (Beispiel: Verstromung mit schlechter Wärmenutzung, Strom nur zur Grundlastversorgung).

Es ist daher geboten, künftig den Einsatz von Bioenergie gezielt nur auf solche Anwendungen zu fokussieren, die langfristig auch bei maximaler Energieeinsparung nur durch Bioenergie darstellbar sind und bei denen die Speichereigenschaft der Biomasse im Sinne einer Maximierung des Gesamtanteils an EE auch genutzt wird. Trotzdem soll natürlich die Bioenergie in der Phase der Transformation unseres Energiesystems ihre wichtige Rolle als Brückentechnologie spielen. Die Frage ist also: Welche Rolle zu welcher Zeit?
Eine Analyse des notwendigen Potenzials von Bioenergie muss daher aus systemtechnischer Sicht erfolgen. Hierzu müssen unterschiedliche Szenarien betrachtet werden, die verschiedene Ausbaustufen der einzelnen Elemente dargebotsabhängiger EE sowie nicht zuletzt auch Netzausbau, Pumpspeicher, Energiemanagementmaßnahmen und die Entwicklung des Stromverbrauchs berücksichtigen. Hieraus lässt sich unter anderem der noch durch Bioenergie zu deckende Beitrag ableiten. Da diese Szenarien empfindlich auf Änderungen der einzelnen Elemente reagieren, können sie natürlich nicht die tatsächliche zukünftige Entwicklung voraussagen, aber sie zeigen die Konsequenzen verschiedener Entwicklungen auf.

Eine lösbare Aufgabe im Strommarkt

Derzeit als plausibel geltende Szenarien des Fraunhofer IWES gehen davon aus, dass der Bedarf zum Ausgleich von Defiziten elektrischer Energie etwa bei 45TWh pro Jahr liegen wird. Die jährlich durch vor Ort verstromende Biogasanlagen produzierte Strommenge liegt derzeit bei etwa 30 TWh. Rechnet man noch weitere biogen Strommengen, so aus Heizkraftwerken, hinzu (derzeit rund 15 TWh) wird deutlich, dass im Stromsektor die derzeit genutzte Biomassemenge (inklusive Abfall und Gülle), wenn sie bedarfsorientiert eingesetzt werden würden, summarisch durchaus die gestellte Aufgabe lösen könnte. Es muss dann allerdings noch geprüft werden, ob die eingesetzten Bioenergieanlagen die Defizite in ihrem zeitlichen Verlauf (Leistung über der Zeit) abdecken können. Darüber hinaus müssen noch der Wärme- und Kraftstoffsektor betrachtet werden. Der Bedarf wird also deutlich höher sein.
Diese Aufgaben der Bioenergie lassen sich sehr gut bei der Betrachtung sogenanter Residuallastverläufe erkennen. Hier wird für ein als sinnvoll erachtetes EE-Ausbauszenario mittels typischer Jahres Wetterdaten die durch EE bereitgestellte elektrische Leistung über ein Jahr ermittelt und jeweils vom angenomenen Verbrauch subtrahiert. Es ergeben sich Zeiten in denen ein Stromdefizit auftritt und Zeiten, in denen Stromüberschüsse auftreten. Aus diesen Darstellungen lassen sich dann auszugleichende Leistungen und Energiemengen ablesen.
Einen weiteren, tiefen Einblick erhält man, wenn die notwendigen Ausgleichsmaßnahmen hinsichtlich ihrer zeitlichen Entwicklungen während der Transformation des Energiesystems betrachtet und nach ihrer zeitlichen Ausgleichsfunktion sortiert.
Es wird deutlich, dass einerseits die Notwendigkeit des Ausgleichs erst mit deutlichem EE-Anteil erwächst und dass andererseits der kurzfristige Ausgleich dominiert, wohingegen der langfristige Ausgleich erst später notwendig wird. Das bedeutet, dass die Flexibilisierung von Biogasanlagen ein richtiger Weg ist, der vorangetrieben werden sollte.

Bezahlbare Bioenergie

Am Ende bleibt noch die Frage, ob dieser Einsatz der Bioenergie im Vergleich zu Alternativen eine wirtschaftlich sinnvolle Lösung darstellt. Diese Frage muss im Laufe der Zeit immer wieder neu gestellt werden, da einerseits davon auszugehen ist, dass die zur Verfügung stehende Biomasse zunehmend knapper wird, andererseits auch alternative Technologien, die die Bioenergie ersetzbar machen, wirtschaftlich verfügbar werden können (zum Beispiel Power-to-Gas).

Die gleichen Vorgehensweisen gelten analog natürlich für den Wärme- und den Verkehrssektor und im Gesamtkontext. Die Energiewende muss sektorübergreifend erfolgen.

Fazit

Bioenergie ist eine Form der EE unter vielen, aber sie ist das Salz in der Suppe unserer zukünftigen Energieversorgung. Sie ist heute in vielen Anwendungen unverzichtbar, und stellt eine wichtige Brückentechnologie dar, muss aber planvoll und mit Bedacht eingesetzt werden. Der Grad der Nutzung von Bioenergie wird immer, auch nach einer weltweiten, vollständigen Transformation der Energieversorgung, Gegenstand einer kritischen Betrachtung sein, denn ihre Produktion und Nutzung wird stets mit Einflüssen auf Natur und Gesellschaft behaftet sein. Auch wird die energetische Nutzung immer in Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion oder der stofflichen Nutzung stehen und soll in sich stetig ändernden Anteilen sowohl den Bedarf für Strom als auch für Wärme und Verkehr befriedigen.

Es wird also einen kontinuierlichen Prozess geben müssen, in dem die zur energetischen Nutzung zur Verfügung stehende Biomasse mit dem Bedarf abgeglichen wird. Letztendlich besteht die Frage darin, wie viel Biomassenutzung wir uns leisten wollen und können.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 28–31 (2013)

Ökonomie der NawaRo-Produktion

A. Heißenhuber[1]

[1] Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues / Technische Universität München, Freising/Weihenstephan. E-Mail: *alois.heissenhuber@wzw.tum.de*

1. Einleitung

Der Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen erfolgt aus unterschiedlichen Gründen. Ein Argument besteht darin, die Abhängigkeit von fossilen Rohstoff- und Energieträgern zu verringern. Als weiterer Grund wird die Minderung der Emission klimawirksamer Gase genannt. Schließlich wird als Nebeneffekt die Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze, speziell im ländlichen Raum, angeführt. Es stellt sich die Frage, welches Ziel die höhere Priorität hat. Wenn es vorrangig um die Einsparung fossiler Energieträger geht, dann müsste den Verfahren der Bioenergieerzeugung der Vorrang eingeräumt werden, die je Flächeneinheit den höchsten Netto-Energieertrag bringen. Steht dagegen der Klimaschutz im Vordergrund, dann sind die Verfahren zu bevorzugen, welche die geringsten CO_2
-Minderungskosten oder die höchste CO_2-Einsparung je Flächeneinheit aufweisen. Aktuell dürfte der Klimaschutz im Vordergrund stehen. Im Mittelpunkt der nachfolgenden Ausführungen steht bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe die Erzeugung von erneuerbarer Energie.

2. Rahmenbedingungen

Die Diskussion um die Einführung nachwachsender bzw. erneuerbarer Rohstoffe hängt unmittelbar mit dem Preis der fossilen Rohstoffe zusammen. Der Rohölpreis lag vor 50 Jahren auf einem extrem niedrigen Niveau. Erstmals wurden erneuerbare Energieträger wettbewerbsfähig, als vor 40 Jahren der Rohölpreis auf über 30 Dollar pro Barrel angestiegen ist. Aus der Fülle von nachwachsenden Energieträgern stellt Äthanol aus Zuckerrohr die kostengünstigste Möglichkeit dar. In der Tat wurde in Brasilien in Reaktion auf die Ölkrise 1973 der Einsatz von Ethanol vorangetrieben. Das Thema Klimaschutz spielte zu diesem Zeitpunkt noch keine maßgebliche Rolle, sondern es waren ausschließlich wirtschaftliche Überlegungen. Als dann in den 90er Jahren das Rohöl wieder billiger wurde, war in Brasilien der Einsatz von Äthanol wieder weniger attraktiv. Erst der neuerliche Anstieg des Rohölpreises führte in Brasilien wieder zu einer Ausweitung der Ethanolproduktion. Generell steigt die Wettbewerbsfähigkeit der alternativen Energieträger mit dem Rohölpreis an. Demzufolge rechnete man damit, dass bei Rohölpreisen von z.B. 80 Dollar in Europa die Herstellung von Ethanol aus Getreide wettbewerbsfähig sein würde ohne dass der Staat eingreift. Dieser Zusammenhang ist aber nur zutreffend, wenn sich die biogenen Rohstoffpreise nicht ändern. Aufgrund der sogenannten Bushel-Barrel-Korrelation trifft dies aber nicht zu. Man kann davon ausgehen, dass mit steigendem Rohölpreis auch der Preis von Getreide ansteigt. Aus hohen Rohölpreisen resultiert auch ein hoher Substitutionswert von Getreide.

3. Chancen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe

Die Chancen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe hängen von den Preisen der fossilen Substitute, von den Bereitstellungskosten der nachwachsenden Rohstoffe und von den staatlichen Eingriffen in den Markt ab. Bei den in Deutschland zur

Diskussion stehenden Kulturen ergeben sich große Unterschiede zwischen den Flächenerträgen.

3.1 Biokraftstoffe

Die Chancen und Risiken des Energiepflanzenanbaues werden, wie schon gesagt, maßgeblich auch vom Preisniveau auf den Nahrungsmittelmärkten beeinflusst. Wie bereits angesprochen, besteht ein Zusammenhang zwischen Rohöl-, Benzin-, Ethanol- und Getreidepreis. Bei einem hohen Rohölpreis kann auch ein höherer Ethanolpreis am Markt erzielt werden. Für den Ethanolhersteller besteht dann die Möglichkeit, einen höheren Getreide- bzw. Zuckerpreis zu bezahlen. Sofern sich der Getreide- bzw. Zuckerpreis auf einem niedrigen Niveau befindet ergibt sich eine relativ hohe Wettbewerbskraft von Ethanol aus Biomasse und damit eine günstigere wirtschaftliche Situation des Ethanolherstellers. Die Mineralölfirmen sind zwar zur Beimischung von Biosprit verpflichtet, können aber auch importierte Ware verwenden. Deshalb ist es darüber hinaus von Bedeutung, zu welchem Preis Importware zur Verfügung steht.
Weltweit gesehen sieht man große Chancen bei der Produktion von Kraftstoffen aus Biomasse. In Indonesien ist eine weitere deutliche Ausweitung der Palmölproduktion geplant. Ähnliche Entwicklungen sind in anderen Ländern (z.B. USA und Brasilien) zu beobachten.
Die Nutzung der Bioenergie verursacht aber auch Nebenwirkungen. Zum einen besteht eine Konkurrenzbeziehung zur Nahrungsmittelproduktion. Zum anderen wirkt sich diese Konkurrenz zwischen Nahrungs- und Energieproduktion in bestimmten Regionen auf den Preis von Pachtflächen massiv aus. Bei knappem Ackerland führt eine großflächige Ausdehnung der Bioenergie zwangsläufig auch dazu, dass bisher nicht ackerbaulich genutzte Flächen in Kultur genommen werden (Grünlandumbruch, Waldrodung) bzw. dass die Bewirtschaftung der Flächen intensiviert wird. Das verursacht erhöhte CO_2- und N_2O-Emissionen mit der Folge, dass die Ausdehnung der Bioenergieerzeugung auf Ackerflächen im Endeffekt für den Klimaschutz sogar kontraproduktiv sein kann. Diese Risiken sind auch mit den seit 2010 vorgeschriebenen Zertifizierungs-Systemen nicht vollständig in den Griff zu bekommen, da als Nebeneffekt der Ausweitung des Energiepflanzenanbaues z.B. an anderer Stelle ein Rodung des Regenwaldes für den Nahrungsanbau vorgenommen werden kann.

3.2 Biogas

Die Nutzung von Biogas aus Anbaubiomasse ist unter Marktbedingungen nicht wettbewerbsfähig. Die im EEG festgelegten Einspeisevergütungen für den damit erzeugten elektrischen Strom sorgen dafür, dass Biogas aus dafür angebauter Biomasse als Energieträger zum Einsatz kommt. Diesbezüglich sind die Unterschiede zwischen den Ländern sehr groß, vereinfacht gesagt, erst bei Einspeisevergütungen von über 10 ct/kWh kommen Pflanzen zum Einsatz, die speziell dafür angebaut wurden. Ansonsten werden nur biogene Reststoffe (z.B. Gülle) verwendet. Mit die höchsten Einspeisevergütungen gibt es in Deutschland. Das ist auch der Grund, dass hier die meisten Biogasanlagen installiert wurden.

3.3 Holz

Einen klassischen Energieträger stellt Holz dar. Vor 50 Jahren wurde Brennholz als Energieträger durch das billige Heizöl in den Hintergrund gedrängt. Bei den heutigen Ölpreisen ist Holz in Verbindung mit neuen Techniken auch ohne staatliche

Einflussnahme wieder wettbewerbsfähig geworden. Besonders ist darauf hinzuweisen, dass die Nutzung von Brennholz zu sehr niedrigen bzw. sogar negativen CO_2-Minderungskosten führt. Negative CO_2-Minderungskosten bedeuten, dass es kostengünstiger ist, mit Brennholz als mit Heizöl zu heizen und zudem reduziert man noch die Emission von CO_2. Für den Hausbesitzer ergibt sich bei den komfortablen Versionen, z.B. Holz-Hackschnitzelheizung, aber noch das Problem des höheren Investitionsbedarfs im Vergleich zu einer Ölheizung.

4. Ökonomische Aspekte

Die aktuellen Diskussionen lassen jedoch den Schluss zu, dass der Klimaschutz die höchste Priorität aufweist. Bei der Gestaltung der Bioenergiepolitik ist es deshalb wichtig, die knappen Ressourcen auf die effizientesten Klimaschutzstrategien zu konzentrieren. Eine zentrale Rolle spielen dabei die CO_2-Vermeidungskosten. Die Verfolgung der Klimaschutzziele bringt als Nebeneffekt auch einen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung. Bei begrenzt zur Verfügung stehenden Finanzmitteln erreicht man den größten Beitrag zum Klimaschutz, wenn die Energielinien mit den niedrigsten CO_2-Vermeidungskosten zum Zuge kommen.

Die bisher im Fokus der Bioenergiepolitik stehenden Bioenergie-Linien (Biokraftstoffe; Biogas auf Maisbasis) weisen relativ hohe CO_2-Vermeidungskosten auf. Wenn die Politik mit Hilfe der Bioenergie Klimaschutzpolitik betreiben möchte, so sollte sie sich auf solche Energielinien konzentrieren, bei denen sich Klimaschutz mit relativ niedrigen CO_2-Vermeidungskosten erreichen lässt. Das wäre erstens die Biogaserzeugung auf Güllebasis, möglichst mit Kraftwärmekopplung (KWK), zweitens die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung auf Basis Hackschnitzeln aus Kurzumtriebsplantagen und drittens die Co-Verbrennung von Hackschnitzeln und (in gewissem Umfang) Stroh in bestehenden Großkraftwerken. Die Erzeugung von Biodiesel und Bioethanol in Deutschland ermöglicht nur dann niedrige CO_2-Vermeidungskosten, wenn die agrarischen Rohstoffe zu niedrigen Preisen zur Verfügung stehen und die Nebenprodukte optimal genutzt werden.

Die Kritik an der zu hohen Subventionierung von energetisch und klimapolitisch weniger effizienten Bioenergielinien bedeutet keine Absage an regenerative Energien. Im Gegenteil: Mehr Effizienzorientierung in der Bioenergie ermöglicht mehr Klimaschutz bei gleichem Aufwand. Bei einer entsprechenden Kurskorrektur in der deutschen Förderpolitik könnte die durch Bioenergie erreichte CO_2-Vermeidung bei konstantem Budget erhöht werden, ohne dass hierfür mehr Agrarfläche in Anspruch genommen werden müsste.

Das Dilemma der Bioenergie besteht darin, dass mit steigenden Agrarpreisen auch die Kosten der Bioenergie und damit auch die CO_2-Vermeidungskosten steigen. Ersteres ist für die Produzenten von Bioenergie ein Problem und zweiteres für die Klimaschutzpolitik. Eine massive Förderung der Bioenergie, wie dies z.B. in Deutschland bei Biogas der Fall ist, hat aber in bestimmten Gebieten noch einen anderen Nebeneffekt. In viehdichten Regionen besteht schon eine hohe Konkurrenz um die Ackerfläche, eine Ausweitung der Biogasgewinnung verschärft diese Konkurrenz u.a. in Form von steigenden Pachtpreisen. Das verschlechtert die Wettbewerbskraft der viehhaltenden Betriebe bzw. verstärkt den Trend, von der Viehhaltung zur Biogasproduktion zu wechseln.

Insgesamt gesehen erscheint es angebracht, alle Möglichkeiten zum Ersatz fossiler Rohstoffe und fossiler Energieträger auf den Prüfstand zu stellen und die Förderung unter Berücksichtigung der Nebenwirkungen neu auszurichten.

Literatur

BMVEL (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT) (HRSG.) (2012): Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten 2012. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH Münster-Hiltrup

CARMEN – CENTRALES AGRAR-ROHSTOFF-MARKETING UND ENERGIE-NETZWERK (2012): Preisindizes. URL: http://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes (aufgerufen am 19.06.2013)

COLCHESTER, M., N. JIWAN, ET AL. (2006): PROMISED LAND: PALM OIL AND LAND, Acquisition in Indonesia –Implications for Local Communities and Indigenous Peoples, Forest Peoples Programme, Sawit Watch, HuMA und ICRAF. http://www.forestpeoples.org/documents/prv_sector/oil_palm/promised_land_eng.pdf (aufgerufen am 19.06.2013).

DOORNBOSCH, R. UND R. STEENBLIK (2007): Biofuels: Is the cure worse than the Disease?, OECD Round Table on Sustainable Development. URL: http://media.ft.com/cms/fb8b5078-5fdb-11dc-b0fe-0000779fd2ac.pdf (aufgerufen am 19.06.2013).

EEX (EUROPEAN ENERGY EXCANGE) (2009): EU Emmissionsrechte. URL: http://www.eex.de (aufgerufen am 19.06.2013).

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2012): Erneuerbare Energien in Zahlen.

IGELSPACHER, R. (2003): Ganzheitliche Systemanalyse zur Erzeugung und Anwendung von Bioethanol im Verkehrssektor. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, Gelbes Heft 76, München.

KLENK, I.; KUNZ, M. (2008): Europäisches Bioethanol aus Getreide und Zuckerrüben – eine ökologische und ökonomische Analyse. Zucker Industrie. Sonderdruck aus Band 133 (2008) S. 625-635 und 712-718. Ochsenfurt.

MWV (MINERALÖLWIRTSCHAFTSVERBAND E.V.) (2009): Statistiken – Preise, URL: http://www.mwv.de/index.php/daten/statistikenpreise (aufgerufen am 19.06.2013).

SEABRA, J.E.A., I.C. MACEDO, H.L. CHUM, C.E. FARONI, UND C.A. SARTO (2011): Life cycle assessment of Brazilian sugarcane products: GHG emissions and energy use. Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 5: p. 519-532.

SCHMIDHUBER, J. (2006): Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: A longer-term perspective. International symposium of Notre Europe, 27.-29. 11. 2006, Paris.

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik. URL: http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA.pdf?__blob=publicationFile (aufgerufen am 19.06.2013).

ZMP - ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSSTELLE (Hrsg.) (verschiedene Jahrgänge): ZMP Marktbilanz; Getreide, Ölsaaten, Futtermittel; Bonn.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 32–35 (2013)

Effects of Grazing Intensity and Environmental Factors on Species Composition and Diversity in Typical Steppe of Inner Mongolia, China

Haiyan Ren, Philipp Schönbach, Hongwei Wan, Martin Gierus, Friedhelm Taube

Institute of Crop Science and Plant Breeding-Grass and Forage Science/Organic Agriculture,CAU Kiel. E-Mail: *hren@email.uni-kiel.de*

Introduction

Sustainable grazing management of semi-arid grassland ecosystems requires holistic knowledge about vegetation dynamics and their responses to varying climatic conditions and grazing intensity in order to understand the causes of change in species composition of plant communities. Grazing by livestock is the main anthropogenic disturbance of native grasslands and it plays an important role in determining species composition and plant species diversity. Previous studies have indicated that long-term grazing can affect species diversity of plant communities in grasslands either positively or negatively but grazing at moderate intensity could promote increased species diversity. However, in some previous studies the effect of grazing on species diversity may have been overestimated and limited either by the duration of the study or lack of information on grazing intensity and the effects of climatic variability. In semi-arid grassland ecosystems climatic factors are the main drivers that determine plant growth and species dynamics. Little is known about the linkage between temporal variability in precipitation and temperature and the shift in species composition, in particular with regard to the interdependencies between C3 and C4 species. In semi-arid grasslands, initial growth of C4 grasses typically lags behind that of C3 species owing to their requirement for higher temperature in metabolic processes. Thus, C4 species are presumably disadvantaged relative to C3 species in their ability to utilize early spring water resources. In this context, the effects of within-year variation in precipitation and temperature, as well as the interaction between these two abiotic factors, are still not fully understood.

The present study aims to analyze the effect of abiotic (i.e. precipitation and temperature) and biotic factors (i.e. grazing intensity) on the vegetation dynamics in semi-arid grassland of Inner Mongolia, P.R. China. An important aspect was the effect of temporal intra-annual variability of precipitation and temperature and their interactions with the effect of different grazing intensities. The vegetation dynamics were analyzed by the parameters of species diversity and species composition. According to the intermediate disturbance hypothesis, we assume a positive and negative effect of moderate and heavy grazing, respectively, on species diversity. Furthermore, individual species may respond in different ways to varying environmental factors. Thus, not only diversity, but also species composition plays an important role in determining ecosystem functioning. According to the intermediate disturbance hypothesis, we assume a positive and negative effect of moderate and heavy grazing, respectively, on species diversity. Furthermore, based on the study of Milchunas and Lauenroth, we assume that precipitation has positive effect on species diversity. This may counteract, at least partly, the effect of grazing, due to the current low productivity grassland that has a long evolutionary history. We also hypothesize that increasing temperatures change the proportions of C3 to C4 species according to the different metabolism preferences. In order to

comprehensively understand potential shifts in vegetation and underlying processes, a six-year grazing experiment was conducted to determine: (1) the response of plant species (species composition and diversity) to grazing intensity, varying precipitation and temperature, (2) the effect of temporal within-year variation (annual, seasonal, monthly) in precipitation and temperature on species composition and diversity, and (3) the homeostasis between C3 and C4 species as a function of temporal precipitation and temperature patterns.

Material and Method

An area of 150 ha of natural grassland was fenced and split into 2-ha sized paddocks in 2005. Seven grazing intensities (GI) (no grazing to very heavy grazing) were randomly distributed to these paddocks. A gradient of herbage allowances was used to modulate the grazing intensities. The seven GI corresponded to different herbage allowance classes ranges from <1.5, 1.5–3, 3–4.5, 4.5–6, 6–12 to >12 kg dry matter (DM) kg^{-1} live weight (LW) of sheep. Further details on herbage allowances, stocking rates and the grazing intensity classification are given in Schönbach et al. (2012). GI treatments were replicated on two blocks according to the topographic positions: one was on a level area and the other on slopes. Sheep grazing lasted from June to September for around 95 days in 6 experimental years (2005-2010). On each treatment plot, three representative sampling areas were chosen before the grazing period started in June. In each sampling area, exclosure cages (2×3 m) were set up and moved at monthly intervals, subsequent to each sampling, to locations that had been grazed previously. The aboveground community biomass was sampled monthly inside and outside of the exclosures, with sampling taken inside a 0.25 m×2 m rectangular frame (= 3×0.5 m^2 frames). Aboveground biomass sampling of each species was done once a year at peak biomass in July inside the exclosures for determination of botanical composition. Plant species were recorded as present/absent for the purpose of assessing species richness (R) inside the rectangular frames, then clipped to 1 cm stubble-height, separated by species, and taken to the laboratory for quantitative dry matter determination after drying at 60°C for 48 h. ‘Species composition’ comprises aboveground biomass of the six most common grass species sampled (*L. chinensis*, *S. grandis*, *C. squarrosa*, *Carex korshinskyi*, *Agropyron cristatum*, and *Achnatherum sibiricum*). Other plant species that comprised less than 1% of the biomass were allocated to the fraction termed ‘‘remaining species’’. Species diversity was characterized by three different parameters: (i) the ‘species richness’ (R), (ii) the ‘Shannon–Wiener diversity index’ (D), (iii) and the ‘species evenness’ (E). All statistical analyses were carried out in SAS, Version 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Simple linear regression was used to test the correlation between the biomass of the target species and diversity parameters. The effects of grazing intensity, year and their interactions on species composition and species diversity were analyzed by using the residuals of diversity-species biomass linear regression in the Repeated Measures ANOVA - mixed model. Owing to the limitation of the ANOVA mixed model to deal with quantitative determining variables, the effects of seasonal variations in precipitation and temperature were tested by Pearson correlation and multiple regressions model with stepwise selection.

Result and Discussion

The aboveground biomass of dominant species *L. chinensis* significantly decreased with increased grazing intensity, while other investigated species and species

diversity parameters (richness, Shannon-Wiener diversity index and evenness) were not significantly affected by grazing intensity. However, species composition and diversity varied significantly among experimental years over all grazing intensities. The biomass of the dominant C3 grass *S. grandis* was two-fold higher in the final year 2010 compared with the first experimental year of 2005, whereas the biomass of the C4 species *C. squarrosa* and C3 species *A. sibiricum* decreased by 83% and 60% respectively. The species grouped as 'remaining species' contributed the highest amount of biomass in the initial year 2005 and reached the lowest value in 2009. In comparison to 2005, species richness, diversity and evenness in 2010 decreased by 34, 31 and 16%, respectively. No significant interactions between year and grazing intensity on species composition and diversity were detected. Multiple regression analysis indicated that early-season (March to June) precipitation and early-season mean temperature strongly correlated with *S. grandis*, *C. squarrosa* and *A. sibiricum* biomass, 'remaining species' biomass and diversity parameters (Table S1). Precipitation and mean temperature during the early-season together explained 12–42% of the variation in species biomass and 11–40% of the variation in diversity. Whereas precipitation and temperature conditions during late-season (July to October) and out-of-season (November to February) had only little effect on species dynamics. The dominant C3 species *S. grandis* responded positively to increasing early-season precipitation and negatively to early-season mean temperature, whereas the opposite was true for all other species and for all diversity parameters. Multiple stepwise regression analysis revealed a strong linkage of monthly precipitation and effective mean daily temperature with the biomass of *S. grandis* and *C. squarrosa* and diversity. In March, the variability in the biomass of the C3 species *S. grandis*, the C4 species *C. squarrosa* and in diversity were correlated only with effective mean daily temperature but not with precipitation. In April, it was precipitation rather than temperature that determined vegetation dynamics. By combining precipitation and effective mean daily temperature of March and April, 30% of the variance in the biomass of the C3 species *S. grandis*, 59% of that of the C4 species *C. squarrosa*, and 60 and 54% of the variance of richness and diversity, respectively, can be explained. In May, no significant correlation relationship was found for any parameter. In June, only the aboveground biomass of the C3 species *S. grandis*, richness and diversity were correlated with precipitation, and the coefficients of determination were low.

It has been suggested that long-term grazing induces a significant shift in the aboveground biomass composition of Inner Mongolian grasslands, from perennial C3 grasses, such as *S. grandis* or *L. chinensis*, to C4 grass species such as *C. squarrosa* (Liang et al. 2002). Our findings suggest that vegetation dynamics were predominantly determined by inter-annual variability in precipitation and temperature and to a lesser extent by grazing intensity. The importance of temporal distribution patterns of precipitation and temperature on vegetation dynamics are highlighted according to our results. Most of the variation in species composition and diversity was determined by precipitation rates and temperatures in the early season (March to June), whereas only a small proportion of the variance in the investigated vegetation parameters could be explained by precipitation rates and mean temperature on an annualized scale or in late-season (July to October) or out-of-season (November to February) period. The inverse responses of the C3 species *S. grandis* and C4 species *C. squarrosa* to precipitation and temperature in March and April support the temporal niche differentiation theory, which claims that the

competitive balances of C3 and C4 species are related to temporal variances of climatic factors.

In conclusion, we find that temporal distribution of precipitation and temperature, in particular during the early-season (from March to June), determined the variation in vegetation dynamics much more strongly than annual rates of precipitation or temperature. In the medium term (6 years), the effects of early-season precipitation and temperature on the trade-off among species were more important than the effect of grazing. However, grazing decreased the aboveground biomass of those species that are more preferentially grazed by sheep, such as *L. chinensis*. Therefore, based on these findings, the effect of grazing in a grassland system cannot be analyzed without considering the characteristic traits of species and also the precipitation and temperature variation, especially in the medium term. Our findings demonstrate that the temporal fluctuation of precipitation and temperature, especially in early season helps to understand species coexistence and grassland management in response future extreme precipitation and drought events.

Referrence

Schönbach P, Wan H, Schiborra A, Gierus M, Loges R, Müller K, Lin L, Susenbeth A, Taube F (2012) Effects of grazing sheep and precipitation on herbage production, herbage nutritive value and animal performance in continental steppe. Grass and Forage Science.DOI:10.1111/j.1365–2494.2012.00874.x.

Milchunas DG, Lauenroth WK, Chapman PL, Kazempour MK (1989) Effects of grazing, topography, and precipitation on the structure of a semiarid grassland. Vegetatio 80: 11–23.

Liang C, Michalk DL, Millar GD (2002) The ecology and growth patterns of Cleistogenes species in degraded grasslands of eastern Inner Mongolia, China. Journal of Applied Ecology 39: 584-594.

Table S1 Partial R-square coefficients of determination (*n* = 84) associated species diversity and species composition with precipitation (PPT in mm) and mean temperature (MT in °C d^{-1}) in the early-season (March - June) for stepwise variance regression analysis

Parameters	*L.ch*	*S.gr*	*C.sq*	Richness	Diversity	Evenness
	Partial R^2 coefficients of determination					
Precipitation (mm)	0.0ns	0.1**	0.3***	0.2***	0.3***	0.1**
Temperature (ºCd^{-1})	0.0ns	0.2***	0.1**	0.1**	0.1**	0.0ns

	Model Equation	Adjusted R^2	*P*
S. grandis	$Y_{S.gr}$= 0.186PPT - 0.234MT + 103.686	R^2=0.3	*P*<0.0001
C. squarrosa	$Y_{C.sq}$= - 0.036PPT + 0.024MT + 15.726	R^2=0.4	*P*<0.0001
Richness	$Y_{Richness}$ =- 0.017PPT + 0.017MT + 9.755	R^2=0.3	*P*<0.0001
Diversity	$Y_{Diversity}$= - 0.002PPT + 0.001MT + 1.763	R^2=0.4	*P*<0.0001
Evenness	$Y_{Evenness}$= - 0.001PPT + 0.714	R^2=0.1	*P*<0.01

The abbreviations are: *L.ch* (*Leymus chinensis*), *S.gr* (*Stipa grandis*), *C.sq* (*Cleistogenes squarrosa*).

(*: 0.01< *P* < 0.05, **: 0.001< *P* < 0.01, ***: *P* < 0.001, and ns means not significant, *P* > 0.05)

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 36–39 (2013)

Grünlandpflanzen zur Begrünung von Legehennen-Auslaufflächen: welche Eigenschaften sind wichtig?

Laura Breitsameter

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Graslandwissenschaft, v.-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen; lbreits@gwdg.de

Einleitung

Die Freilandhaltung von Legehennen wird von Verbrauchern als sehr tiergerecht eingeschätzt. Tatsächlich gehen mit dieser Haltungsform allerdings eine Reihe von Schwierigkeiten in Bezug auf Aspekte des Umweltschutzes und der Tiergesundheit einher. Als besonders bedenklich ist die starke Beanspruchung der Grasnarbe im Auslauf – unter anderem verursacht durch das Scharrverhalten der Tiere – einzustufen, welche häufig zu einer großflächigen Degradierung der Vegetation führt.

Eine intakte Vegetationsdecke auf den Freiflächen ist aus mehreren Gründen von hoher Bedeutung. Zum einen im Hinblick auf den Boden- und Grundwasserschutz, da die Vegetation einen Teil der massiven, durch Exkremente anfallenden Nährstoffeinträge in Form von Biomasse bindet. Zum anderen geht aus mehreren wissenschaftlichen Studien hervor, dass die Nutzung eines begrünten Auslaufs durch die Legehennen mit einem besseren Gefiederzustand der Tiere verbunden sein kann. Als Begründung für diesen Zusammenhang wird angeführt, dass die Vegetation als *environmental enrichment* für die Tiere fungiere, und diese einen großen Teil ihrer Pickaktivität auf die Pflanzen richten (Jones et al. 2000). Da Legehennen unabhängig vom Gehalt der Umwelt an Stimuli einen etwa konstanten Anteil ihrer täglichen Aktivität mit Picken verbringen, kann in einer reizarmen Umgebung die Gefahr steigen, dass die Tiere ihr Pickverhalten auf Artgenossen umorientieren, was zu Federpicken führen kann (Shimmura et al. 2008). Eine intakte Auslaufvegetation kann somit auch einen Beitrag zum Tierwohl leisten.

Vor diesem Hintergrund wurde in der vorliegenden Studie die Eignung einer Reihe von Grünlandpflanzen für die Begrünung von Legehennen-Auslaufflächen untersucht. Das Ziel bestand darin, Eigenschaften von Pflanzen identifizieren, welche eine gute Eignung bedingen.

Material und Methoden

Im Rahmen eines Freilandexperiments in den Jahren 2009 und 2010 wurden die Wechselwirkungen zwischen weidenden Legehennen und der Auslaufvegetation untersucht. Dabei wurde sowohl 1) die Leistungsfähigkeit einer Reihe von Grünlandpflanzenarten unter den Bedingungen der Beweidung mit Legehennen, als auch 2) das auf die Auslaufoberfläche gerichtete Nahrungssuchverhalten der Tiere analysiert.

Im Rahmen des Freilandexperiments wurden vierzehn Grünlandpflanzenarten einer kontrollierten Beweidung mit Legehennen unterzogen und deren Wirkung auf das Wachstum der Pflanzen quantifiziert. Für den Versuch wurden neun Gras- und fünf Kräuterarten des heimischen Wirtschaftsgrünlands und der Ruderalflora gewählt, von denen eine sehr hohe Verträglichkeit gegenüber intensiver Weide- oder Schnittnutzung bekannt ist (Dierschke und Briemle 2002; Bundessortenamt 2006). Folgende Arten wurden untersucht (falls ohne Angabe eines Sortennamens wurde Wildtypsaatgut verwendet): Gräser *Agrostis stolonifera* L. ‚Barifera‘, *Deschampsia cespitosa* Beauv., *Elymus repens* Gould, *Festuca arundinacea* Schreb. ‚Mustang‘, *F.*

rubra L. ssp. *rubra* ‚Rossinante‘, *F. trichophylla* Ducros ex Gaugin ‚Barcrown‘, *Lolium perenne* L. ‚Bargold’, *Poa pratensis* L. ‚Julius‘, *P. supina* Schrad. ‘Supreme’; Kräuter: *Achillea millefolium* L., *Plantago major* L., *Ranunculus repens* L., *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. aggr., *Trifolium repens* L. ‚Rivendel‘. Die untersuchte Hypothese lautet, dass sich die gewählten Pflanzenarten in Bezug auf ihre Verträglichkeit gegenüber der Beweidung mit Hühnern deutlich unterscheiden würden, da die unter diesen Bedingungen vorherrschende Störung stärker und von anderer Natur ist als in intensiven Schnitt- und Weidesystemen. Die untersuchten Pflanzenarten wurden in einer dreifach replizierten Spaltanlage als Reinsaaten und in einer alle vierzehn Arten umfassenden Mischsaat (Haupteinheit: botanische Zusammensetzung der Grasnarbe) einer Beweidung mit vier Legehennen pro Quadratmeter in drei Stufen der Weidedauer (untergeordneter Faktor; kurz: ein Tag; mittel: zwei aufeinanderfolgende Tage; lang: drei aufeinanderfolgende Tage) unterzogen; eine Kontrollfläche blieb unbeweidet. Die Beweidung erfolgte in Form von Umtrieben, womit der Effekt wiederholten Besatzes der Flächen untersucht wurde.

Die Verträglichkeit der Pflanzen gegenüber der Beweidung wurde anhand von drei Zielgrößen bewertet: der Wachstumsrate des Aufwuchses, der Bodendeckung der Vegetation, und der Triebdichte bei Gräsern beziehungsweise der Dichte der Vegetationspunkte bei Kräutern. Die Wachstumsraten wurden durch wiederholte Messung der Aufwuchsmasse während der Weidepausen mittels „rising plate meter“ bestimmt. Die Bodendeckung wurde erhoben, indem die Parzellenfläche jeweils drei Wochen nach jeder Beweidung digital fotografiert und die Bilder durch Farbanalyse und Pixelzählung ausgewertet wurden. Die Dichte der Triebe oder Vegetationspunkte wurde einmal nach viermaliger Beweidung in 2010 durch Zählung erhoben. Die statistische Auswertung der Effekte der Faktoren Weidedauer und wiederholte Beweidung wurde mittels split-plot ANOVA berechnet.

Daten zum auf die Auflaufoberfläche gerichteten Verhalten der Legehennen wurden im Rahmen des oben erläuterten Versuchsaufbaus erhoben. Mittels Point Sampling wurde jeweils am letzten Weidetag auf jeder Teilparzelle die relative Häufigkeit der Verhaltensweisen „Picken an Pflanzen“, „Picken am Boden“ bestimmt. Die Erklärungskraft des Faktors Bodendeckung der Auslaufvegetation für die Häufigkeit der Verhaltensweisen wurde mittels linearer Modelle analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Pflanzenarten unterschieden sich deutlich im Hinblick auf ihre Verträglichkeit gegenüber der Beweidung mit Legehennen. Bei den meisten Arten führte wiederholter Besatz zu einer Abnahme von Bodendeckung und Wachstumsrate des Aufwuchses. Für einige Arten war ein negativer Effekt von längerer Weidezeit auf diese beiden Zielgrößen oder auf die Triebdichte nachweisbar (Tab. 1). Im Allgemeinen zeigten die untersuchten Gräser eine höhere Toleranz gegenüber der Beweidung mit Legehennen als die Kräuter. Insgesamt zeichneten sich *F. arundinacea* und *P. supina* anhand der hier gemessenen Zielgrößen als die leistungsfähigsten Arten aus. Sie wiesen bei wiederholter, langer Beweidung mit Legehennen eine Bodendeckung von >80%, vergleichsweise hohe Wachstumsraten von >4,5 g Trockenmasse m^{-2} d^{-1} und konstante Triebdichten auf. Zudem war *F. arundinacea* die einzige Art, bei der eine verlängerte Weidedauer einen positiven Effekt auf das Aufwuchswachstum hatte. Im Gegensatz dazu wurden bei *L. perenne* und *T. repens* lediglich eine Bodendeckung von <60 bzw. <40%, und Wachstumsraten von <0,5 g Trockenmasse m^{-2} d^{-1} gemessen. Als Erklärungen für

eine hohe Verträglichkeit gegenüber der Beweidung mit Legehennen könnten insbesondere der Fasergehalt der Blätter und möglicherweise zusätzlich die Wuchsform der Pflanzen dienen. Es wurde eine signifikante Korrelation zwischen dem NDF-Gehalt (gemessen durch NIRS) der Vegetation und der Bodendeckung nach wiederholtem Besatz nachgewiesen (R^2 = 0,25, P < 0,001).

Tab. 1: Linker Teil der Tabelle: Effekte der Faktoren Besatzdauer mit Legehennen (D) und wiederholte Beweidung (W) und deren Interaktion auf Bodendeckung, Aufwuchswachstum und Dichte der Triebe bzw. Vegetationspunkte für einzelne Pflanzenarten. Ergebnisse einfaktorieller (Triebe) und zweifaktorieller (B, A) ANOVA. Rechte zwei Spalten: gemessene Werte von Bodendeckung [%] und Aufwuchswachstum [g m^{-2} d^{-1}] nach viermaligem Besatz bei langer Weidedauer. ***: P < <0,001; **: P < 0.01; *: P < 0.05; (+): positiver Effekt des Faktors auf Zielgröße (falls nicht verzeichnet: negativer Effekt des Faktors auf die Zielgröße). Alle Daten beziehen sich auf das Jahr 2010.

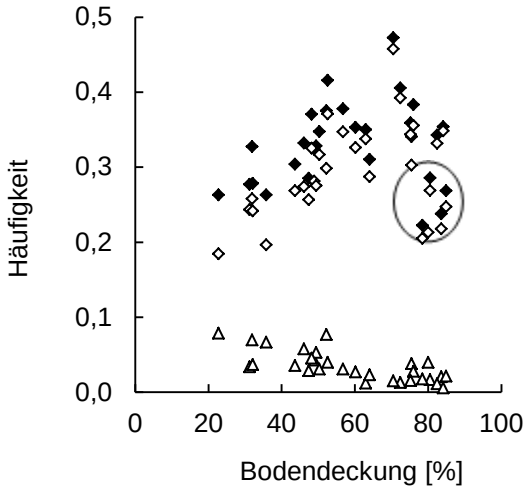
	Bodendeckung (B)			**Aufwuchswachst. (A)**			**Triebe**	**B**	**A**
Pflanzenart	D	W	D x W	D	U	D x W	D	[%]	[g m^{-2} d^{-1}]
Gräser									
A. stolonifera		***						49	2.85
D. cespitosa	*	***			***		*	60	1.12
E. repens	*			*	*		**	19	0
F. arundinacea				*(+)				95	5.07
F. rubra					**			80	2.29
F. trichophylla		*			**			79	2.58
L. perenne		***			***	*		57	0.44
P. pratensis					*			84	3.75
P. supina		**						89	4.82
Kräuter									
A. millefolium		**						40	0.78
P. major	*	*			*			35	0.74
R. repens		***			***		*	56	1.59
T. officinale		***			***		*	62	1.95
T. repens		***		*	***		*	37	0.48
Mischbestand		*			*			83	3.61

Die Hypothese, dass die botanische Zusammensetzung und die Bodendeckung der Grasnarbe Einfluss auf das Nahrungssuchverhalten der Legehennen haben würden, wurde bestätigt. Das auf die Auslaufvegetation gerichtete Pickverhalten nahm signifikant mit sinkender Bodendeckung der Vegetation ab. Allerdings wurde ein starker Effekt des Faktors botanische Zusammensetzung der Vegetation deutlich, und Grasnarben der Arten *F. trichophylla* und *F. arundinacea* wurden auch bei hoher Bodendeckung mit geringerer Häufigkeit bepickt (Abb. 1).

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen der beiden Versuche abgeleitet werden, dass sich die Verträglichkeit gegenüber der Beweidung mit Legehennen bei Pflanzenarten, welche aus intensiven Grünlandnutzungssystemen als sehr leistungsfähig und als gut schnitt- bzw. weideverträglich bekannt sind, stark unterscheidet. Ein hoher Fasergehalt begünstigt möglicherweise die Resistenz der Pflanzen gegenüber den schädigenden Wirkungen der Beweidung mit Legehennen.

Eine beständige, hohe Bodendeckung ist auch aus Sicht des Tierverhaltens vorteilhaft. Allerdings wurden einige faserreiche Pflanzenarten vergleichsweise weniger häufig bepickt. Für die Einrichtung einer multifunktionalen Auslaufbegrünung, welche sowohl an Aspekten des Bodenschutzes als auch am Tierwohl orientiert ist, erscheinen Arten, welche unter den vorherrschenden Bedingungen gut wüchsig sind, aber auch gut bepickt werden als am besten geeignet. Von den hier untersuchten Arten trifft dies insbesondere auf *P. pratensis* oder *P. supina* zu.

Abb. 1: Zusammenhang zwischen Bodendeckung der Auslaufvegetation [%] und der Häufigkeit (angegeben als Anteil an den gesamten während der Beobachtungszeit aufgenommenen Datenpunkten) der Verhaltensweisen Picken am Boden (Dreiecke), Picken an Pflanzen (weiße Rauten) und Picken am Boden oder an Pflanzen in Summe (schwarze Rauten). Kreis: Daten für *F. arundinacea* und *F. trichophylla*-Grasnarben. Werte aus den Jahren 2009 und 2010.



Die Wahl der zur Begrünung des Auslaufs verwendeten Pflanzenarten ist somit eine relevante Methode des Auslaufmanagements. Für die praktische Anwendung muss schließlich betont werden, dass diese Maßnahme nicht getrennt von weiteren Pflegemaßnahmen, wie beispielsweise einer Beweidung des Auslaufs in Form von Umtrieben, welche Ruhephasen von geeigneter Länge erlauben, stehen kann. Ein ergänzender Versuch (Breitsameter et al. 2012) lieferte ferner Hinweise darauf, dass eine Stabilisierung des Bodens zum Schutz der Wurzeln und des Vegetationskegels die Haltbarkeit der Bepflanzung verbessern könnte.

Literatur

Breitsameter, L., Küchenmeister K., Küchenmeister F., Isselstein J. 2012: Tolerance to mechanical damage in ten herbaceous grassland plant species. Plant, Soil and Environment 58, 334-339.

Bundessortenamt 2006: Beschreibende Sortenliste Rasengräser. Bundessortenamt, Hannover.

Dierschke H., Briemle G. 2002: Kulturgrasland. Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren. Ulmer, Stuttgart.

Jones R.B., Carmichael N.L., Rayner E. 2000: Pecking preferences and pre-dispositions in domestic chicks: implications for the development of environmental enrichment devices. Applied Animal Behaviour Science 69, 291-312.

Shimmura T., Suzuki T., Azuma T., Hirahara S., Eguchi Y., Uetake K., Tanaka T. 2008. Form but not frequency of beak use by hens is changed by housing system. Applied Animal Behaviour Science 115, 44-54.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 40–43 (2013)

Teilflächenspezifische N-Düngung im Winterraps

Ingo Pahlmann

Christian-Albrechts-Universität Kiel. E-Mail: *pahlmann@pflanzenbau.uni-kiel.de*

Einleitung

Winterraps ist, insbesondere in Nord- und Ostdeutschland, eine der wichtigsten Kulturen in der Fruchtfolge. Gründe dafür liegen in der guten Vorfruchtwirkung und der ökonomischen Attraktivität des Rapsanbaus. Diese ist nicht zuletzt auch aufgrund der guten Absatzmöglichkeiten im Biodieselmarkt gegeben. Dennoch steht der Winterrapsanbau vor zunehmenden Herausforderungen, da seine vergleichsweise schlechte N-Effizienz es nicht nur erschwert, die N-Salden-Vorgaben der Düngeverordnung einzuhalten, sondern auch die Treibhausgasbilanz von Kraftstoffen auf Rapsölbasis belastet. Eine Steigerung der N-Effizienz stellt somit ein wichtiges Ziel moderner Rapsanbausysteme dar. Dabei erscheint, neben einer weiteren Optimierung der schlageinheitlichen Düngung, die teilflächenspezifische Herangehensweise besonders vielversprechend.

Gut beschriebene, veröffentlichte Ansätze zur teilflächenspezifischen N-Düngung sind bisher auf wenige Kulturen begrenzt. Oftmals spielt dabei die Anpassung der Düngung an im Vegetationsverlauf gemessene Bestandesparameter oder der Vergleich zu Referenzflächen eine wichtige Rolle. Solche Konzepte sind jedoch aufgrund der bereits früh in der Vegetationszeit abgeschlossenen Düngung nur schwer auf den Rapsanbau zu übertragen. Henke et al. (2009) stellten einen alternativen empirischen Ansatz für die schlageinheitliche Bewirtschaftung vor, der die N-Aufnahme eines Rapsbestandes im Herbst als Indikator zur Anpassung der N-Düngung im folgenden Frühjahr verwendet. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, dieses Konzept in einen teilflächenspezifischen Düngealgorithmus zu überführen.

Material und Methoden

Um in den folgenden Darstellungen Verwechslungen zwischen schlageinheitlichen Bezugsgrößen und jenen, die Teilflächen (TF) betreffen, zu vermeiden, bezieht sich „N“ immer auf TF (z.B. N_{auf} = N-Aufnahme der TF, N_{opt} = optimale N-Düngung der TF), wohingegen der undifferenzierte, schlageinheitliche Ansatz durch „U“ gekennzeichnet wird (U_{auf} = N-Aufnahme des Gesamtschlags, U_{opt} = optimale einheitliche Düngung).

Henke et al. (2009) fanden einen engen Zusammenhang zwischen N-Aufnahme des Bestandes im Herbst $U_{auf}(Jahr, Ort)$ an einem Standort und derjenigen N-Düngung, die in diesem Jahr an diesem Ort optimal war $\left(U_{opt}(Jahr, Ort)\right)$:

$$U_{opt}(Jahr, Ort) = a_{Ort} + b \cdot U_{auf}(Jahr, Ort) \qquad [1]$$

Dabei wiesen a_{Ort} und b keine Abhängigkeit vom Jahr auf. Im Mittel der Jahre ergibt sich somit an einem bestimmten Standort (im Folgenden wird immer nur ein Standort betrachtet, der Index „Ort“ entfällt):

$$\overline{U_{opt}} = a + b \cdot \overline{U_{auf}} \qquad [2]$$

Daraus folgt eine Düngeempfehlung, die auf der Modifikation der im Mittel der Jahre optimalen N-Düngung beruht. Die Modifikation ergibt sich aus dem mit b gewichteten Vergleich der aktuellen und der durchschnittlichen Herbstentwicklung:

$$U_{opt}(Jahr) = \overline{U_{opt}} + b \cdot \left(U_{auf}(Jahr) - \overline{U_{auf}}\right) \qquad [3]$$

Um dieses Konzept für TF umzusetzen, ist nicht der Vergleich zwischen Jahren, sondern der zwischen den TF entscheidend. In Analogie zu Gleichung [3] ergibt sich somit anstatt $U_{opt}(Jahr)$ [4] das Teilflächenoptimum $N_{opt}(TF)$ [5]:

$$U_{opt}(Jahr) = \frac{\sum_{Jahr=1}^{M} U_{opt_{Jahr}}}{M} + b \cdot \left(U_{auf}(Jahr) - \frac{\sum_{Jahr=1}^{M} U_{auf_{Jahr}}}{M} \right) \quad [4]$$

$$N_{opt}(TF) = \frac{\sum_{TF=1}^{n} N_{opt_{TF}}}{n} + c \cdot \left(N_{auf}(TF) - \frac{\sum_{TF=1}^{n} N_{auf_{TF}}}{n} \right) \quad [5]$$

Die Notation der Gleichung [5] wird vereinfacht dargestellt als:

$$N_{opt}(TF) = \overline{N_{opt}} + c \cdot \left(N_{auf} - \overline{N_{auf}} \right) \quad [6]$$

Die optimale Düngung einer TF ergibt sich somit aus dem mittleren Optimum aller TF $\left(\overline{N_{opt}}\right)$ und der mit c gewichteten Differenz der N-Aufnahme dieser TF $\left(N_{auf}\right)$ zur mittleren N-Aufnahme aller TF $\left(\overline{N_{auf}}\right)$. Die Umsetzung erfordert also die Messung von N_{auf} und $\overline{N_{auf}}$. Dazu bieten sich reflexionsoptische Messungen, wie von Müller et al. (2008) im Raps beschrieben, an. Weiterhin wird ein Schätzwert für das mittlere Optimum der TF $\left(\overline{N_{opt}}\right)$ und eine Parametrisierung von c benötigt.

Zur Parametrisierung standen Daten aus zwei Jahren eines teilflächenspezifischen Versuchs von Müller et al. (2008) zur Verfügung. Dieser umfasste jeweils vier unwiederholte N-Stufen auf acht ausgewählten TF eines Schlags. Der Parameter c ergab sich aus der Herbst-N-Aufnahme der Parzellen und der zugehörigen optimalen N-Düngung der TF im Frühjahr. Die optimale N-Düngung resultierte ihrerseits aus der Anpassung von quadratischen (Q), quadratisch-plateau (QP) und linear-plateau (LP) Ertragsfunktionen mit gleichem Formparameter (Pahlmann et al., 2009). Da mit dem in Gleichung [3 & 4] dargestellten Konzept ein guter Schätzwert für eine schlageinheitlich optimale N-Düngung zur Verfügung stand, bot es sich an zu prüfen, ob dieser auch ein geeigneter Schätzwert der mittleren teilflächenspezifisch optimalen Düngung $\left(\overline{N_{opt}}\right)$ sei. Dazu wurde der mittlere N-Aufwand, der bei optimaler Bewirtschaftung der acht TF notwendig gewesen wäre, demjenigen gegenüber gestellt, der dem einheitlich applizierten Optimum entsprochen hätte.

Im Anschluss an die Parametrisierung erfolgte der Test des Algorithmus in Feldversuchen. Die dazu benötigten Karten der Herbst-N-Aufnahme lieferten Messfahrten mit dem Yara N-Sensor®. Auf diese Karten ließ sich dann der Düngealgorithmus anwenden, um so Applikationskarten zu erstellen, die im Frühjahr die Düngung (streifenweise in Kombination mit zwei Kontrollvarianten) vorgaben. Die Kontrollvarianten sahen sowohl die Applikation einer als schlageinheitlich optimal angesehenen N-Menge vor als auch die schlageinheitliche Ausbringung der gleichen N-Menge, die als Resultat des Düngealgorithmus teilflächenspezifisch ausgebracht wurde. Die Versuche konnten 2009 an zwei und 2010 an sechs Standorten durchgeführt werden, wobei Anlage und Beerntung (Kerndrusch der Streifen) jeweils mit Betriebstechnik erfolgten. Der Ertrag wurde durch getrenntes Verwiegen der geernteten Menge des jeweiligen Streifens festgestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Parametrisierung von c führte nur im LP- und QP-Modell zu signifikanten Ergebnissen, wobei das QP-Modell am besten geeignet war $\left(\mathrm{Pr}_{(>t)} \leq 0{,}001\right)$. In beiden Fällen (QP: $c = -1{,}31$; LP: $c = -1{,}08$) resultierte die Parametrisierung von c in Werten, die vom von Henke et al. (2009) beschriebenen Wert für eine

schlageinheitliche Düngung $(b = -0{,}7)$ abwichen. Gründe für diesen Unterschied sind in den Ursachen zu sehen, die zur beobachteten Variation führten: Im Parzellenversuch sind dies Saatzeit, die variierte Herbst-N-Düngung sowie Jahres- und Standorteffekte. Zwischen TF (innerhalb eines Jahres und mit gleichem Management im Herbst) sind hingegen vor allem Bodenunterschiede als ursächlich anzunehmen. Eine Analyse der Daten von Henke et al. (2009) und Sieling & Kage (2011) zeigte, dass abweichende Steigungen plausibel sind: Der ermittelte Anpassungskoeffizient fiel größer aus, wenn nur Varianten ohne N-Düngung im Herbst berücksichtigt wurden (also der bodenbürtige Anteil am Signal „N-Aufnahme“ höher war) und verringerte sich im umgekehrten Fall. Dieses Beispiel unterstreicht die Notwendigkeit, bei der Entwicklung empirischer Algorithmen eine möglichst gute Übereinstimmung der Variationsursachen zwischen Kalibrationsdatensatz und Anwendung anzustreben. Die Kalibration teilflächenspezifischer Algorithmen anhand üblicher, nicht teilflächenspezifischer Parzellenversuche ist daher kritisch zu hinterfragen, und eine Parametrisierung anhand teilflächenspezifisch erhobener Daten, wie die hier dargestellte, erscheint erstrebenswert.

Wie oben beschrieben wurde geprüft, ob ein Schätzwert für eine schlageinheitlich optimale Düngung (U_{opt}) auch als Schätzwert der mittleren Teilflächenoptima $(\overline{N_{opt}})$ geeignet ist. Während U_{opt} und $\overline{N_{opt}}$ in beiden Jahren für das Q-Modell übereinstimmten, führte das LP- oder QP-Modell zu einem $\overline{N_{opt}}$, das im ersten Jahr rd. 10 kg N/ha und im zweiten Jahr rd. 30 kg N/ha unterhalb des (mit dem jeweils gleichen Modell ermittelten) U_{opt} lag. Sowohl die empirisch ermittelte Identität von U_{opt} und $\overline{N_{opt}}$ im Q-Modell als auch die Relation $\overline{N_{opt}} < U_{opt}$ im LP-Modell ließ sich durch Summation und Umformung der zur Auswertung verwendeten Funktionsformen mathematisch auch allgemein zeigen, was den empirischen Befund weiter stützt. Da das Q-Modell bei der Parametrisierung von c schlecht abgeschnitten hatte, wurden auch hier im Weiteren nur die Modelle QP und LP berücksichtigt und eine Differenz zwischen U_{opt} und $\overline{N_{opt}}$ im Düngealgorithmus implementiert. Obwohl Unterschiede in der Differenz zwischen den Jahren beobachtet wurden und die oben erwähnten Umformungen zeigten, dass die tatsächliche Differenz zwischen U_{opt} und $\overline{N_{opt}}$ von der Variation der Teilflächenoptima und ihrer Verteilfunktion abhängt, wurde für die Zwecke des Tests im Feldversuch die Differenz einheitlich auf 30 kg N/ha gesetzt. Somit wurde die Einführung einer weiteren Variable in die Versuche vermieden und die Vergleichbarkeit zwischen den Standorten gewährleistet.

Der beschriebene Unterschied zwischen teilflächenspezifischer und schlageinheitlicher Düngung zeigt auch, warum zwei verschiedene Kontrollvarianten zum Testen eines teilflächenspezifischen Algorithmus notwendig sind, wenn dieser Algorithmus über die bloße teilflächige Umverteilung einer als einheitlich optimal anzusehenden N-Menge hinaus geht. Die optimale einheitliche Bewirtschaftung stellt die natürliche Kontrolle dar, an der sich jede teilflächenspezifische Düngung messen lassen muss. Wenn die absoluten N-Aufwandsmengen allerdings unterschiedlich sind, wird eine zweite Kontrollvariante unerlässlich. Andernfalls könnte ein insgesamt zu hohes N-Niveau bewirken, dass zwischen den Varianten kein Unterschied im Ertrag auftritt und in der Folge die Variante mit der niedrigeren N-Aufwandsmenge vorzüglich erscheint. Ob ein solcher Unterschied aber tatsächlich in der besseren Eignung dieser Variante begründet liegt, lässt sich nur mit einer weiteren Variante auf dem gleichen Düngeniveau entscheiden. Wie oben gezeigt lag die

teilflächenspezifische Düngung konzeptbedingt immer unter dem Niveau der schlageinheitlichen Düngung, folglich besteht die zweite Kontrollvariante in einer schlageinheitlichen Applikation dieser reduzierten N-Aufwandsmenge.

Die Erträge im Feldversuch zeigten einen generellen Trend der Form „einheitlich optimal“ ≥ „teilflächenspezifisch“ > „einheitlich reduziert“. Das gilt sowohl für die Mediane der Erträge an den Einzelstandorten als auch für die Mittelwerte. Im multiplen Mittelwertsvergleich lag der Ertrag der teilflächenspezifischen Düngung um 0,06 t/ha unter der optimalen einheitlichen. Wurde die Düngermenge hingegen einheitlich um 30 kg N/ha reduziert, sank der Ertrag um 0,28 t/ha. Der Vorteil der teilflächenspezifischen Düngung gegenüber einer einheitlichen Applikation der gleichen N-Menge lag also bei 0,22 t/ha. Diese Unterschiede ließen sich jedoch nicht statistisch absichern.

Sowohl die N-Bilanzüberschüsse als auch die (nach den Vorgaben für Biokraftstoffe berechneten) Treibhausgasemissionen reduzierten sich signifikant, wenn die einheitlich optimale N-Düngung durch eine teilflächenspezifische ersetzt wurde. Auch eine einheitliche Reduktion führte hier zu einer signifikanten Verbesserung, jedoch ging diese mit einem gegenüber der einheitlich optimalen Variante reduzierten N-freien Erlös (angenommene Preise: Raps 400 €/t, N 1 €/kg) von rd. -84 €/ha einher. Die N-freien Erlöse der teilflächenspezifischen Variante lagen hingegen rd. +5 €/ha über denen der einheitlich optimalen. Die teilflächenspezifische Düngung vereinte somit die ökonomischen und ökologischen Vorteile in einer Variante.

Die Erprobung des Algorithmus im Feld fand unter ungünstigen Bedingungen statt, denn die N-Aufnahme im Herbst der Versuchsjahre war vergleichsweise gering. Wie oben dargestellt entsprach der Parameter, der im Algorithmus den Unterschied der N-Aufwandsmenge zwischen einer einheitlichen und einer teilflächenspezifischen Düngung quantifiziert, dem beobachteten Maximalwert aus Vorversuchen. Ob dieser Wert in den Versuchsjahren angemessen war, bleibt zu hinterfragen. Eine Anpassung dieses Parameters an die Variation vor Ort stellt somit ein wesentliches Potential für eine zukünftige Leistungssteigerung des Algorithmus dar.

Literatur

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

Müller, K., Böttcher, U., Meyer-Schatz, F. und Kage, H. (2008): Analysis of vegetation indices derived from hyperspectral reflection measurements for estimating crop canopy parameters of oilseed rape (Brassica napus L.). Biosystems Engineering 101, 172–182.

Pahlmann, I., Böttcher, U., Müller, K. und Kage, H. (2009): Teilflächenspezifische Stickstoff-Responsekurven im Winterraps, in: Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 111–112.

Sieling, K. und Kage, H. (2011): Optimizing N fertilization of winter oilseed rape. Proceedings of the 13th International Rapeseed Congress, Prague.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 44–47 (2013)

Biomasseleistung von Kurzumtriebsplantagen im ersten Umtrieb - Erträge von bayerischen Praxisflächen

Sebastian Hauk[1], Stefan Wittkopf[2]

[1] Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Wald und Forstwirtschaft, Fachgebiet Holzenergie, Arbeitsplatz am Wissenschaftszentrum Straubing, 94315 Straubing
[2] Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Wald und Forstwirtschaft, Fachgebiet Holzenergie, 84345 Freising
E-Mail: *s.hauk@wz-straubing.de*

Einleitung

Die wachsende Weltbevölkerung und der steigende Wohlstand führen zu einer erhöhten Nachfrage nach Energie (IEA 2011). Bioenergie kommt dabei eine besondere Rolle zu. Aktuell nimmt die durch Biomasse erzeugte Energie den größten Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch Deutschlands ein. Sie ist universell einsetzbar, gut lagerfähig, steht jedoch teilweise in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Deshalb sollte es ein Anliegen einer Volkswirtschaft sein, die Biomasse möglichst effizient und mit wenig ökologischen Nachteilen zu produzieren. Kurzumtriebsplantagen (KUP) - schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlicher Fläche - sind eine Möglichkeit, flächeneffizient Biomasse bereitzustellen. Die Energieeffizienz ist im Vergleich zu anderen Energiepflanzen hoch (Djomo et al. 2011) und bringt durch die extensive Bewirtschaftung weitere ökologische Vorteile (Jørgensen et al. 2005). Jedoch ist die Zahl der KUP mit ca. 4000 Hektar in Deutschland gering (Hauk und Wittkopf 2012b). Neben sozio-ökonomischen Entscheidungsgründen werden vor allem ökonomische Gründe - langfristige Kapitalbindung und unsichere Wirtschaftlichkeit - als Hemmnisse für die Verbreitung von KUP in Bayern genannt (Hauk und Wittkopf 2012a). Die Wirtschaftlichkeit wird wesentlich von den zu erzielenden Preisen (Krasuska und Rosenqvist 2012) und den Erträgen (Gandorfer et al. 2011) beeinflusst. Die Preise können Statistiken entnommen werden, Biomasseerträge für den KUP-Betreiber sind im Gegensatz dazu unsicher. Bisher veröffentlichte Erträge für KUP-Bestände stammen von Versuchsflächen (LWF 2012), deshalb ist es fraglich, ob unter Praxisbedingungen diese Erträge erzielt werden können. Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Studie auf 30 unterschiedlichen Standorten in Bayern Biomasseerträge bei KUP-Betreibern ermittelt.

Material und Methoden

Eine Studie (Hauk und Wittkopf 2012a) zur Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen in Bayern ermittelte, dass rund 80 % der Befragten ihre KUP im dreijährigen Umtrieb bewirtschaften. Die anderen 20 % gaben an, nach fünf bis zehn Jahren ernten zu wollen. Diesem Verhältnis entsprechend wurden Praxisflächen in Bayern zufällig ausgewählt, um die Erträge zu bestimmen. Alle Erträge wurden auf Flächen im ersten Umtrieb erhoben. Die Gruppe der dreijährigen Erträge wird nachfolgend als G 3 und die der fünfjährigen und älteren Flächen als G 5+ bezeichnet. Die Auswertung und Darstellung der Erträge erfolgt ebenso in diesen beiden Gruppen, da sich einerseits die Erntetechnik zwischen beiden Altersgruppen unterscheidet und bei ähnlichem Pflanzverband eine unterschiedliche Biomasseleistung erwartet wird.

Als Indikator für die Flächengüte wurde neben der Jahresdurchschnittstemperatur die Wasserversorgung des Standorts erfragt, da diese entscheidende Kriterien für das

Wachstum von Pappelhybriden sind (Petzold et al. 2010). Zwei Drittel der Flächen sind ganzjährig gut wasserversorgt. Rund 60 % der Bestände wurden auf Flächen angelegt, deren Pachtpreis niedriger ist, als der durchschnittliche Pachtpreis im jeweiligen Betrieb, nur ein Bestand wurde auf einer Fläche mit überdurchschnittlichem Pachtpreis angelegt.
Die Erträge wurden mittels Regressionsverfahren berechnet. Bei diesem Verfahren wird ein Zusammenhang zwischen Gewicht und Brusthöhendurchmesser (BHD) einer bestimmten Anzahl an Probebäumen hergestellt. Dadurch kann das durchschnittliche Triebgewicht der Fläche ermittelt und mit der Anzahl der Triebe pro Flächeneinheit multipliziert werden, um die aktuelle Biomasse der Fläche (Gesamtwuchsleistung) zu bestimmen. Nach (Nordh und Verwijst 2004; Röhle) ist die Biomasseschätzung mittels Regressionsmethode eine der präzisesten Verfahren, um Erträge in KUP zu bestimmen; (Nordh und Verwijst 2004) nennen eine maximale Abweichung von 7 %.
Zunächst wurden je Bestand 250 BHD mittels elektronischer Kluppe gemessen. Um die Standortverhältnisse möglichst gut darzustellen, erfolgten die Messungen kreuzförmig-diagonal. Entsprechend der Durchmesserhäufigkeitsverteilung wurden 25 Probebäume entnommen und in einem zweiten Schritt deren Durchmesser und Frischgewichte bestimmt. Um den Trockensubstanzgehalt zu ermitteln, wurden für jeden Stamm jeweils zwei Wassergehaltsproben entnommen und nach der Darr-Methode getrocknet. Daraus konnte für jeden Bestand eine allometrische Biomassefunktion abgeleitet werden, welche einen Zusammenhang zwischen BHD und Triebtrockenmasse herstellt:

I $$BM = a_0 * BHD^{a_1}$$

Hierbei gilt: BM = Trockenmasse des Triebes, a_0 und a_1 = Regressionsfaktoren, BHD = Brusthöhendurchmesser auf 1,3 m Höhe.
Durch Einsetzen der 250 BHD in Formel I konnte für jeden BHD-Wert ein Triebgewicht und danach das durchschnittliche Triebgewicht berechnet werden.
Die Anzahl der Triebe pro Hektar wurde wie folgt berechnet:

II $$nT = (nP - A) * nTS$$

Hierbei gilt: nT = Triebzahl pro Hektar, nP = Pflanzzahl bei Bestandesbegründung, A = Ausfallrate, nTS = Durchschnittliche Triebzahl pro Stock.
Je nach Homogenität des Bestandes wurden nP, A und nTS in drei bis sechs Reihen, über den Bestand verteilt, aufgenommen.
Die Gesamtwuchsleistung (GWL) [$t_{atro} * ha^{-1}$] wurde durch Multiplikation des durchschnittlichen Triebgewichts mit der Triebzahl pro Hektar errechnet. Die GWL wurde zum durchschnittlichen Gesamtzuwachs (dGZ) [$t_{atro} * ha^{-1} * a^{-1}$] überführt. Für den Vergleich der disaggregierten Biomasseerträge der Gruppen G 3, G 5 + und der beiden Gruppen G 5+ und LWF 5+10 (letztere sind Biomasseerträge der Versuchsflächen der LWF im Alter fünf und zehn im ersten Umtrieb) wurde der Mann-Whitney-Test herangezogen, da keine Normalverteilung der eigenen Daten vorliegt. Das Signifikanzniveau betrug α = 0,05.

Ergebnisse und Diskussion

In beiden Gruppen wurden maximal 8269 Pflanzen pro Hektar vorgefunden (Tabelle 1). Die vergleichsweise geringen Pflanzzahlen in G 3 kommen daher, dass nach Angaben der Flächenbetreiber Umtriebszeiten bis zu zehn Jahren angestrebt werden. Die Differenz zwischen maximalem und minimalem Ausfall und maximaler

und minimaler Anzahl der Triebe pro Stock, ist in beiden Gruppen hoch. Diese hohe Differenz verdeutlicht, dass eine Erhebung beider Parameter unbedingt notwendig ist, um starke Fehler in der Biomasseermittlung zu vermeiden.

Tabelle 1: Wichtige Faktoren für die Berechnung der Biomasseerträge

Inputparameter	G 3		G 5+	
	Minimum	**Maximum**	**Minimum**	**Maximum**
Pflanzzahl [n*ha^{-1}]	2500	8269	4444	8269
Ausfall [%]	2,90	32,05	2,30	35,00
Durchschnittliche Triebzahl pro Stock	1,05	1,18	1,00	1,38

Die drei Jahre alten KUP-Bestände weisen im Mittel Trockenmasseerträge von 3,58 t atro * ha^{-1} * a^{-1}, die fünf- bis zehnjährigen KUP-Bestände 8,93 t atro * ha^{-1} * a^{-1} auf (Tabelle 2). Der Faktor für den mittleren Unterschied beträgt somit 2,5. Die Unterschiede der Erträge beider Gruppen sind signifikant.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Biomasseerträge verschiedener KUP-Bestände. Gruppe "G 3" enthält Daten dreijähriger KUP-Bestände und Gruppe "G 5+" enthält Daten von fünf bis zehnjährigen KUP-Beständen, welche unter Praxisbedingungen in Bayern bewirtschaftet werden. Gruppe „LWF 5+10“ enthält die Daten der Versuchsflächen der LWF im Alter 5 und 10 (LWF 2012). Alle Daten stammen von KUP-Beständen im ersten Umtrieb.

	G 3	**G 5+**	**LWF 5+10**
	BM [t atro * ha^{-1} * a^{-1}]	**BM [t atro * ha^{-1} * a^{-1}]**	**BM [t atro * ha^{-1} * a^{-1}]**
Mittelwert	3,58	8,93	5,81
Standardabweichung	2,66	4,18	2,75

Dies hängt zum einen mit der Wuchsdynamik von Pappelhybriden zusammen; selbst bei speziellen KUP-Züchtungen kulminiert das Wachstum später. Zum anderen hängen die vergleichsweise geringen Erträge der Gruppe „G 3“ mit den geringen Pflanzdichten der KUP-Bestände zusammen, welche für Umtriebe ≥ 5 Jahre angelegt wurden. Die Erträge der Gruppe „G 5+“ sind mit ihrer mittleren Trockenmasse von 8,93 t atro*ha^{-1}*a^{-1} bereits im ersten Umtrieb auf hohem Ertragsniveau. In den Folgerotationen kann zudem mit einer deutlichen Biomasseertragssteigerung gerechnet werden. Nach (Aust 2012) sind über die Standdauer von KUP-Beständen mit durchschnittlich 8-12 t atro*ha^{-1}*a^{-1} zu rechnen. Die vergleichsweise hohe Standardabweichung kann neben standörtlichen Faktoren, die allerdings bei allen Gruppen sehr unterschiedlich sind, durch die hohen biotischen und abiotischen Schäden (Verringerung des Biomasseertrags) in dieser Gruppe erklärt werden. Zudem nähert sich das Alter der Bestände dem des maximalen Zuwachses von Pappelhybriden, was zu einer positiven Abweichung führt. Ein Kernergebnis ist, dass die Erträge der Gruppe „G 5+“ nicht signifikant unterschiedlich von den Biomasseerträgen der bayerischen Versuchsflächen (LWF 5+10) sind. Der mittlere Biomasseertrag der Praxisflächen liegt sogar über dem der Versuchsflächen. Somit konnte die These von (Lothner 1990) hier nicht bestätigt werden, dass bei Praxisflächen geringere Erträge angenommen werden müssen. Dieses Ergebnis überrascht auch deshalb, da die Bestände auf landwirtschaftlichen Flächen großteils mit unterdurchschnittlichen Pachtpreisen angelegt wurden. Zum einen können die hohen Erträge der Gruppe G 5+ mit der guten Wasserversorgung der meisten

Standorte begründet werden, die laut (Petzold et al. 2010) einer der wichtigsten Faktoren für das Wachstum von Pappelhybriden ist. Zum anderen wurden für die Anlagen der Versuchsflächen der LWF viele Standorte (auch schlecht wüchsige) gewählt, was zu einem niedrigen Mittelwert in dieser Gruppe führt.

Fazit

Erträge bayerischer KUP-Bestände unter Praxisbedingungen sind statistisch nicht von denjenigen der Versuchsflächen unterschiedlich; im Mittel sogar höher. Der Anbau auf Standorten mit niedrigen Bodenwertzahlen und hoher Wasserverfügbarkeit könnte eine wirtschaftlich interessante KUP-Bewirtschaftungsweise, wegen mittleren bis guten Erträge von KUP bei nur geringen Opportunitätskosten anderer landwirtschaftlicher Kulturen, darstellen. Dazu sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich.

Literatur

Aust, C. (2012): Abschätzung der nationalen und regionalen Biomassepotentiale von Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland. Dissertation. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau. Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften.

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (Hg.) (2012): Biomasseproduktion von Kurzumtriebsplantagen. Ertragskundliche Ergebnisse des Projekts "Anbauversuche mit schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb". Freising.

Djomo, S. N.; Kasmioui, O. El; Ceulemans, R. (2011): Energy and greenhouse gas balance of bioenergy production from poplar and willow: a review. In: *GCB Bioenergy* 3 (3), S. 181–197.

Gandorfer, M.; Eckstein, K.; Hoffmann, H. (2011): Modeling Economic Performance of an Agroforestry System under Yield and Price Risk. 15th International Consortium on Applied Bioeconomy Research (ICABR) Annual Conference. International Consortium on Applied Bioeconomy Research (ICABR). Villa Mondragone (Frascati), 26.06.2011. Online verfügbar unter http://www.economia.uniroma2.it/icabr-conference/paper_view.php?id=2439&p=12, zuletzt geprüft am 08.03.2012.

Hauk, S.; Wittkopf, S. (2012a): Kurzumtriebsplantagen in Bayern. Ergebnisse der ersten Betreiberbefragung. In: C.A.R.M.E.N. e.V. (Hg.): 20. C.A.R.M.E.N.-Symposium. Bausteine der Ressourcen- und Energiewende. Würzburg, Germany, July 2.-3., S. 357–361.

Hauk, S.; Wittkopf, S. (2012b): Kurzumtriebsplantagen in Bayern. Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen. In: *LWF aktuell* 19 (45), S. 27–28.

International Energy Agency (IEA) (2011): World energy outlook 2011. Paris: IEA, International Energy Agency; OECD.

Jørgensen, Uffe; Dalgaard, Tommy; Kristensen, Erik Steen (2005): Biomass energy in organic farming—the potential role of short rotation coppice. Proceedings of the joint IEA bioenergy task 30 and task 31 workshop sustainable bioenergy production systems: environmental, operational and social implications. In: *Biomass and Bioenergy* 28 (2), S. 237–248. Online verfügbar unter http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953404001539.

Krasuska, Ewa; Rosenqvist, Håkan (2012): Economics of energy crops in Poland today and in the future. In: *Biomass and Bioenergy* 38 (0), S. 23–33. Online verfügbar unter http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195341100465X.

Lothner, D. C. (1990): Economic evaluations for short-rotation biomass production systems. Forestry, Forest Biomass, and Biomass Conversion: The IEA Bioenergy Agreement (1986-1989) Summary Reports. In: *Biomass* 22 (1-4), S. 135–144. Online verfügbar unter http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0144456590900129.

Nordh, N. -E; Verwijst, T. (2004): Above-Ground Biomass Assessments and First Cutting Cycle Production in Willow (Salix sp.) Coppice - A Comparison between Destructive and Non-Destructive Methods. In: *Biomass and Bioenergy* 27, S. 1–8.

Petzold, R.; Feger, K.-H; Röhle, H. (2010): Standörtliche Voraussetzungen für Kurzumtriebsplantagen. In: A. Bemmann, C. Knust und Albrecht Bemmann (Hg.): Agrowood Kurzumtriebsplantagen in Deutschland un europäsiche Perspektiven // Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. 1. Aufl. Berlin: Weißensee Verlag; Weissensee-Verl., S. 44-53

Röhle, H. (2009): Arbeitskreis Biomasse: Verfahrensempfehlung zur Methodik der Biomasseertmittlung in Kurzumtriebsbeständen. In: Jürgen Nagel (Hg.): Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten Sektion Ertragskunde. Sektion Ertragskunde : Beiträge zur Jahrestagung 2009, S. 220–226.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 48–51 (2013)

Ökobilanzierung der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen unter den Anbaubedingungen Schleswig-Holsteins

S. Claus

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hermann-Rodewald-Straße 9, 24118 Kiel Institut für Pflanzenbau u. -züchtung, Grünland und Futterbau/Ökol. Landbau; sclaus@email.uni-kiel.de

Einleitung

In Deutschland besteht seit Inkrafttreten des "Erneuerbare-Energien-Gesetzes" (EEG) und insbesondere dessen Novellierungen in 2004 und 2009 ein verstärkter Trend zur Installation von Biogasanlagen. Parallel dazu fand eine Ausdehnung des Anbaus von Silomais statt, welcher die Substratbereitstellung dominiert. Die Gesamt-Silomaisanbaufläche in Schleswig-Holstein umfasste in 2012 181.000 ha, wovon ca. 50% für die Biogasproduktion eingesetzt wurden. Die Nutzung von Grünlandaufwüchsen und Energiefruchtfolgen zur Biogaserzeugung ist in der Praxis von geringer Bedeutung. Potentielle negative Effekte, die aus dem Maisanbau resultieren, umfassen Ammoniak- und Lachgas-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Gärresten (QUAKERNACK et al. 2012), Humusabbau, Nitratauswaschung (SVOBODA 2011, KBU 2008), Wind- und Wassererosion sowie negative Effekte auf die Biodiversität. Zusätzlich ist die Substratproduktion zur Biogaserzeugung häufig durch einen hohen Einsatz an fossilen Brennstoffen gekennzeichnet, wodurch sowohl die Energie- als auch die Treibhausgas (THG)-Bilanz negativ beeinflusst werden. Dies ist im Hinblick auf eine mögliche Zertifizierung der Biogasproduktion im Sinne der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung von erheblicher Bedeutung, da die Nachhaltigkeit der Biogasproduktion durch diese Faktoren stark beeinflusst wird.

Die Ökobilanz ist ein geeignetes Instrument, um die Umweltauswirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen detailliert zu erfassen und zu bewerten (CHERUBINI et al. 2009). Obwohl in Deutschland bislang verschiedene Studien zur Ökobilanzierung der Biogasproduktion durchgeführt wurden, stehen Daten für Norddeutschland, insbesondere in Bezug auf Energie- und THG-Bilanzen, nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung. Ziel dieser Untersuchung war es daher, eine Ökobilanz mit dem Fokus auf Energie- und THG-Bilanzen für die Biogasproduktion in Schleswig-Holstein auf Basis von in situ erhobenen Daten zu erstellen. Basierend auf früheren Studien zur Nachhaltigkeit der Futterproduktion, die dokumentieren, dass die optimale Produktionsstrategie von der relativen Bedeutung determiniert wird, welche regional bzw. global wirkenden Umweltgütern zugemessen wird (ROTZ et al., 2005), wurden folgende Hypothesen geprüft:

(1) Auf Standorten im Östlichen Hügelland und in der Marsch haben Biogas-Fruchtfolgen in Bezug auf die Energieeffizienz und das THG-Einsparpotential einen Vorteil gegenüber Mais in Selbstfolge.

(2) Auf Standorten in der Geest weist Mais in Selbstfolge eine höhere Energieeffizienz und geringere THG-Emissionen auf als Ackergras.

(3) Auf allen Standorten führt die energetische Nutzung von Biomasse zu einer Reduktion der THG-Emissionen im Sinne der Biomassenachhaltigkeitsverordnung.

Material und Methoden

Die Studie basiert auf 2-jährigen Feldversuchen, die auf repräsentativen Standorten in den Landschaftsräumen der Marsch (Blomenkoog-BK), der Geest (Karkendamm-KD) und des Östlichen Hügellandes (Hohenschulen-HS) im Rahmen des Verbundprojektes Biogas-Expert durchgeführt wurden. Die jährliche Niederschlagsmengen, Tagesdurchschnittstemperaturen und Bodenarten sind für die drei Standorte folgendermaßen zu charakterisieren: HS 750 mm, 8,3°C, lessivierte Braunerde (Ss); KD 844 mm, 8,3°, Gley-Podsol (Sl); BK 932mm, 8,2°C, Kalkmarsch (Tu). Insgesamt wurden drei Substratproduktionssysteme (s. Tab. 1) untersucht. Hier wurde neben Mais in Selbstfolge und Ackergras in 4-Schnittnutzung zusätzlich eine Energiefruchtfolge angebaut, um durch Zwischenfrüchte Erosion zu vermeiden und die organische Substanz zu erhalten. Neben dem Einfluss der Kulturart wurde zusätzlich der Einfluss von N-Düngerart und N-Menge (s. Tab. 1) auf Ertragsleistung und Umwelteffekte untersucht. Als Düngerarten wurden KAS und Biogas-Gärrest aus Kofermentation (HS, KD: Mais, Schweinegülle; BK: Gras, Getreideganzpflanzen, Schweinegülle) verwendet.

Tabelle 1: Untersuchte Fruchtfolgen und Düngermengen an den Standorten

	Hohenschulen	Karkendamm	Blomenkoog
FF1	Mais – Mais	Mais - Mais	Mais - Mais
FF2	Mais – GPS Weizen-Gras (2 Schnitte)		Mais – GPS Weizen-Gras (1 Schnitt)
FF3		Ackergras (4-Schnitt)	Ackergras (4-Schnitt)
Düngung	Mais:	0, 120, 240, 360 kg N ha^{-1}	0, 100, 150 kg N ha^{-1}
	Weizen:	0, 120, 240, 360 kg N ha^{-1}	0, 240, 300 kg N ha^{-1}
	W. Weidelgras:	0, 160 kg N ha^{-1}	0, 80 kg N ha^{-1}
	Ackergras:	0, 160, 320, 480 kg N ha^{-1}	0, 360, 480 kg N ha^{-1}

Die Ökobilanzierung erfolgte gemäß den Prinzipien der Lebenszyklusanalyse und betrachtet damit die gesamte Prozesskette der Energiegewinnung aus Biogas. Die der Energie- und TGH-Bilanzierung zugrunde gelegten Prozesse, Annahmen sowie Umrechnungsfaktoren sind in CLAUS et al. (2011) und CLAUS et al. (2012) dokumentiert. Unter Anwendung regressionsanalytischer Verfahren wurden die Beziehungen zwischen N-Input und Energieinput bzw. Nettoenergiegewinn sowie THG-Emission bzw. CO_2-Minderungspotential analysiert, was die Ableitung optimaler Varianten ermöglichte. Für den Energieinput bzw. -output wurde für die Standorte Hohenschulen und Karkendamm eine Exponentialfunktion (Energieinput) bzw. eine Linear-Plateau Funktion (Energieoutput) angenommen. Die Ermittlung der THG-Emissionen der Biogasproduktion (TEB) fand unter Annahme einer Exponentialfunktion statt. Der Nettoenergieoutput wurde für alle Standorte mittels Subtraktion des Inputs vom Gesamtoutput errechnet. Das THG-Minderungspotential wurde über die Differenz eines Referenzsystems zu den TEB ermittelt, welches auf der Energieproduktion aus fossilen Quellen (Strom: 0,72 kg CO_2äq. kWh^{-1}, Wärme: 0,31 kg CO_2äq. kWh^{-1}) basiert.

Ergebnisse und Diskussion

Energiebilanz: Der Vergleich der Produktionssysteme am Standort HS, sowie von Mais in Selbstfolge und dem Ackergras am Standort KD zeigt bei einem für Maximierung des Nettoenergiegewinns optimalen N-Input eine deutliche Überlegenheit des Maises in Selbstfolge bezüglich des Nettoenergieoutputs (NEO) von 26,5 bis 52,5 GJ ha^{-1} (siehe Tab. 2). Dies ist auf die höheren TM-Erträge des Maises zurückzuführen. Einschränkend ist anzumerken, dass der Winterweizen in der Fruchtfolge in HS im ersten Versuchsjahr vorfruchtbedingt (Weizen) einen Minderertrag erzielte, und daher diese Fruchtfolge vermutlich ein höheres Ertragspotential aufweist. Für den Standort Blomenkoog belegt der Vergleich dieser Systeme eine ähnliche Situation. Die Mais-Weizen-Gras Fruchtfolge erzielte ebenfalls einen deutlich geringeren NEO im Vergleich zum Mais in Selbstfolge. Als Ursache ist anzuführen, dass im Herbst 2008 witterungsbedingt kein Winterweizen etabliert werden konnte und der alternativ gewählte Sommerweizen einen deutlich geringeren Ertrag aufwies. Daraus wird deutlich, dass dieses Anbausystem mit einem Anbaurisiko behaftet ist. Darüber hinaus konnte standortbedingt die Zwischenfrucht (Welsches Weidelgras) nur über einen Herbstschnitt genutzt werden.

Der NEO von Mais in Selbstfolge liegt in der Marsch mit Werten von 76,4 GJ ha^{-1} für KAS und 78,6 GJ ha^{-1} für den Gärrest um 11 bis 23 GJ ha^{-1} unter den im Hügelland bzw. in der Geest erzielten Erträgen. Dies kann auf die für den Mais ungünstigeren Standortbedingungen in der Marsch zurückgeführt werden (langsamere Erwärmung des Bodens im Frühjahr, periodisch auftretende Frühjahrstrockenheiten sowie Phasen mit Staunässe in der späten Vegetationsperiode). Daraus resultiert an diesem für den Maisanbau marginalen Standort ein deutlich erhöhtes Ertragsrisiko. Der Versuch wurde insgesamt über 4 Jahre (2008-2011) durchgeführt, von denen zwei Jahre (2009-2010) in die Ökobilanzierung eingeflossen sind. Im Versuchsjahr 2008 war ein kompletter Ausfall des Maises zu verzeichnen aufgrund mangelnder Etablierung durch Frühjahrstrockenheit. Insofern haben die dargstellten Werte für den Mais in der Marsch eine begrenzte Aussagefähigkeit.

Tabelle 2: Nettoenergiegewinn (NEO) (GJ ha^{-1}) und THG-Minderungspotential (TMP) (kg CO_2äq ha^{-1}) bei dem für Maximierung des Nettoenergiegewinns optimalen N-Input (N-Opt.; kg N ha^{-1})

		KAS			Gärrest		
FF	Ort	N-Opt. kg N ha^{-1}	NEO GJ ha^{-1}	TMP kg CO_2äq ha^{-1}	N-Opt. kg N ha^{-1}	NEO GJ ha^{-1}	TMP kg CO_2äq ha^{-1}
FF1	HS	148	94,5	11,1	132	101,5	13,3
FF2	HS	231	65,9	6,98	268	75,0	8,6
FF1	KD	142	87,5	11,1	246	93,5	11,3
FF3	KD	290	56,7	9,3	336	40,8	6,7
FF1	BK	150	76,4	10,5	152	78,6	11,3
FF2	BK	230	62,1	9,5	245	57,3	8,5
FF3	BK	360	55,2	10,6	360	38,1	8,5

Im Gegensatz zum Standort KD war das Ackergras in der Marsch durch eine hohe Ertragsleistung bei hoher Ertragsstabilität gekennzeichnet. Allerdings wies das über Gärrest versorgte Ackergras an allen Standorten einen deutlich geringeren Energieoutput auf als die mineralisch gedüngte Variante, was u.a. auf eine höhere

NH_3-Emission (QUAKERNACK et al. 2012) und eine geringere N-Düngewirkung des Gärrestes im Gras zurückzuführen ist.
CO_2 Bilanz: Das TMP bei einem für Maximierung von Ertrag und Nettoenergiegewinn optimalen N-Input ist in Tab. 2 dargestellt. Hier zeigt sich, dass in der flächenbezogenen Einheit (kg CO_2 äq. ha^{-1}) der Gärrest für den Mais in Selbstfolge an allen Standorten ein höheres TMP im Vergleich zur mineralischen N-Düngung aufweist. Auch die Energiefruchtfolge am Standort HS weist in der Gärrest-Variante ein höheres TMP auf, was auf einen geringeren Energieaufwand und damit verbundene CO_2-Emissionen bei der Düngerproduktion zurückzuführen ist. Für das an den Standorten KD und BK geprüfte Ackergras war ein gegenläufiger Effekt zu beobachten. Die Düngung mit Gärresten führte zu einem geringeren TMP im Vgl. zur Mineraldüngung, was in der deutlich geringeren N-Düngewirkung bei organischer Düngung auf Grünland begründet liegt. Mit Ausnahme der über Mineraldünger versorgten FF2 am Standort HS (48%) erzielten alle geprüften Substratproduktionssysteme eine THG-Minderung von über 50%.

Zusammenfassend zeigt die ökobilanzielle Betrachtung der Biogasproduktion, dass in Bezug auf die Energie- und CO_2-Bilanz eine Vorzüglichkeit von Mais für die Standorte HS und KD gegeben ist. Dies gilt jedoch nur unter einer standortangepassten, optimierten N-Versorgung. Basierend auf den Kriterien Netto-Energiegewinn und TMP sind alle alle untersuchten Anbausysteme als nachhaltig zu bewerten und erfüllen die ab 2017 von der Biomassenachhaltigkeitsverordnung geforderten Minderungspotenziale von 50%. Dieses Einsparpotential kann mit der Produktion von Biodiesel aus Raps bei derzeitiger Produktionstechnik nicht erreicht werden. Hohe CO_2-Einsparungen der Biogasproduktion sind allerdings nur möglich, wenn Energie in Form von Strom und Wärme genutzt wird. Eine effektives Wärmenutzungskonzept ist demnach Voraussetzung für eine effiziente und nachhaltige Biogasproduktion. Die Energie- und THG-Bilanzierung stellen wichtige Bausteine dar für eine umfassende Bewertung von Bioenergiepfaden und darauf basierende Entwicklung regional angepasster, nachhaltiger Landnutzungskonzepte, es bedarf jedoch der Berücksichtigung weiterer Umweltschutzziele und potentieller Trade-offs.

Literatur

CHERUBINI, F., BIRD, N. D., COWIE, A., JUNGMEIER, G., SCHLAMADINGER, B., WOESS-GALLASCH, S. (2009). Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy 308 systems: Key issues, ranges and recommendations. Resources, Conservation and Recycling 53, 434–447.

CLAUS, S., WIENFORTH, B., SIELING, K., KAGE, H., TAUBE, F., HERRMANN, A. (2011). Energiebilanz im Lebenszyklus der Biogasproduktion aus Energiepflanzen unter den Anbaubedingungen Schleswig-Holsteins. Mitt. AGGF 12, 128-133.

CLAUS, S., WIENFORTH, B., SIELING, K., KAGE, H., SENBAYRAM, M., DITTERT, K., TAUBE F., HERRMANN A. (2012). Greenhouse gas balance of bioenergy cropping systems under the environmental conditions of Schleswig-Holstein. Grassland Science in Europe 17, 601-603.

Rotz, C. A., Taube, F., Russelle, M. P., Oenema, J., Sanderson, M.A., Eachendorf, M. (2005). Whole-Farm Perspectives of Nutrient Flows in Grassland Agriculture, Crop Science 45, 2139–2159

10.2135/cropsci2004.0523 QUAKERNACK, R., PACHOLSKI, A., TECHOW, A., HERRMANN, A., TAUBE, F., KAGE, H. (2012). Ammonia volatilization and yield response of energy crops after fertilization with biogas residues in a coastal marsh of Northern Germany. Agriculture, Ecosystems and Environment 160, 66-74.

SVOBODA, N. (2011). Auswirkung der Gärrestapplikation auf das Stickstoffauswaschungspotential von Anbausystemen zur Substratproduktion. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 52–53 (2013)

Biogasertrag von Presssäften europäischen Extensivgrünlands nach hydrothermaler Konditionierung und mechanischer Entwässerung

Hensgen, F.[1], Bühle, L.[1] und Wachendorf, M.[1]

[1] Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe / Universität Kassel, Witzenhausen, Email: hensgen@uni-kassel.de

Einleitung

Für die Biodiversität vieler extensiver Grünlandstandorte ist eine regelmäßige späte Nutzung durch Schnitt oder Beweidung notwendig. Im PROGRASS Projekt wurde 2009 und 2010 europaweit auf 18 Standorten eine späte Schnittnutzung durchgeführt, um die so gewonnene Biomasse zur Energiegewinnung nach dem IFBB Verfahren (Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse) zu nutzen. Der Biogasertrag des Presssaftes aus diesem Verfahren wurde untersucht und dem berechneten Biogaspotential derselben Biomasse in der Ganzpflanzenvergärung gegenübergestellt. Der Einfluss der Inhaltsstoffe der Silage auf den Presssaft-Biogasertrag wurde mittels multipler linearer Modellbildung untersucht.

Material und Methoden

Im Vogelsberg (Deutschland), Ceredigion (Wales) und Tartu (Estland) wurden 6 extensiv bewirtschaftete Grünlandflächen in jeweils 3 Wiederholungen beprobt (Hensgen et al., 2012). Zur Auswertung wurden Flächen gleichen Natura 2000 Habittatyps und Region zusammengelegt. Die Flächen wurden einmal jährlich beerntet (>15.6.) und siliert. Anschließend wurde die Probe gemaischt (30min, 30°C, Verhältnis Silage Wasser 1:8) und entwässert (Schneckenpresse, Steigung 1:6, 3 Umdrehungen pro Minute, Siebkorblochung 1.5mm). Silage und Presskuchen wurden auf CHN analysiert (Vario MAX CHN). Erweiterte Weender Futtermittelfraktionen wurden nach Standardmethoden (Bassler 1976) und mittels Nahinfrarotspektroskopie untersucht. Die Inhaltsstoffe des Presssaftes wurden aus den Inhaltsstoffen der Silage und des Presskuchens berechnet. Die Biogasproduktion der Presssäfte wurde in Batch- Fermentern untersucht in Übereinstimmung mit dem Deutschen Standard der VDI (VDI 4630, 2004). Volumen und Zusammensetzung des Gases wurden alle 24h gemessen und auf Normbedingungen umgerechnet (273.15 K, 101.325 kPa). Der Methanertrag bezogen auf den Gehalt an organischer Trockenmaße (L_N kg^{-1} oTM), den CSB Gehalt (L_N kg^{-1} CSB) und die Fläche (m_N^3 ha^{-1}) wurden berechnet.
Multiple lineare Regressionen wurden durchgeführt um den Effekt der chemischen Zusammensetzung der Silage auf den Biogasertrag zu untersuchen. Die statistischen Vorraussetzungen wurden geprüft und waren erfüllt. Faktoren wurden in das Model aufgenommen, wenn ihre Signifikanz gegeben war ($p>0.05$).

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Vergärung der Presssäfte zeigen einen hohen substratspezifischen Methanertrag, der als gemittelter Wert der beiden Versuchsjahre von 312 bis 404 L_N kg^{-1}oTS variiert. Dieser Wert liegt signifikant höher als der jeweilige Methanertrag aus der Ganzpflanzenvergärung derselben Biomassen, der zwischen 195 und 241 L_N kg^{-1}oTS liegt (Abb. 1). Dennoch ist der flächenspezifische Ertrag des IFBB -Verfahrens erwartungsgemäß geringer (Abb.2), da ca. 80% der Trockenmasse in den Presskuchen überführt werden (Wachendorf et al. 2009) und somit als Festbrennstoff zur Verfügung stehen. Der flächenspezifische Methanertrag im IFBB Verfahren variiert von 55 L_N ha^{-1} bis zu 330 L_N ha^{-1}. Die linearen Modelle zeigten einen geringen Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung der Grünlandsilage und dem gemessenen Methanertrag, sowohl substratspezifisch als auch flächenspezifisch. (R^2 Adj.: 0,13 und 0,29). In beiden Fällen erwies sich der Gehalt der Silage an TM und NDF als signifikanter Einfluss, wobei der NDF einen negativen und der TM Gehalt einen positiven Einfluss hatte.

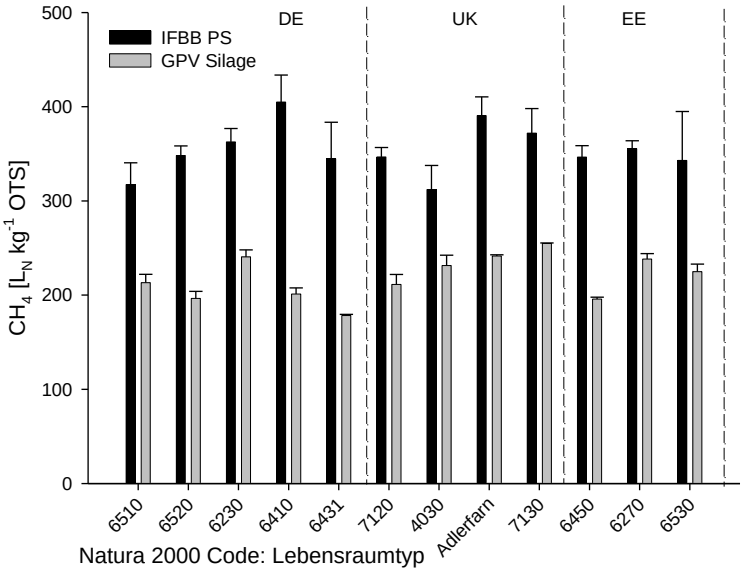


Abb. 1: Substratspezifische Methanerträge

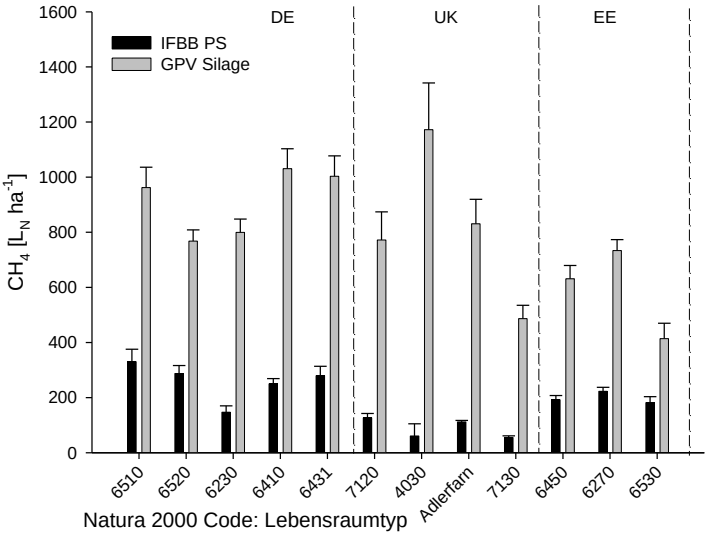


Abb. 2: Flächenspezifische Methanerträge

Literatur

Hensgen, F.; Bühle, L.; Donnison, I.; Fraser, M.; Vale, J.; Corton, J.; Heinsoo, K.; Melts, I. und M. Wachendorf, 2012. Mineral concentrations in solid fuels from European semi-natural grasslands after hydrothermal conditioning and subsequent mechanical dehydration. Bioresource Technology, 118, 332-342.

Wachendorf, M.; Richter, F.; Fricke, T.; Graß, R. und R. Neff, 2009. Utilisation of semi-natural grassland through an integrated generation of solid fuel and biogas from biomass I: Effects of hydrothermic conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. Grass and Forage Science, 64/2, 132-143.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 54–55 (2013)

Eignung der Pseudogetreide Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung – Einfluss von Jahr, Standort, Saattermin und Sorte auf Ertragsparameter und Substratqualität

Falko Stockmann[1], Maendy Fritz[1]

[1] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing, E-Mail: *falko.stockmann@tfz.bayern.de*

Einleitung

Die Ausdehnung des Artenspektrums für die ackerbauliche Nutzung mindert Auswirkungen enger Fruchtfolgen, bietet ökologische Vorteile und kann die Akzeptanz von Biogasanlagen verbessern. Weite Fruchtfolgen fördern die Biodiversität der Agrarlandschaft und können die Flächenproduktivität steigern. Gerade Kulturen mit kurzer Anbauzeit bieten die Möglichkeit Fruchtfolgen flexibel zu gestalten. Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) und Quinoa (*Chenopodium quinoa*) erreichen innerhalb von 80 bis 110 Tagen Trockensubstanzgehalte, die eine verlustarme Silierung ermöglichen. Ferner ist Buchweizen unkrautsuppressiv, hat eine phytosanitäre Wirkung und geringe Nährstoffansprüche. Quinoa ist kälte- und trockenstresstolerant. Der Einsatz dieser Zweit- oder Zwischenfrucht als Biogassubstrat ist denkbar.
Ziel eines aktuellen Projekts (Laufzeit: 2011 bis 2014) ist es, Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte nach Vorfrucht Ganzpflanzen-Getreide als Biogassubstrat zu testen. Dabei werden beide Kulturarten u. a. auf Trockenmasseertrag (TM), Trockensubstanzgehalt (TS) und Substratqualität geprüft.

Material und Methoden

An den Standorten Straubing (321 m ü.NN, Niederschlagsmittel 716 mm, Temperaturmittel 9 °C Ackerzahl 75, Bodenart: uL) und Aholfing (325 ü.NN, Niederschlagsmittel 723 mm, Temperaturmittel 9 °C, Ackerzahl 45, Bodenart: sL) wurden 2011 und 2012 zu zwei Saatterminen, acht Buchweizen- und neun Quinoasorten sowie die Referenzen einjähriges Weidelgras und Sommerroggen in einem randomisierten Feldversuch mit vier Wiederholungen angebaut. Die beiden Saattermine sollten verschiedene Vorfrüchte simulieren. Nach Vorfrucht Ganzpflanzen-Weizen (Straubing) und Ganzpflanzen-Roggen (Aholfing) sowie Bodenbearbeitung mit Grubber und Kreiselegge wurde per Drillsaat (Reihenabstand 14 cm) mit einer Saatstärke von 200 kf. Kö. m^{-2} (Sommerroggen: 350 kf. Kö. m^{-2}, Weidelgras: 1000 kf Kö m^{-2}) gesät. Gemäß N_{min}-Analyse wurde auf 80 kg N ha^{-1} bzw. die Referenzen auf 90 kg N ha^{-1} aufgedüngt. Pflanzenschutz war nicht vorgesehen. Als Probeschnitte TS-Gehalte von 28 % erreichten, wurde gehäckselt. Tabelle 1 gibt die Saat- und Erntetermine wieder.

Tabelle 3: Saat- und Erntetermine der Kulturarten für die Vegetationszeit 2011/2012

	Straubing 2011	Straubing 2012	Aholfing 2012
Vegetationszeit Saattermin 1	15.06. – 23.09.	05.07. – 11.10.	07.06. – 17.09.
Vegetationszeit Saattermin 2	12.07. – 21.10.	24.07. – 23.10.	28.06. – 08.10.

Ergebnisse und Diskussion

Nach statistischer Auswertung lag für den TM-Ertrag und den TS-Gehalt 2012 ein signifikanter (sign.) Einfluss der Haupteffekte (Standort, Saattermin, Art, Art*Sorte) sowie der höchsten Interaktion vor. Das Jahr hatte nur einen sign. Einfluss auf den

TS-Gehalt, nicht aber auf den TM-Ertrag. Abb. 1 zeigt das Ertragspotenzial der Quinoasorten des Jahres 2012 (Standort Straubing) im Vergleich zu den Referenzen einj. Weidelgras und Sommerroggen. Abhängig von Sorte und Saattermin wurden TM-Erträge von bis zu 63 dt ha^{-1} erzielt. Die TS-Gehalte waren sortenbedingt sehr heterogen. Wobei 67 % der Sorten von Saattermin 1 die Silierreife erreichten. Selbst die späte Saat Ende Juli wurde in Abhängigkeit von der Sorte in gute TM-Erträge bei TS-Gehalten >28 % umgesetzt. Die Referenzen fielen im TM-Ertrag zu beiden Saatterminen u. a. durch Krankheitsbefall (Braunrost) sign. ab.

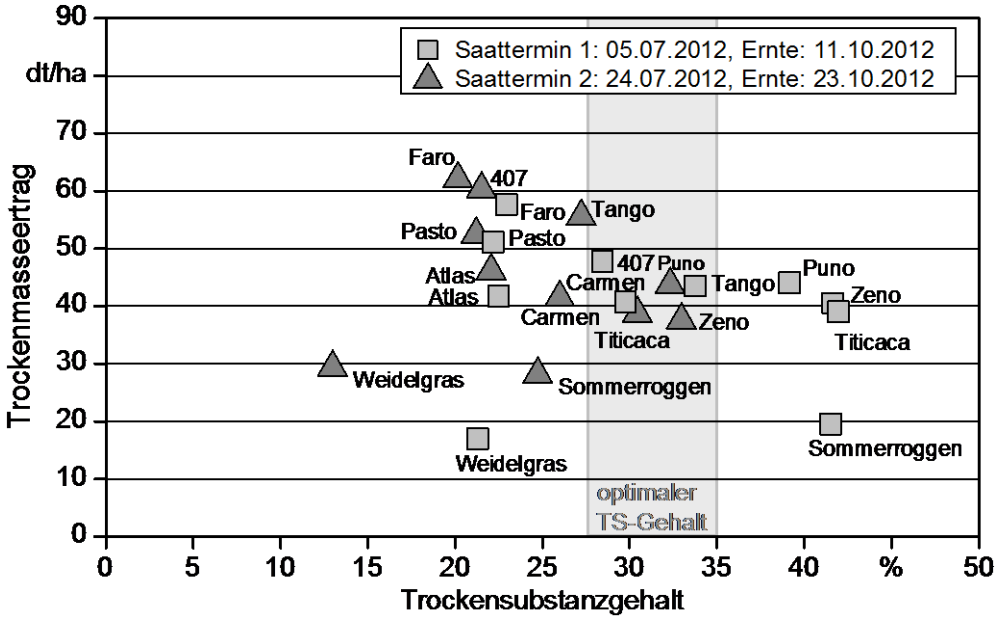


Abbildung 1: TM-Ertrag in dt ha^{-1} und TS-Gehalt in %, getrennt nach Saattermin

In Aholfing (nicht dargestellt) markierte die Sorte Faro mit 70 dt ha^{-1} zu Saattermin 1 das Maximum. Analog zu den Sorten in Straubing folgten die TS-Gehalte demselben Trend. Mit TS-Gehalten über 35 % deuteten einige Sorten Frühreife an.
Bei Buchweizen (nicht dargestellt) erzielte die Sorte Tussi in beiden Jahren die sign. höchsten TM-Erträge (Max: 75 dt ha^{-1}). Eine spätere Saat führte in beiden Jahren zu Ertragsabnahmen. Trotz kurzer Kulturzeit konnten nur die Buchweizensorten in Straubing bei Saattermin 1/Jahr 2012 den optimalen TS-Gehalt erreichen. Allgemein sind die TM-Erträge bei Buchweizen höher und einheitlicher als bei Quinoa. Quinoa hingegen zeigte sortenabhängig eine schnelle Abreife bei guten TM-Erträgen.
Zur Beurteilung der Substratqualität wurden Pflanzenproben nach Weender und van Soest sowie auf Stärke und ELOS (Enzyml. Org. Substanz) analysiert. Höhere Gehalte an leichtverdaulichen Stoffen (Stärke/ELOS) zeigte Quinoa. Zusätzlich waren die schlechtverdaulichen Substanzen (Rohfaser/NDF) bei Quinoa reduziert, was bessere Gasausbeuten andeutet. Kulturartunabhängig stieg der Gehalt an leichtverdaulichen Stoffen bei späterer Saat.

Fazit: Das getestete Saatfenster (Juni/Juli) hat den Vorteil, variabel auf Witterung, Vorfrüchte und die Marktsituation reagieren zu können. Ein Anbau wäre nach Ganzpflanzen-Getreide sowie nach Gerste oder Roggen zur Körnernutzung möglich.

Förderung: Das Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. gefördert.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 56–57 (2013)

Biogas aus Sorghum – Saatzeitpunkt und Sortenwahl

Anja Hartmann[1] und Maendy Fritz[1]

[1] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing; E-Mail: anja.hartmann@tfz.bayern.de

Einleitung

Sorghum zur Nutzung als Biogassubstrat findet seinen Platz in der Fruchtfolge oft als Zweitfrucht nach Wintergetreide-Ganzpflanzensilage. Maisanbaubeschränkungen und die Suche nach alternativen Substraten machen Sorghum jedoch auch für den Hauptfruchtanbau interessant. Für hohe Trockenmasseerträge (TM) und silierfähige Trockensubstanzgehalte (TS ≥ 28 %) sind der Saatzeitpunkt und eine daran angepasste Sortenwahl entscheidend. Die Frage, welchen Ertrag Sorghum als Haupt- oder Zweitfrucht bringen kann und welche Reifegruppe (Reifegruppen nach ZEISE 2012) sich für welchen Saattermin eignet, stand im Fokus dieses Vorhabens.

Material und Methoden

Der Versuch beinhaltete fünf Standorte und vier Saattermine. Als Termine des Hauptfruchtanbaus wurden Anfang Mai und Mitte Mai gewählt. Zum dritten Termin Anfang Juni ist der Anbau einer Vorfrucht (Wintergerste-GPS) bereits möglich. Bei einer Saat Mitte Juni könnte diese mit hohen Erträgen und bei ausreichenden TS-Gehalten geerntet werden. Es kamen vier Sorghumsorten zum Einsatz: Lussi (früh = Reifegruppe 1), KWS Freya (mittelfrüh = Reifegruppe 3), KWS Zerberus (mittelfrüh bis mittelspät = Reifegruppe 4) und Herkules (mittelspät = Reifegruppe 5). Der Versuch wurde mit jeweils vier Wiederholungen angelegt. Die Reihenweite betrug 37,5 cm und die Saatstärke 25 (*S. bicolor*) bzw. 40 (*S. bicolor* x *S. sudanense*) keimfähige Körner/m². Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten ortsüblich und nach Bedarf. Geerntet wurde mit einem reihenunabhängigen Häcksler und einem Probenehmer mit Wiegeeinrichtung zur Bestimmung des Trockenmasse-ertrages (TM). Eine Standortcharakterisierung ist Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Klima- und Bodendaten der Versuchsstandorte

Standort	Aholfing	Dasselsbruch	Güterfelde	Gülzow	Straubing
Ackerzahl	45	25	28 - 35	35 - 45	73 - 76
Jahrestemperatur (°C)*	8,8	9,5	9,4	8,9	8,8
Jahresniederschlag (mm)*	671	540	555	557	671
Bodenart	sL	hS	Sl	lS	uL

* 15-jähriges Mittel (1994 – 2008)

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse in Abb. 3 zeigen das hohe Ertragspotential von Sorghum. Im Mittel der geprüften Sorten konnten bei früher Saat Anfang Mai auf allen Standorten über 150 dt TM/ha und auf den Standorten mit mittleren bis guten Böden, Straubing und Aholfing, sogar über 200 dt TM/ha erzielt werden. Ebenfalls wird deutlich, dass diese Saatvariante im Vergleich zum üblichen Sorghumsaattermin Mitte Mai ein „Plus“ an Ertrag bringen kann. Die Ergebnisse aus Straubing und Güterfelde verdeutlichen jedoch auch, dass ungünstige Witterungsbedingungen Anfang Mai den zeitlichen Vorsprung zunichte machen können. An einem weiteren Standort traten 2012 Kälte-

schäden auf, so dass dieser nicht gewertet werden konnte. Im Hinblick auf den Ertrag ist der Erfolg einer sehr frühen Saat somit ungewiss. Eine Saat Anfang Mai kann aber Vorteile bringen, wenn betriebliche Vorgaben zur zeitigen Ernte drängen, denn silierfähige Trockensubstanzgehalte (TS ≥ 28 %) werden dann früher erreicht.

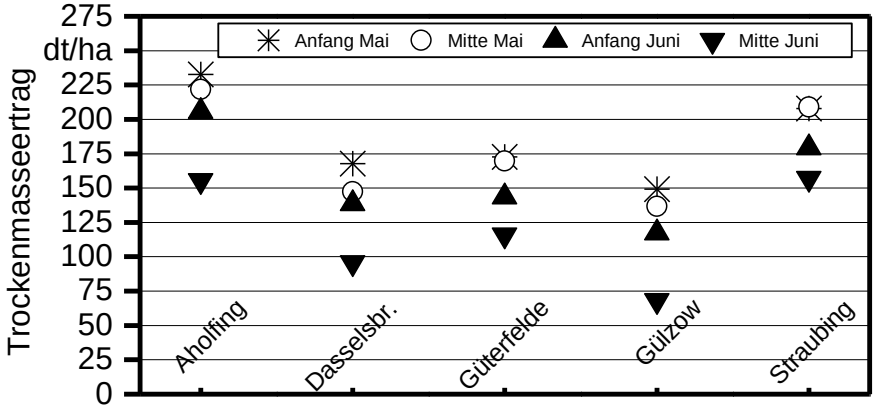


Abb. 3: Trockenmasseertrag im Mittel aller Sorten (Mittelwert 2011 und 2012)

In Tab. 2 sind TM und TS der jeweils für den Saattermin geeignetsten Reifegruppe dargestellt. Dafür wurden die Sorten mit dem höchsten Ertrag bei ≥ 28 % TS ausgewählt. Es wird deutlich, dass ertragreiche aber mittelspäte Sorten wie Herkules (Reifegruppe 5) nur an wenigen Standorten und nur bei Saat Anfang Mai befriedigende TS-Gehalte erreichten. Die Reifegruppe 4 mit Zerberus brachte im Hauptfruchtanbau gute Erträge und ausreichende TS-Gehalte. Im Zweitfruchtanbau Anfang Juni erreichte Zerberus, mit Ausnahme der bayerischen Standorte Aholfing und Straubing, die geforderten TS-Gehalte nicht. Für eine Saat Mitte Juni bleibt auf allen Standorten nur die Wahl mittelfrüher oder früher Sorten der Reifegruppe 3 bis 1 (letztere auf kühlen Standorten wie Dasselsbruch oder Gülzow).

Tab. 2: TM und TS der jeweils geeignetsten Sorte/(Reifegruppe) hinsichtlich Ertrag und TS ≥ 28 % an den Versuchsstandorten (Mittelwert 2011 und 2012)

Saatzeit	Aholfing	Dasselsbruch	Güterfeld	Gülzow	Straubing
	Trockenmasseertrag in dt/ha / Trockensubstanzgehalt in %				
Anfang Mai	266 / 28 Herkules (5)	169 / 28 Zerberus (4)	196 / 29 Herkules (5)	152 / 29 Freya (3)	209 / 28 Zerberus (4)
Mitte Mai	213 / 32 Zerberus (4)	146 / 28 Zerberus (4)	171 / 29 Zerberus (4)	127 / 27# Freya (3)	214 / 29 Zerberus (4)
Anfang Juni	200/ 28 Zerberus (4)	140 / 30 Freya (3)	145 / 30 Freya (3)	122 / 29 Freya (3)	191 / 29 Zerberus (4)
Mitte Juni	156 / 28 Freya (3)	92 / 27* Lussi (1)	118 / 28 Freya (3)	76 / 28 Lussi (1)	162 / 28 Freya (3)

* Ziel Trockensubstanzgehalt von 28 % nicht erreicht, RG mit bestem TS ausgewählt, # verfrüht geerntet

Literatur

ZEISE, K. (2012): Wann muss die Hirse vom Feld? Auch für Sorghum helfen Schätzmethoden, um die Siloreife zu erkennen. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Jg. 202, Nr. 41, S. 32–33

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) unter dem Förderkennzeichen 22006810 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 58–59 (2013)

Wickroggen in Biogasfruchtfolgen

Daniela Zander[1] und Maendy Fritz[1]

[1] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing; E-Mail: *daniela.zander@tfz.bayern.de*

Einleitung

Wickroggen ist ein Gemenge aus Winterroggen und Zottelwicke. Mit dem Mischanbau von Getreide und Leguminosen verbinden sich viele pflanzenbauliche und agrarökologische Vorteile wie z.B. optimale Standraumausnutzung, Ertragsstabilisierung, Flexibilisierung des Erntefensters, gute Unkrautunterdrückung und damit Reduktion von Pflanzenschutzmittelaufwendungen, Einsparung von Mineraldüngern, Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, Blühangebot für Insekten und Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz. Sowohl diese Vorteile als auch die Anspruchslosigkeit und Winterhärte der beiden Gemengepartner waren ausschlaggebend für die Aufnahme dieser Kultur in ausgewählten Energiepflanzenfruchtfolgen im Rahmen des EVA-Verbundvorhabens. Ziel war es, den Wickroggen hinsichtlich Anbauwürdigkeit, Ertragsleistung, Integrierbarkeit in Energiepflanzenfruchtfolgen und Unkrautunterdrückung in der bayerischen Vor- und Mittelgebirgsregion zu prüfen.

Material und Methoden

Die mehrjährigen Feldversuche wurden am Standort Ascha (Vorderer Bayerischer Wald) angelegt. Dieser ist durch eine Jahresdurchschnittstemperatur von 7,5°C, einen langjährigen Jahresniederschlag von 807 mm, eine Ackerzahl von 47 und lehmige Sande als dominierende Bodenart charakterisiert. Die Versuche wurden als randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt.

Der Anbau des Wickroggens orientierte sich an den Anforderungen des Roggens. Die Aussaat erfolgte im optimalen Saatzeitfenster – Ende September – bei einer Saattiefe von 2 cm und einem Reihenabstand von 14,5 cm. Die erste N-Düngung erfolgte zu Vegetationsbeginn unter Berücksichtigung des Frühjahrs-N_{min}. Die zweite N-Gabe erfolgte zu Schossbeginn mit 20 % weniger als Roggenreinsaat, um den Mischungspartner Wicke nicht zu verdrängen und dessen Stickstofffixierungsleistung zu fördern. In den Jahren 2009 und 2010 wurde der Wickroggen als Winterzwischenfrucht Anfang Mai geerntet (Beginn Ährenschieben des Roggens) und in den Versuchsjahren 2011 und 212 als Hauptfrucht Mitte/Ende Juni zur Teigreife des Roggens. In einem weiteren Versuch zur Stickstoffminimierung wurde die N-Düngegabe um weitere 30 kg N/ha reduziert.

Zur Bestimmung der Methanausbeute in Batchversuchen am Leibnitz-Institute für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. wurden Silageproben vom Erntegut erstellt. Eine ökologische Auswertung des Wickroggenanbaus erfolgte am Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. und eine ökonomische Bewertung am Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft der Justus-Liebig-Universität in Gießen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Trockenmasseerträge des Wickroggens wurden deutlich von der Stellung in der Fruchtfolge beeinflusst. In den Jahren 2009 und 2010 wurden in Zwischenfruchtstellung 44 und 39 dt TM/ha erzielt, vergleichbar mit dem Ertragsniveau von

Grünroggen (37 dt TM/ha, 2010). Dabei trug die Wicke nur 4 bzw. 5 % zum Ertrag bei. Die Silierfähigkeit erwies sich als kritisch mit TS-Gehalten von nur 16 und 17 %.
Dagegen wurden mit 118 und 116 dt TM/ha sehr gute Erträge in Hauptfruchtstellung 2011 und 2012 erreicht, die über bzw. im Ertragsniveau der leistungsstarken Wintergetreidearten Winterweizen (106 dt TM/ha) und Wintertriticale (112 dt TM/ha) lagen. Der Wickenanteil war im Vergleich zu den Vorjahren wesentlich höher (6 bzw. 20 %). Ein TS-Gehalt von 35 % gewährleistete eine verlustarme Silierung.
Mit 291 l_N/kg oTM weist der Wickroggen im Vergleich zum klassischen Wintergetreide-GPS die geringste Methanausbeute in Hauptfruchtstellung auf. In Kombination mit den hohen Erträgen ergibt sich ein Methanhektarertrag von maximal 3400 m^3/ha, welcher auf dem Niveau von Winterweizen-GPS (3435 m^3/ha) und Wintertriticale-GPS (3730 m^3/ha) liegt. Methanausbeuten für Wickroggen als Zwischenfrucht liegen noch nicht vor. Es ist aber davon auszugehen, dass die geringeren Trockenmasseerträge zu geringeren Methanhektarerträgen führen.
Die Ökonomischen Auswertungen der Universität Gießen verdeutlichen, dass ein positiver Deckungsbeitrag des Wickroggens von 172 und 203 Euro/ha nur in Hauptfruchtstellung zu erreichen ist, während Deckungsbeiträge von -305 und -322 Euro/ha für den Winterzwischenfruchtanbau mit Wickroggen unwirtschaftlich sind. Eine positive Humusbilanz sowohl mit und ohne Gärrestrückführung ist nur in Zwischenfruchtstellung zu erwarten, in Hauptfruchtstellung dagegen erst bei vollständiger Rückführung der Gärreste.
Eine reduzierte Stickstoffdüngung (-30 kg N/ha) bewirkte nur leichte Ertragsrückgänge von 4 % und 1 % (Winterzwischenfrucht) sowie 7 % und 1 % (Hauptfrucht). Diese Ertragsreduzierung lässt sich möglicherweise mit der Zunahme des Wickenanteils und der damit erhöhten Konkurrenz – vor allem um Licht – zum Mischungspartner Winterroggen erklären. Durch den Leguminosenpartner besteht ein Einsparungspotenzial in der Düngemenge, während die gute Unterkrautunterdrückung zu Einsparungen von Herbiziden führen kann.
Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der Anbau von Wickroggen zur Biogasnutzung im Vor- und Mittelgebirgsraum hinsichtlich Biomasse- und Methanertrag sowie Wirtschaftlichkeit nur in Hauptfruchtstellung zu empfehlen ist. Als Folgefrucht stehen jedoch nur noch sehr frühe Maissorten oder frühe bis mittelfrühe Sorghumsorten zur Verfügung. Mögliche Einsparung von Produktionsmitteln tragen zur Verbesserung des Grundwasser- und Klimaschutzes und der Wirtschaftlichkeit bei.
Weitere Informationen und Ergebnisse im EVA-Verbund finden sich auf www.eva-verbunde.de und unter www.tfz.bayern.de.

Das Verbundprojekt „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ wird durch Mittel des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. gefördert.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 60–61 (2013)

Biogas- und Methanausbeuten von *Euphorbia tirucalli* als trockentolerante Energiepflanze

Biskupek-Korell, Bettina[1]; Tomala, Filip[1]; Vogt, Hartmut[1]; Papenbrock, Jutta[2]

[1] Hochschule Hannover, Abt. Bioverfahrenstechnik, Hannover; [2]Leibniz Universität Hannover, Institut für Botanik, Hannover. E-Mail: bettina.biskupek@hs-hannover.de

Einleitung

Für die Produktion von Biogas aus pflanzlicher Biomasse auf trockenen Standorten eignen sich besonders Pflanzenarten, die in ariden Regionen heimisch sind und daher auch bei Wassermangel Biomassezuwächse zeigen. Eine solche Pflanzenart ist *Euphorbia tirucalli* (Bleistiftstrauch), ein in tropischen und ariden Regionen wachsender Strauch oder kleiner Baum. Der schnelle Biomassezuwachs dieser Pflanze resultiert aus der Kombination von CAM-Photosynthese im Sproß und C3-Stoffwechsel in den Blättern (Hastilestari et al., 2013). *E. tirucalli* bietet sich daher in tropischen und subtropischen Ländern als Biomasselieferant, beispielsweise zur Vergärung in kleinen, dezentralen Biogasanlagen an. Bislang liegen jedoch nur wenige Versuchsergebnisse zu den Biogasausbeuten aus der Biomasse von *E. tirucalli* vor. Im Beitrag werden Ergebnisse aus Batchversuchen zu Biogas- und Methanerträgen aus trockener Biomasse verschiedener Genotypen vorgestellt.

Material und Methoden

Das verwendete Probenmaterial stammte von sechs verschiedenen *E. tirucalli*-Genotypen, die in den vergangenen 20 Jahren in unterschiedlichen Regionen der Erde gesammelt und danach im Gewächshaus kultiviert und beerntet wurden. Die Proben wurden getrocknet und vermahlen. Die Biogas- und Methanausbeuten wurden in Biogas-Batchanlagen gemäß der VDI-Richtlinie 4630 (VDI, 2006) im mesophilen Bereich (37°C) ermittelt. Als Inokolum diente ausgezehrter Gärrückstand aus einer Praxis-Biogasanlage mit Mais-Monovergärung. Für alle Proben sowie für das Inokulum wurden oTS, Dichte und CSB den gemäß den dafür üblichen Labormethoden bestimmt. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden Einwaagen der Proben und des Inokulums so errechnet, das eine Slurry Loading Rate (SLR; $oTS_{Substrat}/oTS_{Inokulum}$) von 0,3 resultierte. Zusätzlich wurde bei jedem Versuchsansatz eine Nullprobe (Inokulum ohne Substrat) mitgeführt. Für die Versuche wurden zwei unterschiedliche Batchanlagen eingesetzt; bei der einen handelt es sich um eine selbst gebaute Anlage, bestehend aus 12 dunklen Duranflaschen (1000 ml), die mit Druckköpfen versehen sind, einer Rührplatte und einem Wärmeschrank. Die Datenerfassung und –auswertung erfolgt mit dem Programm LabView. Die Ermittlung des Methangehaltes am entstandenen Biogas erfolgte nach Beendigung des Versuches durch Fällung des CO_2 mit NaOH (10 M). Anhand des resultierenden Druckabfalls in den Reaktoren wurde der Methananteil bestimmt. Bei der zweiten Anlage handelt es sich um das System AMPTS II (Weber Entec, 2012) mit 15 Laborfermentern (500 ml) mit automatischer Durchmischung und Heizbad, CO_2-Fixierung (15 Laborglasflaschen, 100 ml) mit NaOH (3M) als Fixierungslösung, einer online Volumenstrommessung und einer automatisierten Datenerfassung und -auswertung. Die Versuchsdauer betrug 25 Tage. Alle Varianten wurden in Dreifachbestimmung untersucht. Einige der Proben wurden zusätzlich

gaschromatografisch auf die genaue Zusammensetzung des gebildeten Biogases analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 1 zeigt die Methanausbeuten (Nl/kg oTR) verschiedener Herkünfte von *Euphorbia tirucalli* aus Batchversuchen, die mit zwei unterschiedlichen Anlagen durchgeführt wurden. Das System AMPTS II wurde erst kürzlich ergänzend zu der selbstgebauten Batchanlage angeschafft und in Betrieb genommen, so dass im ersten Versuchsdurchlauf bislang nur drei Genotypen untersucht werden können. Hier werden sukzessive weitere Untersuchungen folgen. Der Vergleich der Methanausbeuten zeigt zum einen, dass es offensichtlich genotypische Unterschiede im Methanbildungspotenzial bei *E. tirucalli* gibt und zum anderen, dass die Ergebnisse beider Batchanlage – zumindest bei den bislang untersuchten Varianten – insgesamt vergleichbar sind. Zusammengefasst zeigen die derzeit vorliegenden Ergebnisse mit Werten von im Mittel 245 Nl/kg oTR ein viel versprechendes Methanbildungspotenzial von *E. tirucalli*; durchschnittliche Methanerträge der in Deutschland praxisüblichen Substrate wie Mais, Getreide und Hirse liegen etwas höher bei 300–330 Nl/kg oTR (Belau, 2012). Die Methangehalte im gebildeten Biogas liegen im Mittel bei ca. 50% und bewegen sich damit im für pflanzliche Substrate üblichen Bereich. Anhand einiger Stichproben wurde die genaue Zusammensetzung des Biogases ermittelt; auffallend hierbei sind hohe H_2S-Konzentrationen (bis 1750 ppm). Auch dies bedarf weiterer Untersuchungen.

Tabelle 1: Methanausbeuten (Nl/kg oTR) verschiedener Herkünfte von *Euphorbia tirucalli* im Batchversuch nach VDI (2006) mit zwei unterschiedlichen Anlagen

Herkunft	Batchanlage Eigenbau	AMPTS II
Marokko	251	218
Hannover	314	
USA	261	
Senegal	241	
Ruanda	232	239
Kenia	247	217
Togo	229	

Literatur

Belau, T., 2012: Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. 2. Aufl. Darmstadt: KTBL (KTBL-Datensammlung)

Hastilestari, B.R.; Mudersbach, M.; Tomala, F.; Vogt, H.; Biskupek-Korell, B.; Van Damme, P.; Guretzki, S.; Papenbrock, J.; 2013: *Euphorbia tirucalli* L. – comprehensive characterization of a drought tolerant plant with a potential as biofuel source. PLoS ONE 8 (5): e63501

VDI 4630, 2006: Verein Deutscher Ingenieure: Vergärung organischer Stoffe Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuch; Düsseldorf, 04/2006

Weber Entec, 2012: AMPTS II. Automatisierte Versuchseinheit zur Ermittlung des Methanpotenzials. http://www.weber-entec.com/downloads/Weber_Entec_Flyer_AMPTS_DT.pdf, Stand 30.06.2013

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 62–63 (2013)

Flexible Biogasproduktion durch das ReBi-Verfahren

Henning Hahn[1], Waldemar Ganagin, Kirsten Loewe[2] und Michael Wachendorf[3]

[1] Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Kassel; [2] HAWK Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst, Göttingen, Fachgebiet NEUTec, Göttingen; [3]Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel, Witzenhausen.
E-Mail: Henning.Hahn@iwes.fraunhofer.de

Einleitung

Die zukünftige Energieversorgung wird auf einem hohen Anteil fluktuierender Energien, z.B. Wind und Sonne, basieren (Nitsch et al. 2012). Um witterungsbedingte Schwankungen in der Energieversorgung auszugleichen sind regelbare Energieerzeuger erforderlich. Biomasse- insbesondere Biogas- betriebene Verstromungsanlagen bieten in diesem Zusammenhang den Vorteil, zeitlich unabhängig von Sonne, Wind und anderen direkten Umwelteinflüssen, Strom bereitstellen zu können. Damit besteht durch diese die Möglichkeit, die Residuallast, ergänzend zu regelbaren fossilen Energieerzeugern (z.B. Gaskraftwerken) oder in Energiespeichern gespeicherte Energie, zu decken.

Um bedarfsorientiert Strom aus Biogas zu erzeugen, muss eine bedarfsorientierte Biogasbereitstellung gewährleistet werden, die ausreichende Biogasmengen immer dann gewährleistet, wenn diese zur Verstromung benötigt werden. Dafür kann Biogas gespeichert oder entsprechend des Bedarfs flexibel produziert werden.

Biogasspeichern sind genehmigungsrechtliche Mengengrenzen gesetzt und nicht an allen Biogasanlagen in gleichem Umfang möglich. Eine flexible Biogasproduktion kann daher eine sinnvolle Ergänzung darstellen. Das Forschungsprojekt „ReBi“ untersucht die Möglichkeiten der bedarfsorientieren Biogasbereitstellung durch eine flexible Biogasproduktion mit dem ReBi-Verfahren. Der Beitrag stellt erste Ergebnisse von Untersuchungen dar, bei denen die Leistungsgradienten der Gasproduktion bei einem flexiblen Betrieb ermittelt wurden.

Material und Methoden

Die flexible Biogasproduktion wird an einer kleintechnischen „zweistufigen“ Versuchsanlage, am Standort der HAWK, erprobt. Bei dem Konzept der Versuchsanlage handelt es sich um ein angepasstes Anlagenkonzept, das eine milieuspezifische Phasentrennung des Biogasprozesses erlaubt. Im ersten Verfahrensschritt, der Hydrolyse und Acidonegenese, verweilt das Substrat (hier Maissilage) ca. 3 Tage in einem volldurchmischten Hydrolysebehälter. Anschließend erfolgt eine Fest-Flüssig-Trennung des stark hydrolysierten Gärsubstrats mittels Pressschneckenseparators. Der abgepresste Feststoff mit einem durchschnittlichen TM-Gehalt von ca. 20 % und oTS-Gehalt um 95 % wird einem volldurchmischten Reaktor zugeführt. In diesem erfolgt die Umsetzung der Feststofffraktion kontinuierlich zu Biogas. Die separierte flüssige Fraktion, mit einem hohen Anteil an leicht abbaubarer organischer Substanz (TM-Gehalt 3 bis 4 %, oTS-Gehalt um 96 %), wird in einem Vorlagebehälter zwischengespeichert um eine kontinuierliche bzw. bedarfsgerechte Fütterung des Festbettfermenters mit flüssigem Substrat zu ermöglichen. Der Festbettfermenter (290L Nutzvolumen) wird mesophil im Aufstromverfahren (pH ca. 7,5) betrieben.

Ergebnisse und Diskussion

Um die Leistungsgradienten der Gasproduktion zu untersuchen, wurde der Einfluss des Fütterungsintervalls auf die Gasproduktion untersucht. Die Ergebnisse stellen ausschließlich den Gasproduktionsverlauf des Festbettfermenters dar. Vorversuche haben gezeigt, dass etwa 2/3 des Gasertrags über die Vergärung der flüssigen Phase im Festbettfermenter erzielt wird (Ganagin et al. 2011). Die Abbildung veranschaulicht den arithmetisch gemittelten Verlauf des Biogasvolumenstroms bei einer Fütterungszeit von 16 bzw. 8 Stunden mit einer jeweils ebenso langen Fütterungspause.

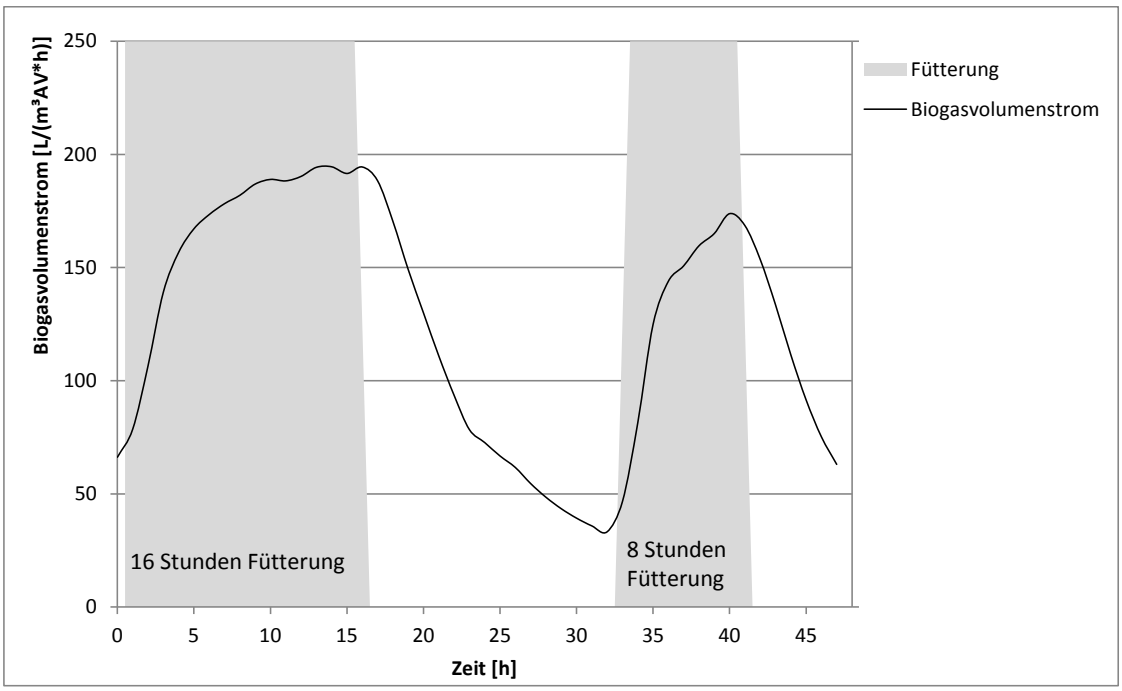


Abb.: Biogasvolumenstrom pro Stunde bezogen auf das Anlagenvolumen bei 16 Stunden (Mittelwert aus n=13) und 8 Stunden (Mittelwert aus n=5) Fütterung mit flüssigem Hydrolysat.

Die Abbildung zeigt, dass die Gasproduktion des Festbettfermenters innerhalb von wenigen Stunden verdreifacht bzw. vervierfacht werden kann. Hierdurch erscheint es möglich, die Bruttogasproduktion auf wenige Stunden pro Tag zu verschieben. In der Praxis kann dies eine Reduzierung der notwendigen Biogasspeicherkapazität und eine insgesamt höhere Flexibilität des Verstromungsbetriebs bedeuten. Die jeweilige Ausnutzung des zugeführten Substrats bei der flexiblen Gasproduktion gilt es hierbei noch zu untersuchen.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden durch die FNR e.V. im Rahmen des Förderschwerpunktes „Intelligente Lösungen zur kombinierten Nutzung von Bioenergie und anderen erneuerbaren Energien“ finanziert.

Literatur

J. Nitsch; et. al 2012: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Verfügbar unter: www.bmu.de

W. Ganagin; K. Loewe; A. Loewen; R. Wallmann 2011: Flexible Biogasproduktion zur Erzeugung von Spitzenlaststrom: Weiterentwicklung der Biogastechnolgie von der Grundlast- zur Regelenergieerzeugung. In: Tagungsband Jahrestagung Fachverband Biogas e.V. 2011

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 64–65 (2013)

Erste Ertragsergebnisse neuer Energiepflanzen in Bayern

Maendy Fritz[1], Falko Stockmann[1], Anja Hartmann[1]

[1] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing; E-Mail: *maendy.fritz@tfz.bayern.de*

Einleitung

Neue Energiepflanzen sollen das Spektrum der etablierten Kulturarten ergänzen, um zu enge Fruchtfolgen aufzulockern und die Kulturlandschaft zu bereichern. Viele dieser neuen Pflanzen sind Dauerkulturen, die für Zeiträume von 10 bis über 20 Jahren nutzbar sind. Neben der bodenschonenden langen Standdauer sind der geringe notwendige Arbeits- und Faktorinput, die lange Blühdauer sowie das Dekkungsangebot für Wildtiere wichtige Vorteile. Einige Arten benötigen Etablierungsphasen von mehreren Jahren, in denen sie keine oder nur geringe Erträge liefern. Dementsprechend sind bisher nur wenige belastbare Ertrags- und Qualitätsdaten zu diesen Kulturen unter deutschen Anbaubedingungen verfügbar. Dieser Beitrag stellt erste Ergebnisse aus der Etablierungsphase von Ungarischem Energiegras und Sida den Werten aus der Literatur gegenüber.

Material und Methoden

Zur Etablierung von Ungarischem Energiegras (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus*), Sorte Szarvasi 1, und Sida (*Sida hermaphrodita*) wurden Feldversuche mit jeweils 4 Wiederholungen am Standort Straubing (Bodenart uL, AZ 75, Niederschlagsmittel 716 mm, Temperaturmittel 8,6 °C) angelegt. Das Energiegras wurde in den Saatstärken 15 bzw. 25 kg/ha am 19.05. ausgesät, Sida wurden in den Saatstärken 1, 2 und 3 kg/ha am 28.06.11 getestet. Alle Saatstärkevarianten wurden am 19.04. (Sida) bzw. 27.04.12 (Energiegras) mit 80 kg N/ha und am 10.07.12 mit 100 kg N/ha in Form von KAS gedüngt. Das Energiegras wurde in 2011 mehrmals zur Unkrautbekämpfung und zur Anregung der Bestockung geschröpft, bei Sida wurde das Unkraut durch Hacken und Fräsen bekämpft. Die Kernbeerntung der Parzellen erfolgte mit einem reihenunabhängigen Häcksler plus Probenahmeeinheit am 28.06. und 24.10.12 für das Energiegras sowie am 02.08. und 22.10.12 für Sida.

Ergebnisse und Diskussion

Geißendörfer (2012) nennt Erträge des Ungarischen Energiegras in Triesdorf in Höhe von 193 dt TM/ha in 2009, 185 dt TM/ha in 2010 und 179 dt TM/ha in 2011 bei jeweils zweimaligem Schnitt. Schrabauer et al. (2010) berichten von Erträgen zwischen 88 und 202 dt TM/ha bei einmaligem Schnitt im Spätsommer für die thermische Verwertung. In Straubing wurden im ersten Erntejahr 2012 für das Energiegras 172 dt TM/ha bei 15 kg und 182 dt TM/ha bei 25 kg Saatstärke erzielt (Abb. 1), obwohl der zweite Aufwuchs trotz Schnitthöhe 15 cm sehr verunkrautet war. Eventuell ist diese Verunkrautung, die durch die Wachstumsruhe des Energiegrases und anscheinend zu frühe 2. Düngung verursacht wurde, der Grund für die TS-Gehalte unter 28 % der 2. Ernte. Die Saatstärke hatte nur marginalen Einfluss auf den Ertrag.

Bei Sida wurden bei zweimaligem Schnitt für Biogassubstrat im ersten Erntejahr für die drei Saatstärken 1, 2 und 3 kg/ha Erträge von 95, 115 bzw. 125 dt TM/ha erzielt (Abb. 1). Für den 1. Schnitt lagen die TS-Gehalte aller Saatstärken nur knapp unter den für eine verlustarme Silierung geforderten 28 %, bei dem 2. Schnitt wurden nur unbefriedigende TS-Gehalte unter 20 % erreicht. Es könnte produktionstechnisch

günstiger sein, den 1. Schnittzeitpunkt zur Ertragssteigerung etwas zu verzögern und den 2. Aufwuchs erst nach Winter zur thermischen Nutzung zu beernten.

Die Saatstärke hatte einen deutlichen Einfluss auf den Ertrag, allerdings sind alle Pflanzenbestände aufgrund der sehr geringen Keimfähigkeit und Feldaufgänge vergleichsweise dünn: bei Saatstärke 1 kg/ha wurden nur 5 Pflanzen/m² erreicht, bei 2 kg/ha Saatstäke 8 Pfl./m² und bei Saatstärke 3 kg/ha 10 Pfl./m², wobei allerdings Bestandesdichten von 4 Pfl./m² als optimal gelten (Visscherholland 2011).

In der Literatur werden bei einmaliger Ernte von Sida zur thermischen Nutzung Erträge von 93 bis 200 dt TM/ha ab einem Bestandesalter von 2 bis 3 Jahren (Borkowska et al. 2006) sowie bis 400 dt TM/ha (Visscherholland 2011) genannt. Es bleibt im weiteren Versuchsverlauf zu prüfen, ob das hohe Ertragspotenzial auch bei der Produktion von Biogassubstrat erreicht werden kann.

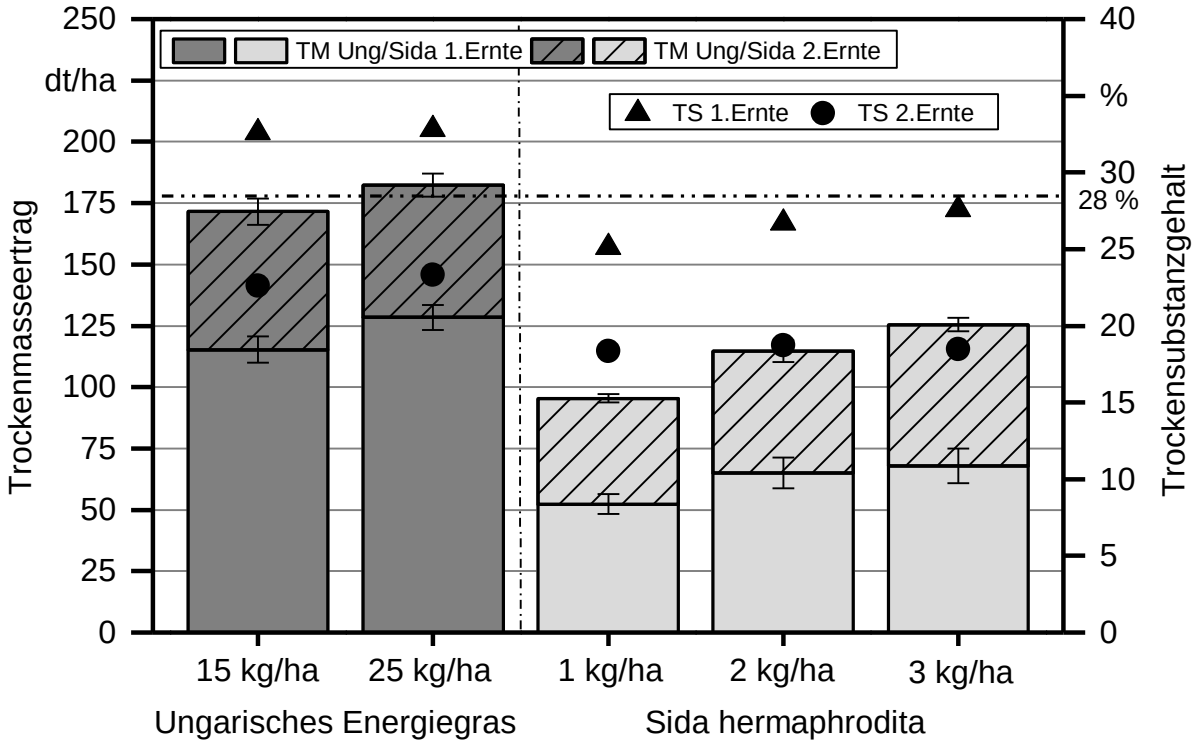


Abbildung 1: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Ungarischem Energiegras und Sida bei jeweils zweimaligem Schnitt im Jahr 2012 am Standort Straubing; Mittelwerte aus n = 4 und Standardfehler

Literatur

Borkowska, H; Styk B.; Molas, R. (2006): Energiepflanze mit hohem Potenzial. Erneuerbare Energien 7, S. 76-77

Geißendörfer, H. (2012): Mehr Gas mit Riesengras. DLZ-Agrarmagazin 10, S. 54-57

Schrabauer, J.; Liebhard, P.; Humer, J.; Buchgraber, K. (2010): Bestandesbegrünungen und Kulturführungsmaßnahmen bei Rutenhirse, Rohrschwingel und Riesen-Weizengras zur energetischen Verwertung und Futternutzung. Netzwerke und Visionen. In: Pude, R. (Hrsg.): Miscanthus. Netzwerke und Visionen. 6. Internationale Miscanthus-Tagung. Ardagger, Österreich, 24.-26. November. Bonn: Universität Bonn - ILB Press, S. 55-62, ISBN 978-3-941766-04-4

Visscherholland (2011): Heizung, Honig, Heilpflanze. Joule 3, S. 69-70

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 66–67 (2013)

Energiebindung und -effizienz des Energiepflanzenanbaus zur Biogasnutzung

Robert Simon[1], Ewald Sticksel[1], Dorothea Hofmann[1], Joachim Eder[1], Harald Schmid[2] und Kurt-Jürgen Hülsbergen[2]

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising; [2]Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising. E-Mail: robert.simon@lfl.bayern.de.

Einleitung

Biogas deckt bereits heute mit ca. 7.500 Anlagen und einer elektrischen Leistung von etwa 3.200 MW einen Anteil von rund 3,5 % des deutschen Stromverbrauchs ab und soll zukünftig noch weiter ausgebaut werden. Ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung von Bioenergielinien sind die flächenbezogene Energiebindung über die Pflanze und die Energieeffizienz. Dabei besitzt Mais unter den Anbaubedingungen in Süddeutschland ein hohes Ertrags- und Energiebindungspotenzial, das gemeinsam mit seiner guten Vergärbarkeit die starke Nutzung als Substrat in bayerischen Biogasanlagen begründet.

Durch diese positiven Eigenschaften von Mais können regional hohe Maisdichten entstehen, die möglicherweise negative Umweltwirkungen zur Folge haben. Als Basis für eine Bewertung der Auswirkungen auf die Umwelt wurden in Feldversuchen verschiedene Energiepflanzenfruchtfolgen hinsichtlich ihrer Energiebilanz bewertet, um sie mit dem Referenzsystem Silomais vergleichen zu können. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für eine Optimierung von Energiepflanzenfruchtfolgen, sowie zur Ableitung von Anbauempfehlungen.

Material und Methoden

In einem Feldversuch an drei bayerischen Standorten (Freising: feucht-kühl; Ansbach: trocken; Straubing: feucht-warm) wurden in den Jahren 2007-2010 Energiepflanzen-Fruchtfolgen hinsichtlich ihrer Ertragsleistungen analysiert. Wintergerste, Winterroggen und Wintertriticale mit unterschiedlichen Ernteterminen wurden in Erstfruchtstellung mit verschiedenen Zweitfrüchten (Ackergras, Hafer, Sorghumhirse, Silomais, Sonnenblume) kombiniert. Zusätzlich wurde Winterroggen als Deckfrucht mit Ackergras- bzw. Kleegrasuntersaat und früh geernteter Grünroggen mit darauf folgendem Silomaisanbau geprüft. Als Referenzsystem diente Silomais. Alle Varianten wurden ausschließlich mineralisch gedüngt.

Auf der Grundlage der experimentellen Daten (Erträge, Inhaltsstoffe, Anbauverfahren) wurden detaillierte Energiebilanzen als Prozessanalyse mit dem Modell REPRO (Hülsbergen 2003, Küstermann et al. 2007) berechnet. Als Systemgrenze wurde das Futterlager (Silo) definiert. Auf dieser Grundlage wurden die Parameter Energieinput, Energieoutput, Energie-Effizienz (Energieoutput/Energieinput-Verhältnis) und Netto-Energieoutput (Differenz zwischen Energieoutput und Energieinput) berechnet. Diese Kennzahlen ermöglichen die umfassende energetische Bewertung der unterschiedlichen Fruchtfolgen. Während der Netto-Energieoutput besonders für Landwirte von Bedeutung ist, deren landwirtschaftliche Produktion in erster Linie vom Produktionsfaktor Boden begrenzt wird, kann die Energie-Effizienz zur Beurteilung der Energienutzung aus Sicht der Gesellschaft herangezogen werden.

Ergebnisse und Diskussion

Eine Auswahl der Ergebnisse lässt sich Tabelle 1 entnehmen. Silomais hatte im Vergleich mit allen anderen Fruchtarten auf allen Standorten die höchste Energieeffizienz. Der Netto-Energieoutput der Kombination Grünroggen/Silomais lag auf allen Standorten höher als bei Silomais.

Tabelle 4: Netto-Energieoutput und Energieeffizienz ausgewählter Fruchtarten im Mittel der Jahre 2007-2010.

	TM-Ertrag	Methan-ertrag	Energie-input	Energie-output	Netto-Energieoutput	Energie-Effizienz
	dt ha^{-1}	m^3 ha^{-1}	GJ ha^{-1}	GJ ha^{-1}	GJ ha^{-1}	n. a.
Freising						
Winterroggen/ Weidelgrasuntersaat	239	7581	24	432	407	17
Grünroggen/ Silomais	324	10419	20	554	534	28
Silomais	253	8925	13	465	451	35
Ansbach						
Winterroggen/ Kleegrasuntersaat	151	4735	20	258	238	13
Grünroggen/ Silomais	224	7591	19	406	387	21
Silomais	199	6983	11	365	354	32
Straubing						
Winterroggen/ Kleegrasuntersaat	163	4935	24	303	280	13
Grünroggen/ Silomais	285	9819	19	518	499	29
Silomais	275	9614	11	506	494	44

Weitere Ergebnisse variierten standortabhängig. Am Standort Straubing konnte mit Sorghumhirse in der Fruchtfolge eine fast an den Mais heranreichende Energieeffizienz erreicht werden, während Sorghumhirse in Freising und Ansbach nicht den zur Silierung notwendigen TM-Gehalt erreichte. Sorghumhirse hat abhängig von Standort, Sorte und Anbautechnik das Potenzial, lokal die Energieeffizienz von Mais zu erreichen. Auf dem Getreide-Standort Ansbach waren die Unterschiede zwischen Mais und Wintergetreide geringer als auf den anderen Standorten. Ähnlich unterschiedlich sind auch die Netto-Energieoutputs für einjähriges Ackergras als Zweitfrucht. Bei einer ausreichenden Wasserversorgung können mehrere ertragreiche Schnitte erfolgen, während am trockenen Standort Ansbach nur ein ertragsschwacher Schnitt möglich war.

Mit einer organischen Düngung könnten noch höhere Energieeffizienzen erreicht werden, da der mineralisch wirksame N-Gehalt im organischen Dünger einen Teil des aufgewendeten (bei der Herstellung sehr energieaufwändigen) Mineraldüngers substituiert, was zu einem geringeren Energieeinsatz in der Kultur führen würde.

Literatur

Hülsbergen, K.-J. 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker-Verlag, Aachen.

Küstermann, B., Kainz, M., Hülsbergen, K.-J. 2007: Modelling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. Renewable Agriculture and Food Systems: 23 (0); 1-16.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 68–69 (2013)

Mittelfristige C_{org}-Veränderungen im Oberboden durch Energiepflanzen-Anbausysteme – Ergebnisse eines Feldversuchs

Martin Gauder[1], Norbert Billen[2], Sabine Zikeli[1], Moritz Laub[2] und Wilhelm Claupein[1]

Universität Hohenheim, [1]Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, [2] Institut für Bodenkunde und Standortslehre, 70599 Stuttgart; Email: gauder@uni-hohenheim.de

Einleitung

Der Anbau von Nutzpflanzen führt oftmals zu einer langfristigen Abnahme an organischem Material im Oberboden (Ladha *et al.* 2011). Die Geschwindigkeit der Veränderung, und ob es zu einer Akkumulation oder Abnahme an organischem Material kommt hängt vom Ausgangsgehalt des Bodens, sowie den standörtlichen Gegebenheiten ab. Durch den neuerlich verstärkten Anbau von Bioenergiepflanzen und den damit verbundenen hohen Ernteabfuhren an organischem Material könnte es zu einem verstärkten Abbau an organischem Material im Boden kommen. Vor diesem Hintergrund wurden in dieser Arbeit die Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) im Oberboden eines zehnjährigen Energiepflanzenversuchs mit ein- und mehrjährigen Arten bei unterschiedlicher N-Düngungsintensität untersucht.

Material und Methoden

Der Feldversuch fand auf dem Gelände der Versuchsstation Ihinger Hof statt. Der Standort zeichnet sich durch einen Lehmboden (L 4 LöV) mit 68 Bodenpunkten, einer jährlichen Niederschlagsmenge von 714 mm, sowie einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,1 °C aus (Mittelwert 2000 – 2010). Die Spaltanlage ist in vier Wiederholungen aufgeteilt, wovon in jeder Wiederholung drei, jeweils 160 m² große Parzellen, für jede Kultur zur Verfügung stehen. Eine dieser drei Parzellen wurde in jeder Wiederholung mit einer, der Kulturart angepassten, Stickstoffmenge gedüngt, eine Parzelle jeweils mit einer halbierten Stickstoffmenge und eine Parzelle wurde jeweils als Nullparzelle verwendet.

Kulturen: Die mehrjährigen Arten Miscanthus (*M. x giganteus*), Weiden (*S. schwerinii x viminalis* ‘Tora‘) und Rutenhirse (*Panicum virgatum* ‘Kanlow‘) wurden in den gedüngten Parzellen mit 80, beziehungsweise 40 kg N ha^{-1} a^{-1} versorgt. Der Energiemais (*Z. mays* ‘Mikado‘) in Selbstfolge wurde mit 240, bzw. 120 kg N ha^{-1} a^{-1} gedüngt. In der dreigliedrigen Feldfruchtfolge wurden die Getreide mit 160, bzw. 80 kg N ha^{-1} a^{-1} gedüngt. Alle anderen Nährstoffe wurden mittels Grunddüngungen im Optimum gehalten. Die Stickstoffversorgung erfolgte, zeitlich an die Kulturen angepasst, über ammoniumstabilisiertes Entec 26 im Frühjahr jeden Jahres. Alle Kulturen wurden jährlich beerntet, eine Ausnahme bildeten die Weiden, welche im dreijährigen Turnus auf den Stock gesetzt wurden.

Die Analyse der C_{org}-Konzentrationen erfolgte anhand von Bodenproben, welche händisch im März 2013 gezogen wurden; dabei wurde der Boden in 10 cm-Schritten bis auf eine Tiefe von 30 cm beprobt. Carbonatgehalte wurden mit der Methode nach Scheibler ermittelt, sowie die C_{org}-Gehalte mit den entsprechenden Lagerungsdichten der Horizonte errechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Neben einer leichten Absenkung des pH-Werts, welcher bspw. beim stark gedüngten Mais in der Ackerkrume (0-30 cm) bei 5,7 und bei ungedüngtem Mais bei 6,5 lag, führte die N-Düngung in allen Kulturen zu signifikant höheren C_{org}-Konzentrationen in

den oberen beiden Untersuchungstiefen. Der Effekt der Kulturart führte in diesem Versuch zu einem signifikanten Unterschied der C_{org}-Konzentrationen in allen drei Untersuchungstiefen; wobei die deutlichsten Unterschiede in den oberen 10 cm messbar waren. Im Vergleich zu den 2002 vor Versuchsanlage ermittelten 0,99 % C_{org}-Konzentrationen im Oberboden veränderte sich dieser Wert unter den einjährigen Arten kaum (0,99 % in der pfluglosen Fruchtfolge, 0,98 % in der wendenden Fruchtfolge und 1,06 % unter Maisanbau), wogegen ein deutlicher Anstieg unter Weiden (1,15 %) und Miscanthus (1,14 %) messbar war.
Nach Verrechnung mit den Lagerungsdichten der Horizonte in den jeweiligen Kulturen zeigte sich, dass der Oberboden unter den mehrjährigen Arten deutlich höhere C_{org}-Gehalte aufwies als dies unter den annuellen Arten der Fall war. Weiterhin enthielt in diesem Versuch der Oberboden in der pfluglosen Fruchtfolge insgesamt einen höheren C_{org}-Gehalt als in derselben Fruchtfolge unter wendender Bodenbearbeitung (Abb. 1).

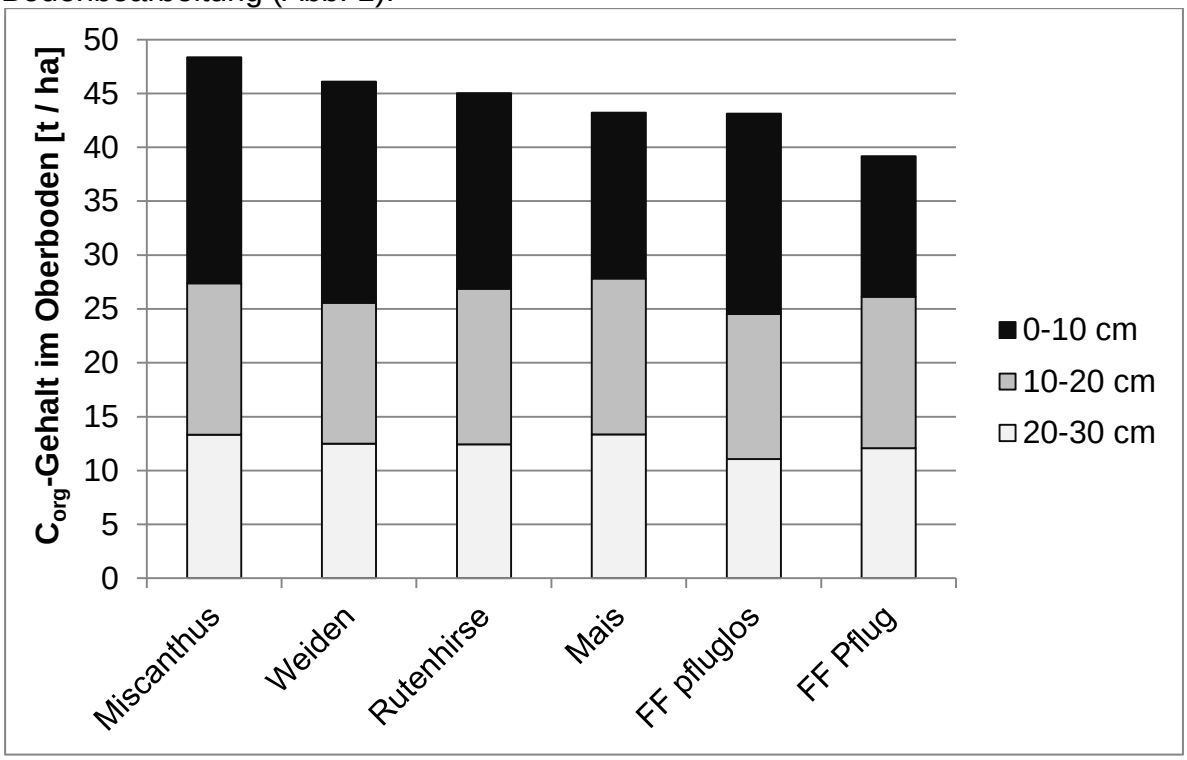


Abb. 1: mittlere C_{org}-Gehalte im Oberboden nach zehnjährigem Anbau verschiedener Energiepflanzen im Mittel der N-Düngungsintensitäten (FF= Fruchtfolge)

Die Ergebnisse dieses Versuchs zeigen, dass der Gehalt an Kohlenstoff im Oberboden im Energiepflanzenanbau durch die Intensität der N-Düngung, als auch durch die Wahl der Kulturart und der Bodenbearbeitung beeinflusst wurde. Eine generell humuszehrende Wirkung durch Energiepflanzenanbau konnte trotz der hohen Biomasseentzügen auf diesem Ackerstandort nicht festgestellt werden.

Literatur

Ladha JK, Reddy CK, Padre AT, van Kessel C. 2011/11. Role of Nitrogen Fertilization in Sustaining Organic Matter in Cultivated Soils. J.Environ.Qual. 40: 1756-1766.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 70–71 (2013)

Energiepflanzenanbau und Klimawandel: Wurzelsysteme von Sorghum und Mais im Vergleich

Paeßens, Benedikt[1], Pacholski, Andreas[2,1] und Kage, Henning[1]

[1] Christan-Albrechts-Universität, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Kiel. E-Mail: *paessens@pflanzenbau.uni-kiel.de*
[2] Inkubator/Graduate School, Leuphana Universität, Lüneburg

Einleitung

Der Energiepflanzenanbau hat in Deutschland aufgrund der zu erzielenden Rendite in der letzten Dekade stetig zugenommen. So verdoppelte sich die Energiepflanzenfläche für die Biogaserzeugung von 400.000 ha in 2007 auf 800.000 ha im Jahr 2011. Den höchsten Anteil hieran macht Mais aus, dessen Einsatz durch die Novellierung des EEG beschränkt wurde, woraus sich ein Bedarf an alternativen Energiepflanzen ergeben hat.

Die zukünftig angebauten Energiepflanzen sollten aufgrund der erwarteten Reduzierung der sommerlichen Niederschläge gut an Trockenheit angepasst sein. Sorghum könnte aufgrund seines ausgeprägten Wurzelsystems und die damit verbundenen Trockenstresstoleranz diesen neuen Anforderungen entsprechen. Zu den zukünftigen Klimabedingungen gehören auch deutlich erhöhte atmosphärische CO_2-Konzentrationen [CO_2]. Bisher ist aber noch nicht untersucht worden, wie sich Sorghumwurzelsysteme unter Bedingungen von Trockenstress und erhöhten [CO_2] in Mitteleuropa verhalten.

Material und Methoden

Am Thünen-Institut in Braunschweig wurde zur Klärung dieser Frage ein Freilandversuch mit zwei Sorghumgenotypen ‚Bulldozer' (*Sorghum bicolor*) und ‚Inka' (*Sorghum bicolor x Sorghum sudanense*) im Vergleich zu einem Maisgenotyp ‚Simao' (*Zea mays*) in sechs experimentellen Ringen angelegt. In jedem Ring wurde eine Hälfte mit einem rainout-shelter zur Erzeugung von Trockenstress (dry) versehen (Erbs et al., 2012). Die andere Hälfte konnte bei Bedarf bewässert werden (wet). Drei Ringe waren zur Erhöhung der [CO_2] auf 600 ppm (elevated) mit einer free air carbon dioxide enrichment-Anlage (FACE) ausgestattet (in Betrieb ab 30.06.2011). Die anderen drei Ringe dienten als Kontrolle (ambient, 390 ppm CO_2). Zur Endernte (Anfang Oktober) wurden Wurzelproben destruktiv bis zu einer Tiefe von 110 cm genommen und Kenndaten des Wurzelsystems (Wurzellängendichte (WLD, etc.) mit dem Computerprogramm Winrhizo ermittelt. Die Spezifische Wurzellänge (SWL) wurde aus dem Quotienten von Wurzellänge und Wurzelmasse berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Die verschiedenen Genotypen zeigen bezüglich der Spezifischen Wurzellänge (SWL) ein signifikant unterschiedliches Verhalten. Für ‚Bulldozer' steigt die SWL ab 60 cm bei erhöhten [CO_2] an. Für ‚Inka' zeigt sich dies als Trend. Die SWL unter erhöhter [CO_2] bei ‚Simao' liegt ab einer Tiefe von 20 cm über den Varianten bei Umgebungs-[CO_2].

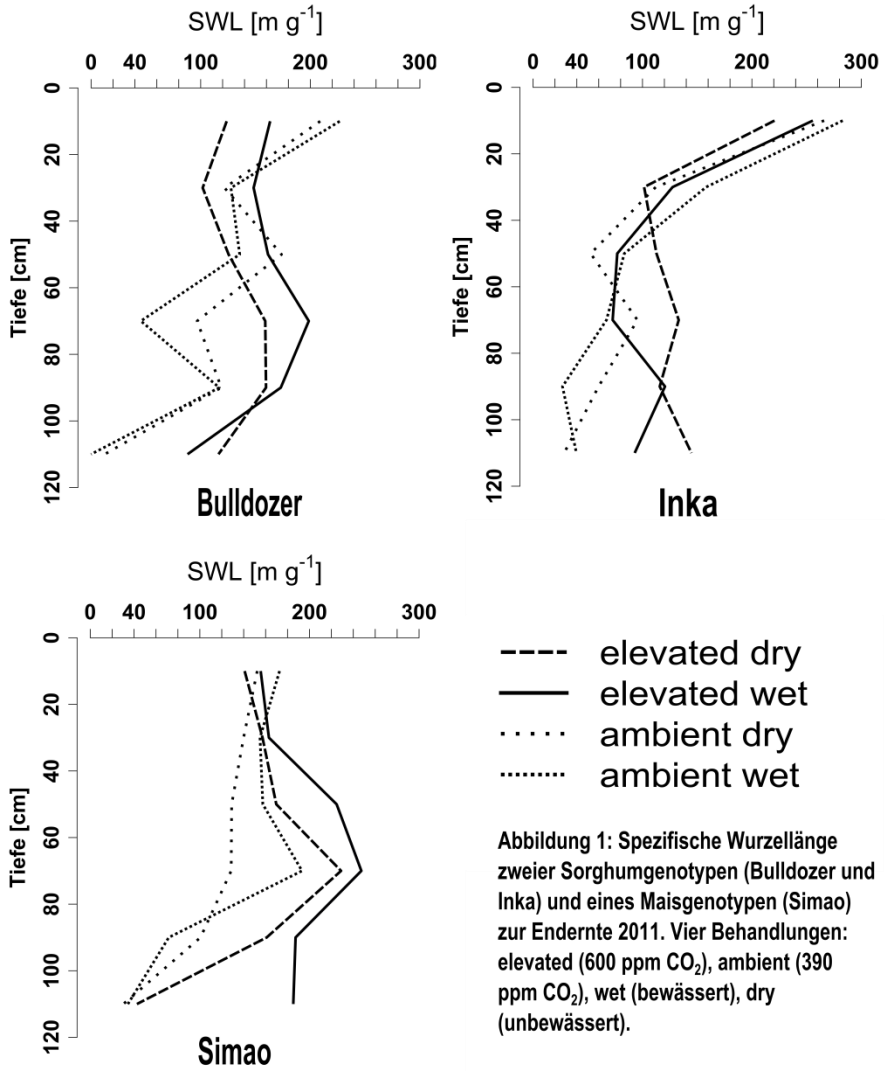


Abbildung 1: Spezifische Wurzellänge zweier Sorghumgenotypen (Bulldozer und Inka) und eines Maisgenotypen (Simao) zur Endernte 2011. Vier Behandlungen: elevated (600 ppm CO_2), ambient (390 ppm CO_2), wet (bewässert), dry (unbewässert).

Erhöhte [CO_2] führte bei den Sorghumgenotypen zu keiner Steigerung der Wurzellängendichte (WLD) und der Durchwurzelungstiefe, während beim Maisgenotyp einen Anstieg der WLD ab 60 cm und eine Zunahme der Durchwurzelungstiefe zu verzeichnen war (Daten nicht gezeigt).

Die Ergebnisse der Untersuchung deuten an, dass bei Mais unter erhöhter [CO_2] eine Zunahme von WLD, SWL und Durchwurzelungstiefe zu einem gesteigerten Wasser- und Nährstoffaneignungsvermögen führen könnte (Eissenstat, 1992). Mais zeigte insgesamt eine stärkere Reaktion auf erhöhte [CO_2] als die Sorghumgenotypen, die durch die größere Durchwurzelungstiefe und höhere absolute Wurzellänge unter beiden [CO_2] Behandlungen eine gegenüber Mais deutlich bessere Anpassung an Trockenheit zeigten.

Literatur

Erbs, M., Manderscheid, R., Weigel, H.-J. (2012): A combined rain shelter and free air CO_2 enrichment to study climate change impacts on plants in the field. Methods in Ecology and Evolution, 3, 81-88

Eissenstat, D. M. (1992): Costs and benefits of constructing roots of small diameters. Journal of Plant Nutrition, 15, 763-782

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 72–73 (2013)

Kompatibilität von Ertragsoptimierung und naturschutzfachlichen Zielen im Energiepflanzenanbau?

Schümann, Kolja[1]

[1] Institut für angewandte Forschung (IAF) / Hochschule für Forstwirtschaft (HFR), Rottenburg.
E-Mail: kolja.schuemann@hs-rottenburg.de

Einleitung

Anbaumethoden, umgebende Landschaftsmatrix und Fruchtfolgegestaltung haben wesentlichen Einfluss auf die konkreten ökologischen (Folge-)Wirkungen / Effekte des Energiepflanzenanbaus. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass die Wahl der verwendeten Kulturpflanzen durch ihre spezifischen Eigenschaften die Naturverträglichkeit des Energiepflanzenanbaus bestimmen.
Grundsätzlich bietet der Energiepflanzenanbau „neue“ Optionen zur Aufweitung enger konventioneller Fruchtfolgen. Dabei kann die Suche nach alternativen Energiepflanzen mittlerweile durchaus Erfolge ausweisen und es wurden Arten und Sorten identifiziert, denen ökologische Vorzüge zugesprochen werden können. Unabhängig davon, in wie weit mögliche „Wohlfahrtswirkungen“ bereits validiert sind oder nicht, ist unstrittig, dass die bisher aufgezeigten Alternativen züchterisch und pflanzenbaulich optimiert werden müssen, um wirtschaftlich konkurrenzfähig zu sein. Und durchaus nachvollziehbar ist auch, dass pflanzenbauliche und naturschutzfachliche Ziele in vielen Punkten divergent zueinander sind.

Material und Methoden

Die im Beitrag vorgestellten Erkenntnisse wurden im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben an der HFR / Arbeitsgruppe Prof. Dr. Rainer Luick seit 2007 zusammengetragen. Ihnen lag eine realwissenschaftliche Ausrichtung zugrunde, die darauf abzielte, fachliche Anforderungen an eine naturverträgliche Nutzung der Bioenergie mit Praxispartnern und lokalen Akteuren zu diskutieren und handlungsorientiert weiterzuentwickeln. Für den Bezugsraum Deutschland wurden sowohl politische Empfehlungen zur Anpassung rechtlicher Instrumentarien als auch für formelle und informelle Planungsansätze erarbeitet. Der Pflanzenbau war hierbei jeweils nur ein Teilaspekt, der durch einen intensiven Austausch mit anderen Forschungseinrichtungen und umfangreichen Recherchen abgedeckt werden konnte. Eigene Felduntersuchungen zu konkreten Effekten des Energiepflanzenanbaus waren nicht Forschungsgenstand.

Ergebnisse und Diskussion

Insbesondere am hohen Flächenbedarf des Energiepflanzenanbaus wird deutlich, dass die Etablierung von regenerativen Energieanlagen bei aller Sympathie auch Konsequenzen hat, die in ihren Auswirkungen auf Lebensansprüche, Ressourcennutzungen und Biodiversität diskutiert werden müssen. Am Beispiel der Biogasnutzung und damit verbundenen Fokussierung auf die Energiepflanze Mais wird das bestehende Konfliktpotenzial besonders greifbar. Silomais hat bundesweit mit knapp 80 % (massebezogener Substrateinsatz; DBFZ & TLL 2012) den mit großem Abstand höchsten Anteil aller eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe in Biogasanlagen. Aufgrund der relativen Vorzüglichkeit (hohe Trockenmasse- / Methanerträge), der einfachen Handhabung und der Selbstverträglichkeit von Mais kommt es, begünstigt durch regionale Konzentrationen von Biogasanlagen in viehstarken Gebieten, zu einer sprichwörtlichen „Vermaisung“ von Landschaften. Dabei wird die

Fruchtfolgegestaltung von manchem Energiewirt vernachlässigt (Dany 2012). Neben den direkten negativen landschaftsästhetischen Effekten sind hierdurch auch verstärkt Bodenerosion, Nitratauswaschung und Lebensraumverlust (geringe Lebensraumeignung für Offenlandarten, strukturelle Verarmung, etc.) zu bilanzieren.
Bestrebungen um eine Erweiterung des Fruchtartenspektrums sind vor diesem Hintergrund in hohem Maße begrüßenswert. Als ökologische Vorteile der „Maisalternativen“, werden vielfach ein reiches und zeitlich versetztes Blütenangebot, längere Phasen der Bodenruhe (Dauerkulturen), geringere Betriebsmittelaufwendungen und eine strukturelle Heterogenität der Bestände benannt. Da derzeit Dauerkulturen wie etwa Sida, Topinambur, Durchwachsene Silphie und Wildpflanzenmischungen nicht gänzlich mit Mais konkurrieren können, ist es aus berechtigten ökonomischen Gründen geboten, mittelfristig „Hochleistungspflanzen“ zu selektieren, die homogene Bestände bilden, gleichzeitig blühen und reifen. Im Extremfall können sogar Bestände erwartet werden, die ggf. vor der Blüte optimale Trockenmasseanteile und Siliereigenschaften aufweisen, so dass Blühaspekte ggf. ganz verloren gehen könnten (bspw. günstige Eigenschaften spätblühender Topinambur-Sorten/Varietäten). Durch ergänzende pflanzenbauliche Maßnahmen zur Ertragsoptimierung könnten genetische verarmte Reinbestände entstehen, die sich in Bestandsstruktur und Lebensraumeignung kaum vom Mais unterscheiden. Einzig Dauerkulturen könnten dabei v. a. langfristig bodenökologische Vorzüge behalten.
Überdies ist zu hinterfragen, ob alternative Energiepflanzen evtl. selbst Gefahrenpotenziale bergen. Entsprechend sind mögliche Invasionspotenziale „neuer“ Arten fremder Herkünfte genau zu prüfen. So wurde bei Anbauversuchen der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum*, Nordamerika), in Forchheim / Karlsruhe bereits ein massiver Feldaufgang beobachtet. Gerade die ökologischen Eigenschaften, die aus pflanzenbaulicher Sicht für die künftigen Energiepflanzen als ideal erachtet und als Auswahlkriterien herangezogen werden (z. B. schneller Etablierungserfolg, etc.), gelten gleichzeitig für invasive Arten als typisch (Raghu et al. 2006).
Am Beispiel von Wildpflanzenmischungen für die Biogasproduktion wird deutlich, dass ein ökologischer Mehrwert im Grunde nur möglich ist, wenn Ertragseinbußen toleriert werden. Welche Kriterien zu erfüllen wären, um die angenommenen „Wohlfahrtswirkungen“ alternativer Kulturen tatsächlich zu gewährleisten, muss ebenso gründlich diskutiert werden, wie die Frage, ob und wie mögliche Mindererträge bei naturschutzoptimierter Ausrichtung des Anbaus finanziell ausgeglichen werden könnten. Abschließend darf wohl nicht davon ausgegangen werden, dass eine Kultur / Pflanzenmischung gefunden werden kann, die sowohl dem Ziel der maximalen biologischen Vielfalt und gleichzeitig höchsten Ertragsansprüchen gerecht wird. Eine Erweiterung des Energiepflanzenspektrums kann zwar mittelfristig die Anbauvielfalt erhöhen, die Grundproblematik jedoch nicht lösen.

Literatur

Dany, C. (2012): Energiewende braucht Pflanzenpower. In: BIOGAS Journal / Sonderheft Energiepflanzen: 6-9.

DBFZ (Deutsches Biomasseforschungszentrum); TLL (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft) (2012): Monitoring zur Wirkung des EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Endbericht (EEG-Periode 2009-11). Leipzig, 114 S.

Raghu, S.; Anderson, R.; Daehler, C.; Davis, A.; Wiedenmann, R.; Simberloff, D. u. R. Mack (2006): Adding biofuels to the invasive species fire? Science 313: 1742.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 74–75 (2013)

Die optimierte Produktion von Biomasse zur energetischen Nutzung aus Miscanthus

Mario Rampérez-Carrasco*, Anna Saxler*, Marc Bläsing**, Michael Müller**, Ralf Pude*

* Forschungsbereich Nachwachsende Rohstoffe der Universität Bonn, Campus Klein-Altendorf 2, 53359 Rheinbach, **Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, D-52425 Jülich, E-Mail: m.ramperez@uni-bonn.de

Einleitung

Der Hybrid *Miscanthus x giganteus* hat sich im Anbau als Energiepflanze etabliert. Eine wichtige Aufgabe der Miscanthus-Forschung ist die Erhöhung der biologischen Diversität durch Selektion neuer Genotypen mit besseren Ertrags- und Qualitätseigenschaften. Die Erhöhung der genetischen Variabilität hat sowohl einen ökologischen Wert, fungiert aber auch als Risikobegrenzung der landwirtschaftlichen Produktion vor Schädlings- und Krankheitsbefall (Pude et al., 2004).

In Europa wird Miscanthus hauptsächlich zur Energiegewinnung genutzt (Lewandowski et al., 2000). Daher ist die Selektion solcher Genotypen anzustreben, die einen besonders hohen Energiegehalt und Ertrag pro ha aufweisen. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden dazu verschiedene Miscanthus Genotypen hinsichtlich dieser Paramater analysiert und gegenüber gestellt. Das Projekt „Science to Business Center Agrohort“ der Universität Bonn -hier das Teilprojekt AgroHort energy - wurde durch die Europäische Union durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung gefördert.

Material und Methoden

Am Campus Klein-Altendorf (Rheinbach) wurde im Jahr 2008 ein mehrjähriger Feldversuch mit 19 verschiedenen Miscanthus-Herkünften/Sorten und einer Switchgrass Sorte angelegt. Darunter befinden sich 13 verschiedene Herkünfte von *Miscanthus sinensis*, vier Genotypen der Mehrklonsorte Miscanthus ‘Amuri’ und je ein Genotyp der Hybridsorte Miscanthus ‘Nagara’ und *Miscanthus x giganteus*. In Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Jülich wurden acht dieser Miscanthus-Genotypen hinsichtlich ihres Ertrags und der Brennwerte untersucht.

Die Entnahme der Triebe zur Brennwertanalyse erfolgte am 24. April 2012. Mit dem Bombenkalorimeter wurde der Brennwert gemäß DIN EN 14918 für jede Mischprobe in je dreifacher Wiederholung ermittelt. Zur Ertragsbestimmung wurden die in einer vierfachen Wiederholung angelegten Versuchsparzellen vollständig beerntet.

Ergebnisse und Diskussion

Erträge

Die Erträge von *Miscanthus x giganteus* und Miscanthus ‘Nagara’ befinden sich auf einem ähnlich hohen Niveau und sind mit ca. 22 t TM/ha signifikant höher als die der übrigen untersuchten Genotypen. Die *Miscanthus sinensis* Herkünfte haben mit ca. 10 t TM/ha die niedrigsten Erträge und liegen damit signifikant unter dem Ertragsniveau der Miscanthus ‘Amuri’ Genotypen mit Erträgen zwischen 15 und 18 t TM/ha.

Brennwert

Auch hinsichtlich des Brennwerts weisen *Miscanthus x giganteus* und Miscanthus ‘Nagara’ ähnlich hohe Werte auf. Mit ca. 19.000 J/g sind die Brennwerte signifikant höher als die der übrigen Genotypen. Die Brennwerte der beiden *Miscanthus sinensis* Herkünfte sowie der Miscanthus ‘Amuri’ Genotypen weisen keine signifikanten Unterschiede zueinander auf. Sie erreichen Werte zwischen 18.528 J/g bei Miscanthus ‘Amuri’ (14) und 18.727 J/g bei Miscanthus ‘Amuri’ (17). Die Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten gemessenen Brennwert der untersuchten Genotypen beläuft sich insgesamt auf lediglich 3,2%.

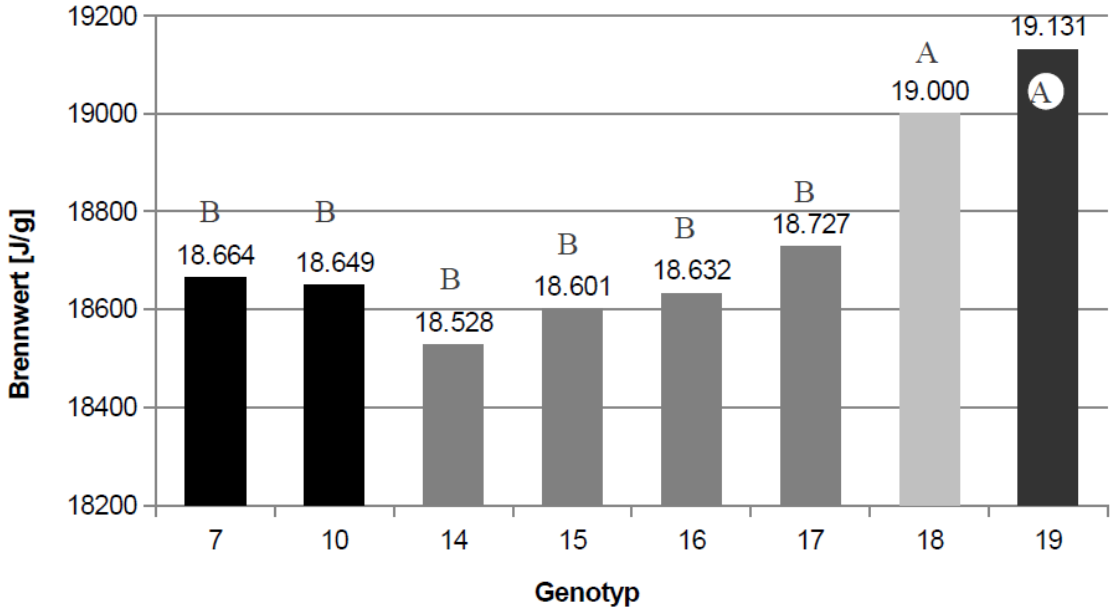


Abbildung 2: Brennwerte oberirdischer Aufwuchs (Probenahme: 24. April 2012) (7+10 *Miscanthus sinensis*, 14-17 Miscanthus ‘Amuri’, 18 Miscanthus ‘Nagara’, 19 *Miscanthus x giganteus*), a, b = Signifikanz nach Tukey ($p \leq 0,05$)

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass Miscanthus ‘Nagara’ hinsichtlich des Ertrags und des Brennwerts ähnlich gute Eigenschaften besitzt, wie der flächenmäßig hauptsächlich angebaute *Miscanthus x giganteus*. Aber auch andere Genotypen weisen durchaus konkurrenzfähige Charakteristika auf. So zeichnet sich Miscanthus ‘Amuri’ durch ein hohes Ertragspotential aus wohingegen *Miscanthus sinensis* eine recht hohe Qualität der Biomassezusammensetzung besitzt. Insgesamt stellen *Miscanthus x giganteus* und Miscanthus ‘Nagara’ gleichwertige Genotypen zur thermisch energetischen Verwertung dar, da diese die hierzu erforderlichen Eigenschaften vereinen.

Literatur

Lewandowski, I., Clifton-Brown, J. C., Scurlock, J. M. O., Huisman, W. (2000): Miscanthus: European experience with a novel energy crop. Biomass and Bioenergy 19: 209-227.

Pude, R., Treseler, C.-H., Noga, G. (2004): Morphological, Chemical and Technical Parameters of Miscanthus Genotypes, Journal of Applied Botany 78, 58-63, Universität Bonn.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 76–77 (2013)

Vergleich der Produktivität verschiedener Fruchtfolgen im ökologischen Landbau – Ergebnisse aus zwei Dauerversuchen

Regina Schneider, Eberhard Heiles, Georg Salzeder, Martin Schmidt und Peer Urbatzka

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising. E-Mail: *Regina.Schneider@lfl.bayern.de*

Einleitung

In Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus erfolgt die Stickstoff-Versorgung aller Fruchtfolgeglieder neben der organischen Düngung durch den Anbau von Leguminosen. Somit stellt sich die Frage wie sich unterschiedliche Leguminosenanteile, -arten und deren Nutzung auf die Produktivität der gesamten Fruchtfolge auswirken.

Material und Methoden

Seit 1998 wurden dazu an den Versuchsstandorten in Viehhausen (Lkr. Freising, Braunerde, sL, 61 Bodenpunkte, langjährige Mittel: 7,8 °C, 786 mm) sechs und in Puch (Lkr. Fürstenfeldbruck, Pseudogley-Parabraunerde, sL, 64 Bodenpunkte, langjährige Mittel: 8,0 °C, 820 mm) fünf verschiedene Fruchtfolgen angebaut. Es wurden je drei viehlose (Mulchen des Kleegrases bzw. Anbau einer Körnerleguminose) und drei bzw. zwei viehhaltende Betriebssysteme (Schnittnutzung des Kleegras und organische Düngung) simuliert. Zur Vergleichbarkeit der Produktivität der Fruchtfolgen wurden die Erträge nach Schulze Mönking et al. (2010) und BMELV (2011) in Getreideeinheiten umgerechnet. Hierbei wurden zwei verschiedene Fruchtfolgeerträge berechnet (mit und ohne Einberechnung der Futterleguminosen). Die Umrechnungsfaktoren sowie weitere Details sind in Schneider et al. (2012) veröffentlicht.

Tab. 1: Übersicht der Hauptfrüchte der sechs bzw. fünf Fruchtfolgen

	Frucht-folge FF1	**Frucht-folge FF2**	**Frucht-folge FF3[1)]**	**Frucht-folge FF4**	**Frucht-folge FF5**	**Frucht-folge FF6**
Betriebs-System	viehhaltend			viehlos		
Düngerart	Gülle	Gülle	Stallmist			
1. Jahr	Kleegras (Schnitt)	Kleegras (Schnitt)	Kleegras (Schnitt)	Kleegras (Mulch)	Kleegras (Mulch)	Körnerlegu-minose[2)]
2. Jahr	Kleegras (Schnitt)	Kartoffeln + 30/25[3)] m³ Gülle	Kartoffeln + 300 dt/ha	Kartoffeln	Winter-weizen	Winter-weizen
3. Jahr	Kartoffeln + 30/25[3)] m³ Gülle	Winterwei-zen + 20 m³ Gülle	Winter-weizen	Winter-weizen	Sommer-gerste	Sommer-gerste
4. Jahr	Winterwei-zen + 20 m³ Gülle					
5. Jahr	Winterrog-gen + 20 m³ Gülle					

[1)] Fruchtfolge FF3 nur in Viehhausen
[2)] je nach Standort und Jahr Futtererbse, Ackerbohne, Sojabohne
[3)] 1. Wert: Viehhausen, 2. Wert: Puch

Ergebnisse und Diskussion

Unter Einbezug aller Früchte in der Berechnung zeigte sich an beiden Standorten in den viehhaltenden Betriebssystemen eine signifikant höhere Produktivität im Vergleich zu den viehlosen Fruchtfolgen (Abb. 1 und 2). Dies lässt sich durch die Schnittnutzung des Kleegrases in diesen Varianten und der Rückführung der Nährstoffe als organischen Dünger begründen. Betrachtet man nur die Marktfrüchte ohne Einbezug der Futterleguminosen, erbrachten mit einer Ausnahme die Fruchtfolgen mit Kartoffeln eine signifikant höhere Produktivität im Vergleich zu den Fruchtfolgen mit Sommergerste (Abb. 1 und 2). Die Sommergerste konnte die Kartoffeln bezüglich Produktivität nicht ausgleichen.

Obwohl in Fruchtfolge FF6 (Körner- statt Futterleguminose) drei Marktfrüchte in die Bewertung eingingen, erreichte diese in Viehhausen nur eine vergleichbare und in Puch eine signifikant geringere Produktivität wie Fruchtfolge FF5 (Futterleguminose und zwei Marktfrüchte). Zurückzuführen ist dies wahrscheinlich auf die geringere Vorfruchtwirkung der Körnerleguminosen im Vergleich zu den Futterleguminosen.

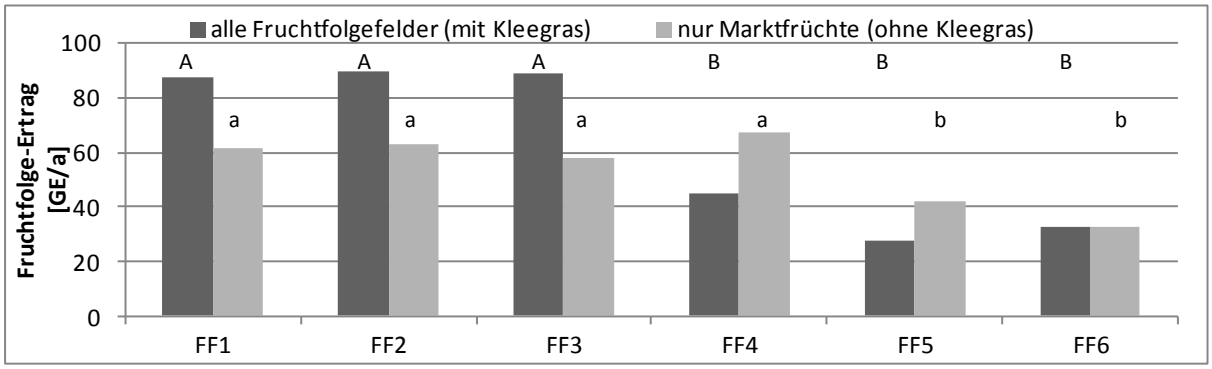


Abb. 1: Durchschnittliche Fruchtfolge-Erträge für Viehhausen in Getreideeinheiten (GE) pro Jahr in Abhängigkeit der Fruchtfolge (Jahre 2000-2010); verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede zwischen Fruchtfolgen (SNK-Test, $p < 0,05$)

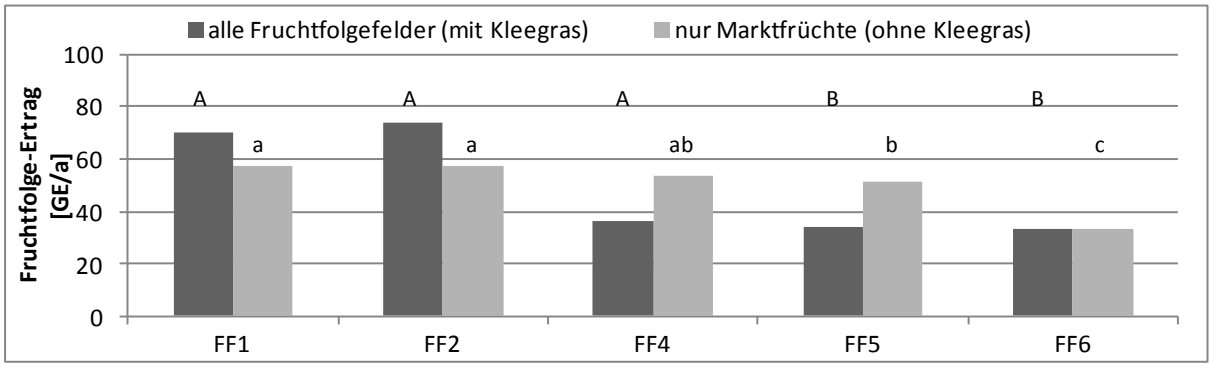


Abb. 2: Durchschnittliche Fruchtfolge-Erträge für Puch (Details s. Abb. 1)

Literatur

BMELV (2011): Getreideeinheitenschlüssel. http://berichte.bmelv-statistik.de/SJT-3120100-2010.pdf (Abruf 23.01.2012).

Schneider R., Heiles E., Salzeder G., Wiesinger K., Schmidt M., Urbatzka P. (2012): Auswirkungen unterschiedlicher Fruchtfolgen im ökologischen Landbau auf den Ertrag und die Produktivität. Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern, Schriftenreihe [der LfL] 4/2012: 87-93.

Schulze Mönking S., Klapp C. (2010): Überarbeitung des Getreide- und Vieheinheitenschlüssels. http://download.ble.de/06HS030.pdf (Abruf 23.08.2012).

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 78–79 (2013)

Anbau von Ölfrüchten im Mischfruchtanbau zur Deckung des Primärenergiebedarfs in einem ökologischen Praxisbetrieb

Siebrecht, N.[1], Reichenberger, G., Schmid, H. und Hülsbergen, K.-J.

[1] Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising E-Mail: *norman.siebrecht@tum.de*

Einleitung

In der Diskussion um die Produktion „Teller oder Tank“ könnte der Mischfruchtanbau einen möglichen Lösungsweg aufzeigen. Der Mischfruchtanbau versucht einen Spagat zwischen der Produktion von Nahrungsmitteln (z.B. Getreide) und Energie (z.B. Ölfrüchte). Nach Möglichkeit soll dies so geschehen, dass die produzierte Ölmenge ausreicht, um den Energiebedarf (Primärenergieverbrauch) für die Bewirtschaftungsmaßnahmen zu decken, ohne Einbußen im Ertrag des Getreides zu generieren. Im Rahmen einer Studienarbeit wurde untersucht, ob der Mischfruchtanbau (Ölfrüchte) geeignet ist, um den Primärenergiebedarf eines Praxisbetriebes zu decken (Reichenberger 2007). Hierzu wurden innerbetriebliche Stoff- und Energieflüsse erfasst, bewertet und der Primärenergiegewinn durch den Anbau von Ölsaaten bilanziert.

Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten auf dem Betrieb „Kramerbräu“ bei Pfaffenhofen, ca. 50 km nördlich von München. Der Betrieb umfasst ca. 220 ha Ackerland und 5 ha Grünland. Seit 1988/1989 wird dieser ökologisch bewirtschaftet (Naturland). Standörtlich liegt der Betrieb auf einer Höhe von rund 480 m N.N., weist eine mittlere Jahresniederschlagssumme von 833 mm bei einer mittleren Jahrestemperatur von 7,8 °C auf. Die Böden sind Lehme bis sandige Lehme und haben eine mittlere Bodenpunktzahl von 50 (30 - 70).

Die Analysen erfolgten mit dem Betriebs- und Umweltmanagementsystem REPRO (Hülsbergen2009). Ziel der Software ist die Analyse und Bewertung der Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Betriebe und Anbausysteme. Im ersten Bearbeitungsschritt wurden die Grunddaten des Betriebes erfasst und analysiert. Für die Analysen wurden Bewirtschaftungsdaten von 1999-2006 verwendet, wobei der Mischfrucht-anbau erst ab 2002 realisiert wurde. Die Berechnung des Primär-energie-gewinns und der Energieeffizienz erfolgte unter Berücksichtigung der realisierten Erträge, der daraus resultierten Energiebindung ((Erträge - Verluste) * Energie-gehalte) und den Energieinputs aller Prozessschritte (direkte Energie für Anbau, Transport, Lagerung, Reinigung, Pressen usw.). Zur leichteren Interpretation der Ergebnisse wurden alle energetischen Angaben in Literangaben Pflanzenöl umgerechnet (1 l = 39,2 MJ). Um abschätzen zu können, ob der Anbau der Mischfrüchte zu einer Ertragsabnahme im Gesamtbetrieb führt und damit eine Konkurrenzsituation Energie / Getreide entsteht, wurde in der Auswertung neben den Öl- auch die Gesamtenergiebindung (produzierte Mengen * Energieäquiv. * Umrechnung Pflanzenöl) berechnet (s. Tab. 1). Aufgrund der realisierten Erträge und den Ölausbeuten wurde die Energiebindung der Mischfrüchte ermittelt und zur Deckung des Primärenergieverbrauchs bilanziert.

Ergebnisse und Diskussion

Mit dem Anbau der Mischfrüchte stieg der Primärenergieverbrauch (Aufbereitung, Lagerung, Pressen usw.) zunächst an (ca. 25%) und konnte 2002 lediglich zu 71 % innerbetrieblich gedeckt werden. Im Verlauf der weiteren Anbaujahre konnte dieser Wert jedoch deutlich gesteigert werden, so dass im Durchschnitt (2002-2006) eine Deckung von 131 % erreicht wurde. Bezogen auf die Einheit Pflanzenöl bedeutet dies, dass der Betrieb im Mittel 41 Hektoliter Öl Überschuss produzierte.

Tab. 1: Betriebskennzahlen der Analysen und Auswertungen

	Jahr	Einheit	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Flächennutzung Anbaustruktur	Landw. Nutzfläche	ha	164	165	168	232	232	204	203	183
	Getreide	%	77	67	69	36	12	32		10
	Ölfrüchte	%					1	2	10	19
	Körnerleguminosen	%	8	12	7		6	11	10	
	Futterpflanzen	%	9	11	16	21	14	12	14	18
	Mischfrüchte	%				38	62	42	56	44
	Sonstiges	%	6	11	9	6	6	1	11	10
Ertragsstruktur	Getreide									
	Winterweizen	dt ha^{-1}	21	23	26	45				
	Winterroggen	dt ha^{-1}	32	35	33	46	29	46		44
	Mengenölfrüchte	dt ha^{-1}					18	20	12	18
	Mengenkörnerleguminosen	dt ha^{-1}					14	10	34	
	Getreide/Körnerlegum.	dt ha^{-1}					30	39	45	50
	Getreide/Ölfrucht	dt ha^{-1}				33	33	32	34	31
	Getreide/Ölfrucht/Legum.	dt ha^{-1}					23	62	46	
Energet. Kenn-zahlen Betrieb	Energiebindung Ges.Betrieb	GJ	6383	6481	6393	11799	9712	11337	11078	7085
	Energiebindung Ges. (Öl)	hl	1628	1653	1631	3010	2478	2892	2826	1807
	Energiebind. Mischfr. (Öl)	hl				89	215	146	232	186
	Primärenergieverbrauch	hl	109	104	108	125	158	145	137	101
	Differenz	hl	-109	-104	-108	-36	57	1	95	86
	Deckung Prim.energieverbr.	%	0	0	0	71	136	101	169	185
	Netto-Energiebindung (ÖL)	hl	1520	1549	1523	2974	2534	2893	2921	1893

Die realisierten Erträge (Energiebindung Gesamtbetrieb) nahmen von rund 6400 GJ (1999-2001) auf 10202 GJ (2002-2006) zu, was Pflanzen-ölmengen von 1600 bzw. 2600 hl (+160%) entspricht. Die gesamtbetriebliche Netto-Energiebindung konnte durch den Mischfruchtanbau somit ebenfalls gesteigert werden. Der Mischfruchtanbau ging also nicht mit einer Abnahme des Gesamtertrags (z.B. des Getreides) einher. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen werden die Energiebilanz um die indirekte Energie (vorgelagerter Bereich), und die Verwendung der Koppelprodukte (Presskuchen) ergänzt und eine vollständige Berechnung der Treibhausgasbilanz durchgeführt.

Literatur

Reichenberger, G. (2007): Detaillierte Erfassung, Darstellung und Bewertung der landwirtschaftlichen Flächennutzung des landwirtschaftlichen Betriebes „Kramerbräu“. Bachelorarbeit Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme. Weihenstephan, Freising.

Hülsbergen, K.-J. (2009): Ein Modell zur Analyse und Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebssysteme. In: Grimm, C., Hülsbergen, K. & Kuhn, H.. Schmidt, Berlin, 13 - 28.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 80–81 (2013)

Anbau der Saatwicke (*Vicia sativa* L.) im Gemenge mit Hafer – eine Alternative in der Körnerleguminosenproduktion?

Herwart Böhm[1]

[1] Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau.
E-Mail: *herwart.boehm@ti.bund.de*

Einleitung

Die Erträge bzw. die Ertragssicherheit von Ackerbohnen, Lupinen und Erbsen, insbesondere im Ökologischen Landbau sind nicht immer zufriedenstellend. Saatwicken weisen zu Ackerbohnen vergleichbare (DLG 1991) oder deutlich höhere Proteingehalte (Ott et al. 2005) auf; ebenso werden die Gehalte an Aminosäuren bzw. ihre Zusammensetzung positiv bewertet. Daher könnten Saatwicken eine Alternative im Körnerleguminosenanbau darstellen. Nachteilig sind allerdings die Gehalte an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, die eine Verfütterung an Monogastrier begrenzt. Sorten mit heller Samenschale könnten hier einen Fortschritt bringen. Die geringe Standfestigkeit der Saatwicken mit ihren blattreichen Sorten mit hoher Biomassebildung erlaubt jedoch nur einen Gemengeanbau mit einem Getreidepartner.

Material und Methoden

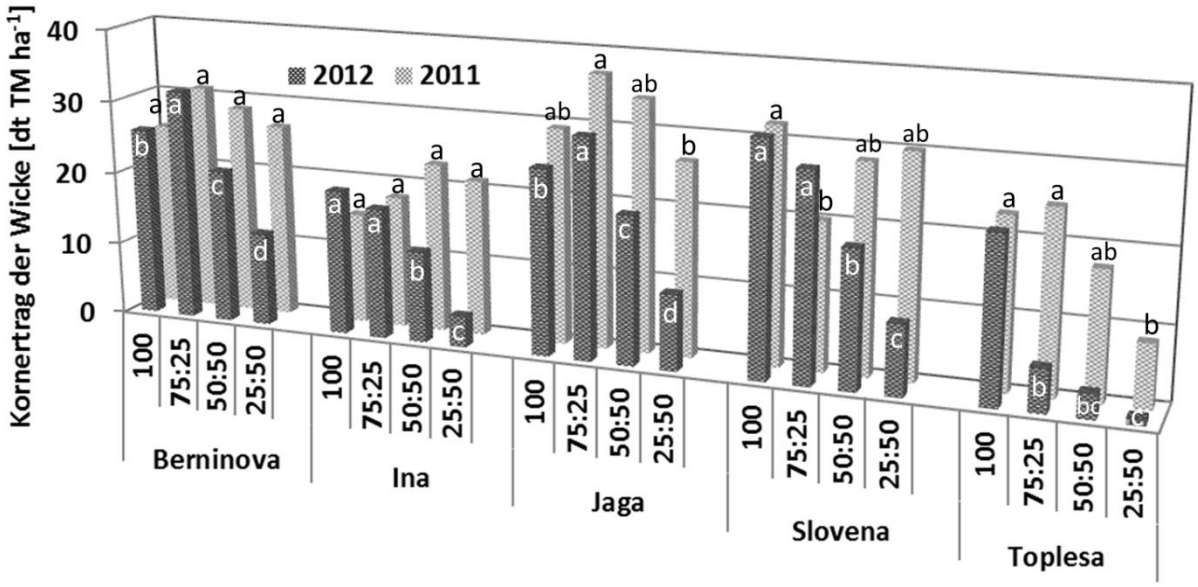
Am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau in Trenthorst (sandiger Lehm, pH 6,7, 706 mm ø Niederschlag, 8,8°C Jahresdurchschnittstemperatur) wurden daher in den Jahren 2011 und 2012 Feldversuche mit 4-facher Wiederholung als Bockanlage mit den Wickensorten Berninova (Saatzucht Hege (DE), Zulassung 1991), Toplesa, Slovena (jeweils Saatbau Linz (AU), 1994 bzw. 1995), Ina und Jaga (jeweils DANKO (PL), 1997) in Reinsaat (120 Kö m^{-2}) und im Gemenge mit Hafer (Sorte Galaxy, Reinsaat 350 Kö m^{-2}) angelegt. Die Gemenge wurden in drei unterschiedlichen Aussaatstärkenverhältnissen angebaut (bezogen auf die Aussaatstärke der jeweiligen Reinsaaten: 75% Wicke mit 25% Hafer; 50% Wicke mit 50% Hafer; 25% Wicke mit 75% Hafer). Zusätzlich wurden die Körnerleguminosen Blaue Lupine (Sorte Boruta, 130 Kö m^{-2}), Ackerbohne (Sorte Divine, 35 Kö m^{-2}) sowie Futtererbse (Sorte Respect, 70 Kö m^{-2}) in den Versuch integriert, um das mit den Wicken zu erzielende Ertragspotential vergleichen zu können. Die Aussaat erfolgte im Jahr 2011 am 30. März, im Jahr 2012 am 27. März in Parzellen mit einer Größe von 41,25 m². Die Druschernte wurde in beiden Jahren Anfang September durchgeführt. Zuvor erfolgte eine Handbeerntung (1m²) zur Erfassung des Korn- und Strohertrages sowie weiterer pflanzenbaulicher Parameter.

Ergebnisse und Diskussion

Die Handbeerntungen der Reinsaaten zeigten für die Wicken ein vergleichbares, in den meisten Fällen sogar höheres Ertragspotential als für Erbse, Ackerbohne oder Lupine. Bei der Handbeeerntung der Wicken-Reinsaaten wiesen die Sorten Ina und Toplesa geringere Erträge auf als die Sorten Jaga, Slovena und Berninova (nicht dargestellt). Dies wurde auch bei der Verrechnung der 2-jährigen Ergebnisse für den Wickenertrag in den verschiedenen Gemengeanbauvarianten bestätigt. Allerdings bestand eine signifikante 3-fach Wechselwirkung von Sorte, Saatstärkenverhältnis und Jahr, was vor allem an der unterschiedlichen Reaktion der Wickenerträge in den unterschiedlichen Aussaatstärkenverhältnissen in beiden Jahren zurückzuführen war

(Abb. 1). Hierbei wird deutlich, dass im Anbaujahr 2011 die Wickenerträge in Abhängigkeit der Aussaatstärkenverhältnisse weniger stark differenzierten als in 2012, wo der Wickenertrag im Gemenge mit abnehmender Aussaatstärke der Wicke im Gemenge deutlich abnahm. Zwar waren die Reinsaaterträge der Wicken ansprechend hoch, dennoch kommt ein Anbau der Wicken in Reinsaat für die Praxis nicht in Frage, da diese Bestände aufgrund der hohen Biomasseentwicklung zur Ernte so stark zusammenfallen, dass ein Dreschen kaum noch möglich ist. Gut dreschbar waren in der Regel die Gemenge mit 25 bzw. 50% der Wicken-Reinsaatstärke.

Abb. 1: Kornerträge der Wicken [dt TM ha^{-1}] in Abhängigkeit der geprüften Wickensorten in Reinsaat und in den Gemengevarianten mit Hafer



Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Aussaatstärkenverhältnissen für die jeweilige Sorte in dem jeweiligen Jahr (Tukey, p>0,05); 100 = Reinsaat Wicke, 75:25 = 75% bzw. 25% der jeweiligen Reinsaat-Aussaatstärke der Wicke bzw. des Hafers, usw.

Die statistische Auswertung der Gesamterträge (Summe der Wicken- und Hafererträge) wies signifikante Unterschiede für die Hauptfaktoren Sorte und Aussaatstärkenverhältnis auf. Die Gesamterträge der Varianten mit den Wickensorten Ina bzw. Toplesa (36,2 bzw. 33,5 dt ha^{-1}) waren signifikant niedriger als die Gesamterträge mit den Wickensorten Jaga, Slovena und Berninova (44,5 bzw. 43,7 bzw. 42,5 dt ha^{-1}). Von den verschiedenen Aussaatstärkenverhältnissen zeigten sich die Reinsaaten mit 25,0 dt ha^{-1} als ertragsschwächsten, die Varianten mit jeweils 50% der Reinsaatstärken beider Gemengepartner bzw. mit 25% der Reinsaatstärke der Wicke und 75% der Reinsaatstärke des Hafers als ertragsstärksten (47,3 bzw. 46,3 dt ha^{-1}).

Literatur

DLG (1991): DLG-Futterwerttabellen – Schweine. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

Ott E., Friedel K., Gabel M. (2005): Untersuchungen zum Futterwert von Wicken (*Vicia sativa*). 117. VDLUFA-Kongreß, Bonn, 40

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 82–83 (2013)

Einfluss der Biofumigation auf den Ertrag und agronomische Eigenschaften von Ackerbohnen und Erbsen

Jacob, I.[1], Salzeder, G.[1], Aigner, A.[1] und Urbatzka, P.[1]

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Lange Point 12, 85354 Freising,
E-Mail: *Irene.Jacob@LfL.Bayern.de*

Einleitung

Als phytosanitäre Maßnahme gegen die „Leguminosenmüdigkeit“ könnte die Biofumigation im ökologischen Landbau eine wichtige Rolle einnehmen. Durch die Zerkleinerung und Einarbeitung blühender Kruziferen sollen aus den Glucosinolaten dieser Pflanzen auf bodenbürtige Pathogene hemmend wirkende Stoffe (Isothiocyanate) gebildet werden und zu einer Minderung des Befalls der Kulturpflanzen mit Nematoden und bodenbürtigen Pilzen beitragen.

In der vorliegenden Untersuchung wurde in Feldversuchen in drei Jahren unter ökologischen und konventionellen Anbaubedingungen der Einfluss der Biofumigationswirkung verschiedener vorlaufender Zwischenfruchtvarianten auf den Kornertrag, den Rohproteinertrag und die agronomischen Eigenschaften von mehreren Ackerbohnen- (*Vicia faba* L.) und Futtererbsensorten (*Pisum sativum* L.) untersucht.

Material und Methoden

Die Versuche wurden teilweise nach Vorfrucht Erbse bzw. Ackerbohne sowie auf für das Auftreten von Fußkrankheiten bekannten Schlägen angelegt. Im Vorjahr wurden nach der Ernte der Vorfrucht im Zeitraum Ende Juli bis Mitte August die Zwischenfrüchte ausgedrillt. Der Umbruch erfolgte nach dem Blühbeginn und somit zum Zeitpunkt des höchsten Gehaltes an Glucosinolaten im Senf zwischen Ende September und Mitte Oktober. Dazu wurden die Bestände gemulcht, die Pflanzenrückstände 10 bis 15 cm tief eingefräst und anschließend ca. 30 cm tief eingepflügt. Die Hauptfrucht Erbse bzw. Ackerbohne wurde zwischen dem 23. März und 8. April ausgesät.

Im Verlauf der Vegetationsperiode wurden die Bestände ortsüblich optimal geführt. Agronomische Eigenschaften wurden durch regelmäßige Bonituren nach den Richtlinien des Bundessortenamtes (2000) erfasst.

Die Feldversuche wurden als zweifaktorielle Spaltanlagen mit drei bzw. vier Wiederholungen angelegt. Die Auswertung der Ertragsdaten erfolgte mit dem Programm SAS mittels des Student-Newman-Keuls-Tests.

Ergebnisse und Diskussion

Wie in Abbildung 1 und 2 ersichtlich ist, wurde in einem von drei bzw. zwei Jahren im Versuch auf konventionell bewirtschafteten Flächen ein statistisch abgesicherter Mehrertrag bei Erbsen bzw. Ackerbohnen nach der Sommerzwischenfrucht Sareptasenf im Vergleich zur Variante ohne Zwischenfrucht festgestellt. Auch traten Wechselwirkungen zwischen Zwischenfruchtvariante und Erbsensorte auf.

Ebenso wurde in 2012 für den ökologisch geführten Versuch bei der Ackerbohne ein signifikanter Einfluss der als Sommerzwischenfrucht angebauten Fruchtart beobachtet (Abbildung 2). Hier brachten die Ackerbohnen nach der Vorfrucht Sareptasenf im Vergleich zur Vorfrucht Phazelie einen signifikant höheren Ertrag. Bei

den Futtererbsen zeigt sich dieser Einfluss nur tendenziell (Abbildung 1). Der Effekt der Biofumigation auf den Kornertrag trat beim Öko-Versuch nach Vorfrucht Erbse bzw. Ackerbohne, im konventionellen nach Vorfrucht Sommergerste auf.
Im Vergleich zu den beiden anderen Jahren zeichnet sich das Versuchsjahr 2012 mit der längsten Vegetationszeit der Zwischenfrucht Senf im Herbst und der im Frühjahr um 9 bis 14 Tage früheren Aussaat der Hauptfrüchte aus.
Ferner könnte der Ertragseffekt im konventionellen Versuch 2012 auch auf die generelle Wirkung einer Zwischenfrucht zurückzuführen sein.

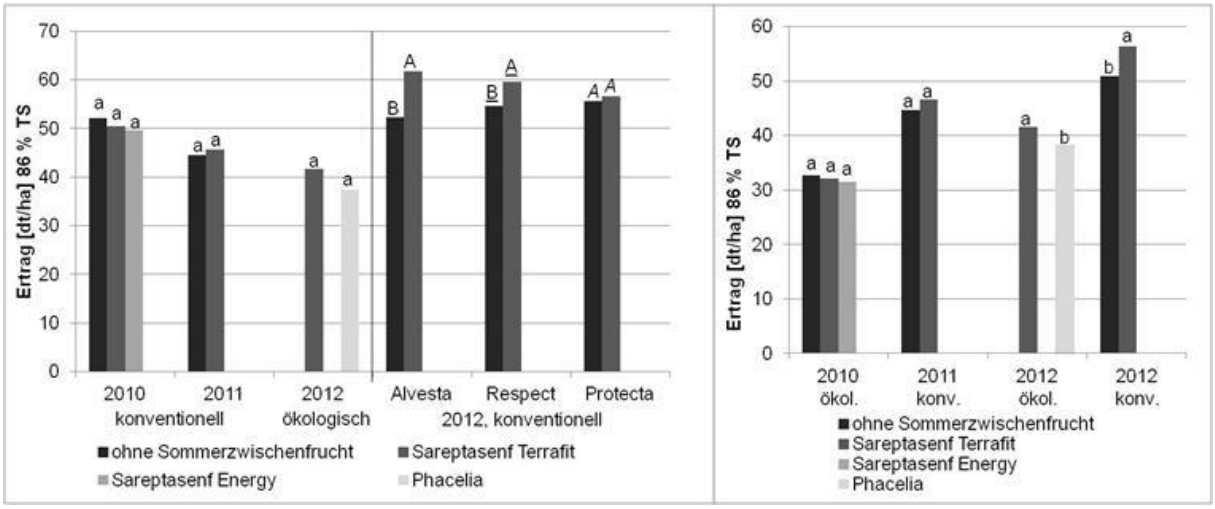


Abbildung 1 und 2: Kornertrag von Erbsen (links) und Ackerbohnen (rechts) in Abhängigkeit von Zwischenfrucht und Jahr. SNK, $p < 0,05$, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede.

In Bezug auf die agronomischen Eigenschaften wurden in keinem Versuch wesentliche Veränderungen durch die Biofumigation festgestellt (Tabelle 1, Ergebnisse für Ackerbohnen nicht dargestellt).

Tabelle 1: Ausgewählte agronomische Eigenschaften bei Futtererbsen.

Jahr und Bewirtschaftung		Zwischenfrucht	Fußkrankheiten [1-9]	Lager vor Ernte [1-9]	TKG [g]	Rohprotein in TM [%]
2010	konv.	ohne Zwfr.	.	5,6	225,4	25,6
		Senf Energy	.	5,3	222,8	25,6
		Senf Terrafit	.	5,8	222,5	25,8
2011	konv.	ohne Zwfr.	1,3	4,8	232,4	22,1
		Senf Terrafit	1,2	4,4	229,8	21,3
2012	ökol.	Phacelia	2,9	3,2	.	18,9
		Senf Terrafit	2,6	3,7	.	19,0
	konv.	ohne Zwfr.	.	5,3	264,9	24,4
		Senf Terrafit	.	5,2	258,6	24,6

Eine verbesserte Wirkung der Biofumigation könnte möglicherweise durch weitere ackerbauliche Maßnahmen, wie beispielsweise leichtes Walzen, durch die die Verweildauer der Isothiocyanate im Boden erhöht wird, erzielt werden (Hallmann et al. 2009).

Literatur

Bundessortenamt (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen.

Hallmann, J., Buck, H., Rau, F., Daub, M., Schütze, W., Grosch, R. und Schlathölter, M. (2009): Chancen und Grenzen der Biofumigation für die Bekämpfung pflanzenparasitärer Nematoden. Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, ETH Zürich, 11.-13. Februar 2009, Band 1, 366-369.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 84–85 (2013)

Biofumigation im ökologischen Kartoffelanbau

Sebastian Grabendorfer[1]

[1] Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme der Technischen Universität München, Freising-Weihenstephan. E-Mail: sebastian.grabendorfer@tum.de

Einleitung

In der landwirtschaftlichen Praxis und Beratung wird zunehmend die Methode der Biofumigation diskutiert, u.a. auch im ökologischen Kartoffelanbau. Durch Zerkleinern und Einarbeiten glucosinolatreicher *Brassicaceen* wird hierbei versucht, die Bildung antiphytopathogen wirksamer Isothiocyanate anzuregen (vgl. Kirkegaard und Sarwar, 1998). In der Literatur sind bisher kaum Ergebnisse bezüglich der Anwendbarkeit und Wirksamkeit der Biofumigation im ökologischen Kartoffelanbau bekannt. Mit Hilfe von Feldversuchen werden in einem dreijährigen Forschungsprojekt die ertragsphysiologischen und phytosanitären Wirkungen untersucht. Im Folgenden werden erste einjährige Ergebnisse hinsichtlich Knollenerträge, Blattbefall mit *Phytophthora infestans* sowie Knollenbefall mit *Rhizoctonia solani* dargestellt.

Material und Methoden

Zur Untersuchung wurde eine dreifaktorielle Spaltanlage mit dem Faktor Zwischenfrucht (Ölrettich, Sareptasenf, Winterrübse, Winterwicke) in Kleinteilstücken angelegt. Versuchsstandort war eine langjährig ökologisch bewirtschaftete Fläche (humoser sandiger Lehm, Ackerzahl 40, Vorfrucht Winterroggen) eines Kartoffelbaubetriebs in Nachbarschaft der Versuchsstation Roggenstein (mittlere Jahrestemperatur 8,5°C, mittlerer Jahresniederschlag 930 mm), 25 km nordwestlich von München. Die im August 2011 angesäten Zwischenfrüchte wurden Anfang Oktober 2011 mit einem Mulchgerät zerkleinert und umgehend mit einer Fräse in den Boden eingearbeitet. Nach einer Pflanzbettbereitung wurden Ende April 2012 die Kartoffeln der Sorte Ditta gepflanzt. In der Folge wurde der Befall mit *Phytophthora infestans* (AUDPC), der Knollenertrag 65, 75 und 85 Tage nach dem Legen und nach der Abreife, sowie der Knollenbefall mit *Rhizoctonia solani* (Index als gemittelter Sklerotienbesatz) erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

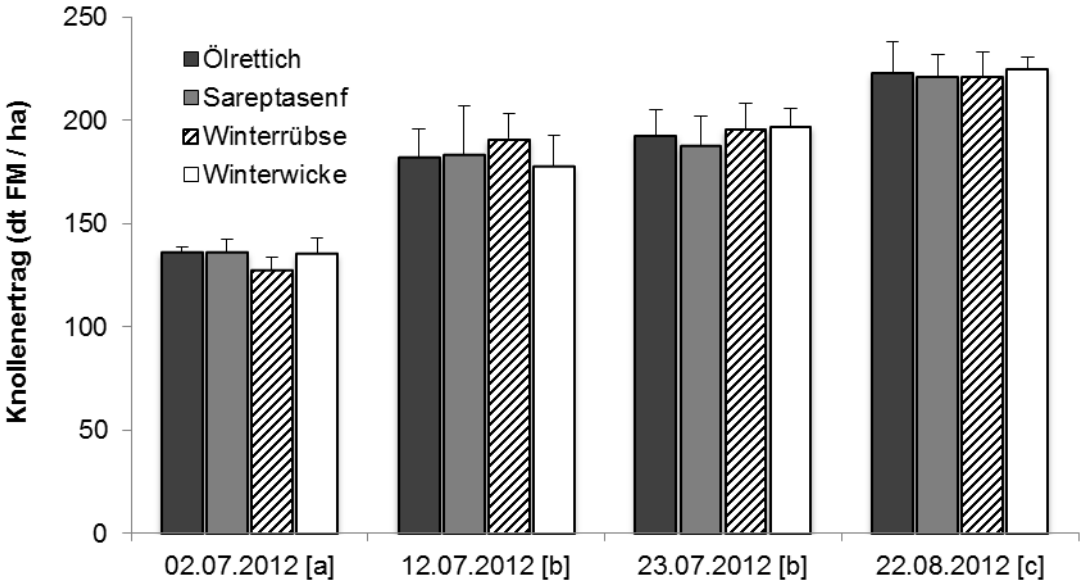
Abbildung 1 zeigt die zeitliche Entwicklung der Knollenerträge. Zu keinem Zeitpunkt unterschieden sich die Knollenerträge signifikant in Abhängigkeit von der Zwischenfrucht. Die Erträge stiegen im Zeitverlauf an, unterschieden sich aber zwischen 12.07.2012 und 23.07.2012 nicht signifikant voneinander. Im Mittel aller Varianten wurde bei der Ernte nach der Abreife ein Ertragsniveau von 223 dt FM / ha ermittelt.

Tab. 5: Knollenerträge nach Abreife, *Phytophthora* und *Rhizoctonia* Befall

	Knollenertrag (dt FM / ha)	**Phytophthora Befall** (AUDPC)	**Rhizoctonia Befall** (Index)
Ölrettich	223 ± 14,6	2313 ± 72,2	3,72 ± 0,935
Sareptasenf	221 ± 10,8	2307 ± 71,1	2,54 ± 0,417
Winterrübse	221 ± 11,8	2295 ± 75,8	1,77 ± 0,264
Winterwicke	225 ± 5,12	2311 ± 24,4	2,22 ± 0,310

Erläuterungen: Mittelwert ± Standardfehler; Faktor Zwischenfrucht: nicht signifikant
AUDPC: area under the disease progress curve

Die phytosanitären Wirkungen der Zwischenfrüchte bzw. der Biofumigation sind Tabelle 1 zu entnehmen. Sowohl der Blattbefall mit *Phytophthora infestans*, als auch der Knollenbefall mit *Rhizoctonia solani*, wurde nicht signifikant von der Zwischenfrucht beeinflusst.



Erläuterungen: Faktor Zwischenfrucht: nicht signifikant; Fehlerindikator: Standardfehler
Faktor Zeitpunkt: Tukey-Test ($p < 0,05$); [abc] signifikante Unterschiede

Abb. 3: Entwicklung Knollenerträge nach Zwischenfrüchten

Die einjährigen Ergebnisse zeigen keinen signifikanten Einfluss der Biofumigation bzw. der Zwischenfrucht auf den Knollenertrag, den Blattbefall mit *Phytophthora* oder den Knollenbefall mit *Rhizoctonia*. Zu beachten ist jedoch das relativ geringe Ertragsniveau in Folge eines starken *Phytophthora* Auftretens am Versuchsstandort, begünstigt durch den bewussten Verzicht der Anwendung von Kupferpräparaten. Möglicherweise wurden Wirkungen der Biofumigation bzw. der Zwischenfrüchte dadurch überlagert und konnten nicht beobachtet werden. Allerdings erscheint auch bei anderen ackerbaulichen Kulturen eine wirksame und praxistaugliche Anwendung der Biofumigation unter mitteleuropäischen Bedingungen gegenwärtig noch nicht gegeben zu sein (vgl. JKI, 2010). Zur weiteren Überprüfung der Biofumigation im ökologischen Kartoffelanbau wird der vorgestellte Versuchsansatz weitergeführt und um zusätzliche *Brassicaceen* ergänzt.

Danksagung

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft. (FKZ 09OE114).

Literatur

JKI (Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen) (Hrsg.) 2010: Biofumigation als Pflanzenschutzverfahren: Chancen und Grenzen. Beiträge des Fachgespräches vom 5. Mai 2010 in Bonn-Roleber. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 155. Julius Kühn-Institut. Braunschweig.

Kirkegaard, J.A., Sarwar, M. (1998): Biofumigation potential of brassicas. I. Variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown brassicas. Plant and Soil 201. S. 71-89.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 86–87 (2013)

Ableitung von Vegetationsindizes zur Beschreibung von Bestandesparametern bei Zuckerrüben

Jorita Krieger[1], Michael Baumecker[1], Bärbel Kroschewski[1], Frank Chmielewski[1] und Frank Ellmer[1]

[1] Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Berlin.
E-Mail: *Jorita.Krieger@agrar.hu-berlin.de*

Einleitung

Die nicht-destruktive Erfassung von Bestandesparametern ermöglicht die vegetationsbegleitende Beschreibung von Wachstums- und Entwicklungsvorgängen. Bei Zuckerrüben ist u.a. die Förderung der Jugendentwicklung eine Maßnahme zur Erhöhung der Ertragsfähigkeit dieser Kulturpflanze (Röver, 1995). Zudem ist für die Kampagnenplanung der Zuckerfabriken eine frühzeitige Abschätzung des Ertrages ohne kostenintensive Proberodungen vorteilhaft. Mit spektrometrischen Messungen kann z.B. der Einfluss von agrotechnischen Maßnahmen bewertet werden. Die Verarbeitung der Spektralwerte erfolgt über Vegetationsindizes, von denen auf den häufig verwendeten Fernerkundungsindex NDVI nachfolgend näher eingegangen wird.

Material und Methoden

In Feldversuchen mit Zuckerrüben wurden in den Jahren 2008 – 2012 von Mai bis Oktober wöchentlich Messungen durchgeführt. Zielstellung war die Kalibrierung eines Handspektrometers (tec5 HandySpec Field) für verschiedene Bestandesparameter, wie z.B. für den Blattflächenindex (BFI) und den Blattertrag. Die Feldversuche wurden als randomisierte Block- bzw. Spaltanlagen angelegt mit den Prüffaktoren Sorte, N-Düngung, Blattdüngung (Berlin-Dahlem, lehmiger Sand, 2008 – 2010) bzw. Erntetermin, Sorte, N-Düngung (Thyrow, schwach schluffiger Sand, 2011 – 2012). Zur Berechnung des NDVI (= NIR – RED) / (NIR + RED) wurde die mittlere Reflexion im Bereich von 580 – 680 nm (= RED) sowie 730 – 950 nm (= NIR) verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Der NDVI zeigte in Berlin-Dahlem im Jahr 2009 eine gute Übereinstimmung mit dem BFI (2009, r^2 = 0,77), was sich ebenfalls auf dem Standort Thyrow in den Jahren 2011 und 2012 bestätigte (Abb. 1).

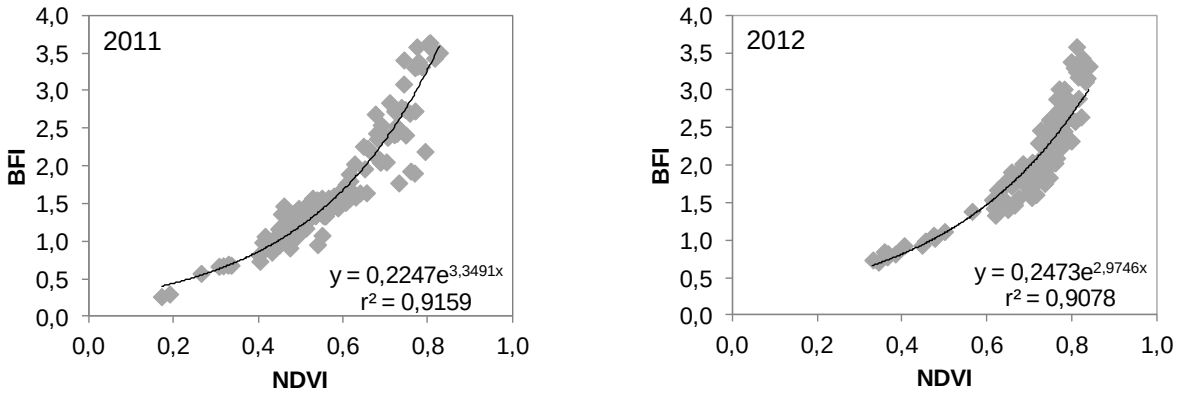


Abb. 1: Zusammenhang zwischen NDVI und BFI bei Zuckerrüben in Abhängigkeit vom Jahr; Standort Thyrow

In allen drei Jahren wurde der für eine effektive Lichtausnutzung optimale BFI von 3,5 bis 4 (Röver, 1995) nicht überschritten. Hoffmann & Blomberg (2004) wiesen in Feldversuchen mit Zuckerrüben nach, dass der NDVI bei geschlossenen Beständen (BFI > 4) die Variation des BFI schlechter abbildet. Dieser Effekt konnte nicht festgestellt werden, da in Abhängigkeit des Standortes aufgrund von einsetzender Seneszenz der Bestandesschluss i.d.R. ab Mitte August nicht aufrechterhalten wurde. Dementsprechend scheint der NDVI für moderat entwickelte Bestände ein geeigneter Index zu sein, um den BFI von Zuckerrüben abzubilden.

Darüber hinaus wurde geprüft, ob der NDVI zur Abschätzung von Ertrags- und Qualitätsparametern der Zuckerrübe geeignet ist. Erste Ergebnisse aus dem Jahr 2009 auf dem Standort Berlin-Dahlem zeigten, dass mit zunehmender Vegetationszeit der Zusammenhang zwischen NDVI und dem im Oktober gebildeten Rübenertrag anstieg, mit maximalen r^2-Werten zwischen 0,75 und 0,77 im August. Ein ähnliches Ergebnis zeigte sich bei den Parametern Zucker- und Bereinigter Zuckerertrag. Zudem bestand im Juni während der frühen Blattentwicklung ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Amino-N-Gehalt und dem NDVI. Der Zuckergehalt hingegen wies keine Beziehung zum NDVI auf.

Auf dem leichten Standort Thyrow wurden in den Jahren 2011 und 2012 zu vier Terminen der Blatt- und der Rübenertrag destruktiv ermittelt und mit den jeweils zeitnah erfassten Spektralwerten in Form des NDVI in Beziehung gesetzt (Tab. 2).

Tab. 2: Zusammenhang zwischen NDVI und destruktiv erhobenen Ertragsparametern bei Zuckerrüben in Abhängigkeit vom Jahr; Standort Thyrow

Jahr:	2011 (Formel: $y = ax^b$)			2012 (Formel: $y = ax^b$)		
Merkmal	r^2	a	b	r^2	a	b
Gesamt-FM-Ertrag	0,59	182,09	2,78	0,88	211,46	3,50
Gesamt-TM-Ertrag	0,56	40,54	3,32	0,81	46,75	4,18
Blatt-FM-Ertrag	0,89	51,09	2,30	0,98	51,09	2,40
Blatt-TM-Ertrag	0,76	10,57	2,77	0,94	9,06	2,93
Rüben-FM-Ertrag	0,53	183,21	4,11	0,81	187,95	4,92
Rüben-TM-Ertrag	0,52	38,70	4,42	0,79	44,30	5,39

Legende: FM Frischmasse, TM Trockenmasse

Zwischen NDVI und Blattertrag (FM und TM) wurde in beiden Jahren mit r^2-Werten zwischen 0,76 und 0,98 ein hoher Zusammenhang gefunden. Ebenfalls beim Rübenertrag deuten die insbesondere im Jahr 2012 vergleichsweise hohen r^2-Werte auf eine mögliche Eignung des NDVI zur Ertragsprognose hin. In beiden Jahren wurde im August eine hohe Übereinstimmung (2011: $r^2 > 0,85$; 2012: $r^2 > 0,70$) zwischen der NDVI-Messung und den zeitnah erhobenen Ertragsparametern gefunden. Bereits im Juni konnte der Ertrag des Monats August gut mit dem NDVI abgebildet werden ($r^2 > 0,60$), während bei der Endernte im Oktober nur beim Rübenertrag ein r^2 über 0,66 erreicht wurde. Zucker- und Bereinigter Zuckerertrag wiesen eine geringere Beziehung zum NDVI auf ($r^2 \sim 0,50$). Die Versuche werden im Jahr 2013 weitergeführt, um die gewonnenen Ergebnisse zu überprüfen.

Literatur

Hoffmann, C. A.; Blomberg, M. (2004): Estimation of Leaf Area Index of *Beta vulgaris* L. Based on Optical Remote Sensing Data. Journal of Agronomy and Crop Science 190:197-204

Röver, A. (1995): Ertragsbildung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von Blattfläche und intraspezifischer Konkurrenz. Dissertation, Universität Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 88–89 (2013)

Phosphatlöslichkeiten und Phosphatdüngewirkung von Stoffen aus der Klärschlammaufbereitung – Betrachtung unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren

Maximilian Severin[1], Christian Ahl[1], Martin Kücke[2], Jörg-Michael Greef[2]

[1] Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften, Abteilung Agrarpedologie, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen
[2] Julius-Kühn-Institut Braunschweig, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Einleitung

Die weltweiten geogenen Phosphatvorkommen werden nach neuesten Berechnungen in 115 - 122 Jahren erschöpft sein. Eine Möglichkeit der dauerhaften P-Versorgung stellt das P-Recycling aus Klärschlamm dar. Aufgrund der geringen P-Gehalte, der Schadstoffgehalte und hoher Pathogenbelastungen muss die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm kritisch gesehen werden. Deshalb wurden verschiedene Verfahren zur Klärschlammaufbereitung entwickelt, mit dem Ziel, die P-Konzentration zu erhöhen, schädliche Belastungen vollständig zu eliminieren und mineralische P-Düngemittel herzustellen.

Material und Methoden

In einem Zeitraum von 20 Wochen wurden zwei nicht aufbereitete Klärschlammaschen (Monoverbrennung, Mitverbrennung) und vier Aufbereitungsprodukte aus Klärschlamm (Seaborne, mit Schwefelsäure aufgeschlossene Klärschlammasche, Mephrec und AshDec) miteinander im Gefäß- und Laborversuch verglichen.

Es wurden wasserlösliches Phosphat (EU Methode 3.1.6), wasser- und neutralammoncitratlösliches Phosphat (VDLUFA Methode 4.1.4) und mineralsäurelösliches Phosphat (VDLUFA Methode 5.1.1.1) bestimmt.

Zur Versuchsdurchführung wurde ein Bodentorfgemisch mit einem CAL-P-Gehalt von 6 mg P/100 g Boden genutzt. Von diesem Gemisch wurden 1500 g in Töpfe mit 16 cm Durchmesser gefüllt. Jeder Topf wurde mit 100 mg Gesamt-P in Form der oben genannten Düngemittel gedüngt. Der Versuch wurde mit vier randomisierten Wiederholungen angelegt.

Zusätzlich wurden eine Variante ohne jede P-Düngung (P-Nulldüngung) und eine mit Tricalciumphosphat (TriCaP, $Ca_3O_8P_2$) angelegt.

In jedem Topf wurden 70 Samen Welsches Weidelgras ausgesät. Im Versuchszeitraum wurden 3 Schnitte durchgeführt. Nach den Schnitten wurden die Pflanzen jeweils mit einer P-freien Stickstofflösung gedüngt (insgesamt 954 mg N Gefäß$^{-1}$).

Ergebnisse und Diskussion

Nach BMELV (2011) wird für P-Düngemittel eine Wasser oder Neutralammoncitratlöslichkeit gefordert, die sehr nah am P-Gesamtgehalt des Düngemittels liegt, da ansonsten kein nennenswerter Düngungseffekt zu erwarten ist. Ein Großteil des gedüngten Phosphats bliebe im Boden gebunden und wäre nur sehr langsam und langfristig pflanzenverfügbar. Eine hohe Wasserlöslichkeit stellt eine höhere sofortige Düngungseffizienz dar als eine hohe Wasser + Neutralammoncitratlöslichkeit.

Ein Vergleich der P-Entzüge kann als agronomische Effizienz der P-Aufnahme (Vergleichsdünger/Nullvariante*100) dargestellt werden (Tab. 1). Hierbei zeigt sich, dass alle untersuchten Produkte zu einer verbesserten P-Aufnahme gegenüber der Nullvariante und der Tricalciumphosphatkontrolle führen. Es kann festgehalten werden, dass die Wasser und Neutralammoncitratlöslichkeit bei vielen Produkten die Effizienz der P-Aufnahme widerspiegelt.

Tabelle 1: Relative agronomische Effizienz der P-Aufnahme aller Varianten gegenüber der P-Nullvariante, WNA = Wasser und Neutralammoncitrat, MS = Mineralsäure

Düngevariante	Effizienz der P-Aufnahme [%]	WNA (% von MS)
P-0-Variante	100	-
Monoverbrennung	121	34
Mitverbrennung	114	62
Seaborne	151	95
A KSA	123	90
Mephrec	114	23
AshDec	132	85
Kontrolle	105	-

Die Ergebnisse der in dem Gefäßversuch mit Weidelgras ermittelten P-Aufnahme zeigen, dass die P-Verfügbarkeit der Varianten Seaborne und AshDec im Vergleich zu den anderen Produkten höher sind. Für das AshDec Produkt konnten ähnliche Ergebnisse wie von Schick (2010) nachgewiesen werden. Perez (2009) konnte für das Seaborne Produkt keine eindeutig verbesserte P-Aufnahme gegenüber einer mineralischen Kontrolle nachweisen. Auch dies deutet auf einen optimierten Herstellungsprozess bei dem hier untersuchten Seaborneprodukt hin. Gegenüber Perez (2011) konnte Simons (2008) für ein Magnesiumammoniumphosphat mit ähnlichem Herstellungsprozess wie das in dieser Arbeit genutzte Seaborne Produkt eine höhere P-Aufnahme gegenüber einer TSP-Kontrollvariante nachweisen.

Die Wasser + Neutralammoncitratlöslichkeit (Fresenius-Neubauer) entspricht bei drei getesteten Klärschlammaschen (Seaborne, A KSA und AshDec) mit über 80 % Löslichkeit (von P_{gesamt}) der eines Superphosphats. Bei der Wasserslöslichkeit hat nur das Produkt mit dem Schwefelsäureaufschluss (A KSA) eine Löslichkeit von 90 % erreicht, was der Löslichkeit von Triplesuperphosphat entspricht. Die Wasserlöslichkeit der anderen Produkte liegt zum Großteil unter 1 % vom P-Gesamtgehalt. Zukünftig muss noch intensiver an einer verbesserten Wasserlöslichkeit der Produkte gearbeitet werden, um den Vorgaben des wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen und der effizienten Pflanzenernährung gerecht zu werden (BMELV 2011). Vorstellbar ist eine Nachbehandlung der Produkte mit Schwefelsäure, um die Wasserlöslichkeit zu erhöhen.

Literatur

SCHICK, J. (2010): Untersuchung zu P-Düngewirkung und Schwermetallgehalten thermochemisch behandelter Klärschlammaschen, Dissertation Uni Braunschweig

PEREZ, R., STEINGROBE B., CLAASSEN, N. (2011): Phosphorrecycling – Charakterisierung der Düngewirkung recycelter Phosphatdünger im Gefäß- und Feldversuch, Wissenschaftlicher Abschlussbericht

SIMONS, J. (2008): Eignung nährstoffreicher Substrate aus zentraler und dezentraler Abwasserbehandlung als Düngemittel, Dissertation Uni Bonn

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 90–91 (2013)

Untersuchungen zu Strip-Till und der Gülle-/Gärsubstrat-Depotdüngung im Maisanbau auf einem Sand-Rostgley

Joachim Bischoff[1], Maurice Ullmann[2], und Olaf Christen[2]

[1] Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg; [2]Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Halle (Saale).
E-Mail: *joachim.bischoff@llfg.mlu.sachsen-anhalt.de*

Einleitung

Beim Gülle-Strip-Till-Verfahren wird die Streifenbearbeitung (Strip-Till) mit einer platzierten Gülle-/Gärsubstrat-Düngung in die Wurzelzone kombiniert. Die Streifenbearbeitung ist ein reduziertes Bodenbearbeitungsverfahren, bei dem eine tiefere Lockerung des Bodens nur in der Saatreihe erfolgt, während etwa zwei Drittel des Bodens unbearbeitet und mit abgestorbenem Bodenmaterial bedeckt bleiben. Im gleichen Arbeitsschritt mit der Bodenbearbeitung können Gülle/ Gärsubstrate gezielt in die Wurzelzone platziert werden. Die Stabilisierung des Gülle/Gärsubstrat-Depots mit einem Nitrifikationshemmer führt darüber hinaus zu einer Verzögerung der mikrobiellen Umwandlung von Ammoniumstickstoff zu Nitratstickstoff, wodurch es möglich ist, hochkonzentrierte Nährstoffdepots im Boden anzulegen. Das Gülle-Strip-Till-Verfahren besitzt demzufolge ein hohes Potential, Nährstoffverluste und Geruchsemissionen zu reduzieren.

Material und Methoden

In einem Großparzellenversuch wurde auf einem Sand-Rostgley das Gülle-Strip-Till-Verfahren zu Mais bei Herbst- und Frühjahrsapplikation, mit und ohne Nitrifikationsinhibitor (NI) eingesetzt (Ullmann, 2013). Die Streifenbearbeitung wurde mit einem XTill S-Gerät der Fa. Vogelsang (Reihenweite: 75 cm, Arbeitsbreite: 6 m, Bodenlockerung: 25 cm, Arbeitsgeschwindigkeit: 8-10 km/h, Flächenleistung: 3-5 ha/h) durchgeführt. Die Unterflurdüngung des Gülle-/ Gärsubstrates erfolgte in einer Tiefe von 25 cm Tiefe mit einer Applikationsmenge von 20 m³. Bei den Varianten mit NI wurde eine Aufwandmenge von 0,4 Liter Piadin (Fa. SKWP) pro Kubikmeter Gülle zugesetzt.

Folgende Parameter wurden im Rahmen der Versuche erfasst:

- bodenphysikalische Parameter
- N_{min} und
- Wurzelentwicklung, Wurzeltiefgang.

Ergebnisse und Diskussion

Die Untersuchungen zeigten, dass bei der Streifenbearbeitung mit einer partiellen Lockerung nur in der Saatreihe, nicht nur der gelockerte Bodenbereich, sondern auch der Reihenzwischenraum durchwurzelt wurde. Im nicht bearbeiteten Reihenzwischenraum wurde im Vergleich zum bearbeiteten Streifen aufgrund des Vorhandenseins einer schützenden Mulchdecke abgestorbener Zwischenfrüchte eine höhere Bodenfeuchte nachgewiesen (Tab. 1). Die Gülle-/ Gärsubstrat-Depotdüngung mit NI wies sowohl bei Herbst- als auch bei Frühjahrsausbringung eine höhere Wurzelmasse und mehr Wurzeltiefgang auf. Die Varianten mit NI zeigten zudem die Anlage eines gut entwickelten und intensiv durchwurzelten Nährstoffdepots mit einem hohen Anteil von Feinwurzeln.

Tab. 1: Ergebnisse der gravimetrischen Bodenfeuchtemessung

Bodentiefe [cm]	Termin der Streifenbearbeitung			
	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr
	Bodenfeuchte [M.-%]		Bodenfeuchte [l/m²]	
Strip-Till-Bereich				
0-30	7,26	6,95	36,4	34,8
30-60	6,43	6,11	33,8	32,1
60-90	3,18	4,46	17,2	24,1
Reihenzwischenraum				
0-30	8,16	8,43	42,1	43,5
30-60	5,99	6,91	32,4	37,3
60-90	3,52	5,93	19,5	32,9

Durch Zugabe von NI blieb der überwiegende Teil des Stickstoffs über Winter und auch während der Ertragsbildung des Maises in Form des pflanzenverfügbaren, aber weniger auswaschungsgefährdeten Ammoniumstickstoffs erhalten und wurde nicht in tiefere Bodenschichten verlagert (Abb. 1).

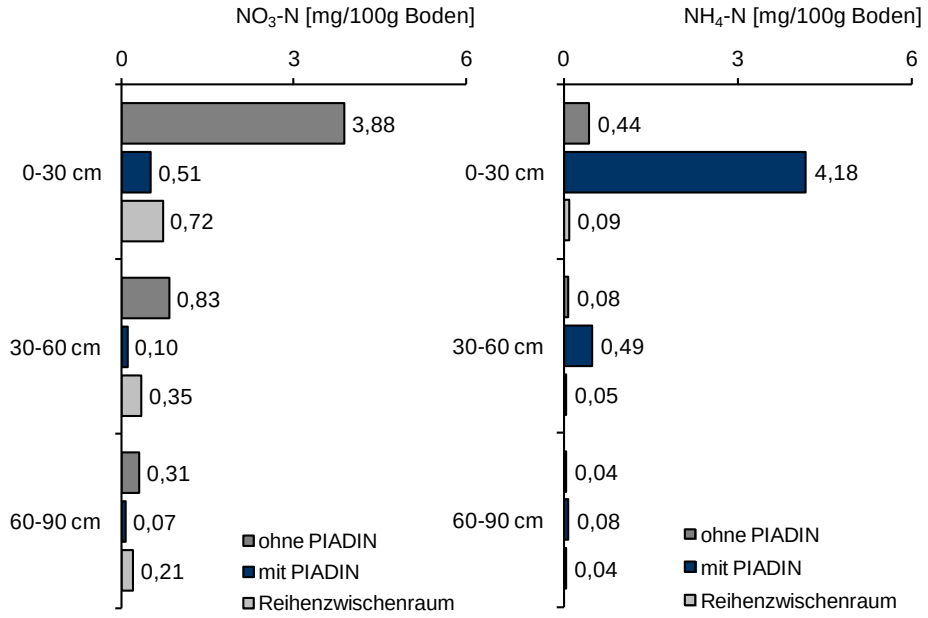


Abb.1: Pflanzenverfügbarer Boden-N im Strip-Till-Bereich

Literatur

ULLMANN, M. (2013): Einfluss des Gülle-Strip-Till-Verfahrens mit und ohne Nitrifikationsinhibitor (Herbst- und Frühjahrsinjektion) zu Mais auf dem Sand-Rostgley-Standort Bergzow im Jerichower Land. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Masterarbeit.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 92–93 (2013)

Optimierung des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen durch „Terra-Petra“-Einsatz?

Felix von Glisczynski[1], Alexandra Sandhage-Hofmann[2], Frank Wagener[3], Ralf Pude[1]

[1] INRES Forschungsbereich Nachwachsende Rohstoffe, Universität Bonn, [2] INRES Bodenwissenschaften, Universität Bonn, [3] Institut für angewandtes Stoffstrommanagement, Fachhochschule Trier, E-Mail: fvgli@uni-bonn.de

Einleitung

Mehrjährige Energiepflanzen, wie Agrarholz oder Miscanthus, weisen durch ihre extensive Bewirtschaftung einen schonenden Umgang mit den natürlichen Ressourcen Boden, Nährstoffe und Wasser auf. Sie sind durch eine tiefe Durchwurzelung sowie eine langfristige Bodenruhe gekennzeichnet und führen durch die regelmäßige Zufuhr organischer Substanz zu einem Anstieg der Kohlenstoff- und Nährstoffvorräte im Boden (Kahle et al. 2009). Aufgrund dieser kulturspezifischen Eigenschaften tragen sie bei gleichzeitig hoher Biomasseproduktion zu einem langfristigen Erhalt der natürlichen Ertragsfähigkeit landwirtschaftlicher Standorte bei. Diese positiven Effekte lassen sich möglicherweise durch den Einsatz von Terra-Preta“-Substraten (TP) verstärken und können somit zu einer Optimierung des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen beitragen.

Ziel vorliegender Untersuchung ist es, die Effekte dieser Kombination auf bodenphysikalische und –chemische Parameter zu erfassen und die Auswirkung von TP auf das Entwicklungsverhalten der Pflanzen darzustellen.

Material und Methoden

Im Frühjahr 2012 wurde am Campus Klein-Altendorf zur Durchführung von Untersuchungen ein Freilandversuch neubegründet. Neben Miscanthus wurden die schnellwachsenden Baumarten Pappel, Weide, Erle und Esche auf der Fläche als randomisiertes Block- oder Spaltendesign in einer dreifachen Wiederholung etabliert. Dabei wurden zwei unterschiedliche TP-Varianten mit einem Kohleanteil von 15% und 30%, eine Kompostvariante sowie eine Kontrolle angelegt. Die Substrate wurden bei Neuanlage in einer einmaligen Gabe von 30 t TM/ha ausgebracht. Neben bodenkundlichen Untersuchungen (pH, KAK, Nährstoffe, C und N sowie partikulär gebundener Kohlenstoff) wurden pflanzenbauliche Parameter (Mortalität, Zuwachs, Triebzahl und –höhe sowie Nährstoffversorgung) aufgenommen.

Ergebnisse und Diskussion

Erste Ergebnisse zeigen in 0-10 cm im Vergleich zur Kontrolle und häufig auch zum Kompost eine deutliche Wirkung der TP auf den Boden. Eine unmittelbare Auswirkung auf die die Bodenfruchtbarkeit bestimmenden Parameter wurde im Rahmen eines Anstiegs des pH-Werts und der KAK sowie einer erhöhten Verfügbarkeit von Nährstoffen verzeichnet.

Durch die Anwendung der kohlenstoffreichen Substrate erfolgte eine Steigerung sowohl des Gesamtgehalts (Abb. 1) als auch des in der partikulären organischen Substanz gespeicherten organischen Kohlenstoffs. Beide Effekte sowie die Ausweitung des C/N-Verhältnisses von 11,1 auf 16,7 waren innerhalb der TP-Variante mit 30% Kohleanteil deutlich stärker ausgeprägt.

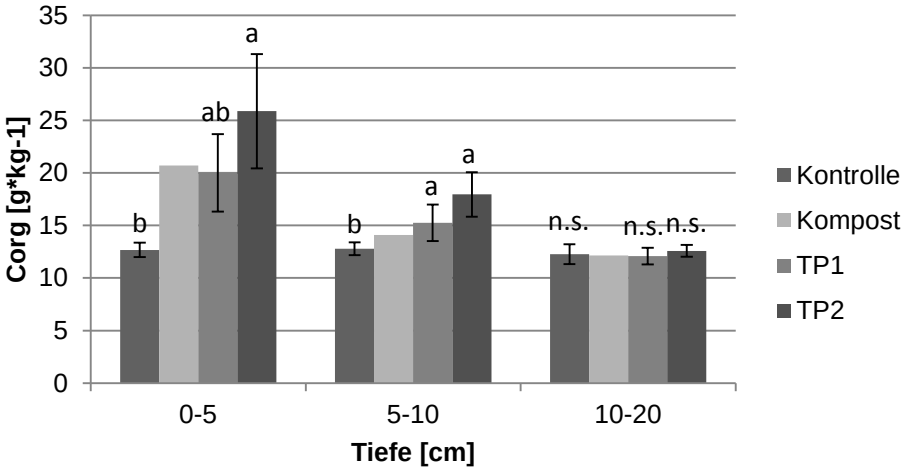


Abb. 1: C_{org}-Gehalte der Varianten des Agrarholzversuchs in Abhängigkeit zur Beprobungstiefe im Mai 2012; a-c = Signifikanzen nach Tukey-Tests ($p \leq 0{,}05$) n = 3

Die Quantifizierung der pflanzlichen Wuchsleistung zeigte abhängig von der Kultur unterschiedliche Effekte der TP. Im Gegensatz zum Miscanthus wurden trotz höherer Phosphor- und Kaliumgehalte in den Blättern der Agrarhölzer im Vergleich zur Kontrolle teilweise niedrigere Pflanzenhöhen bonitiert. Besonders die Weiden und Pappeln zeigten signifikant geringere Entwicklungen innerhalb der TP-Variante mit 30% Kohleanteil (Abb. 2). Ein reduzierter N-Gehalt der Blätter innerhalb der Substrat-Varianten deutet zusammen mit der Verschiebung des C/N-Verhältnisses auf eine N-Immobilisierung im Boden durch den TP-Einsatz hin.

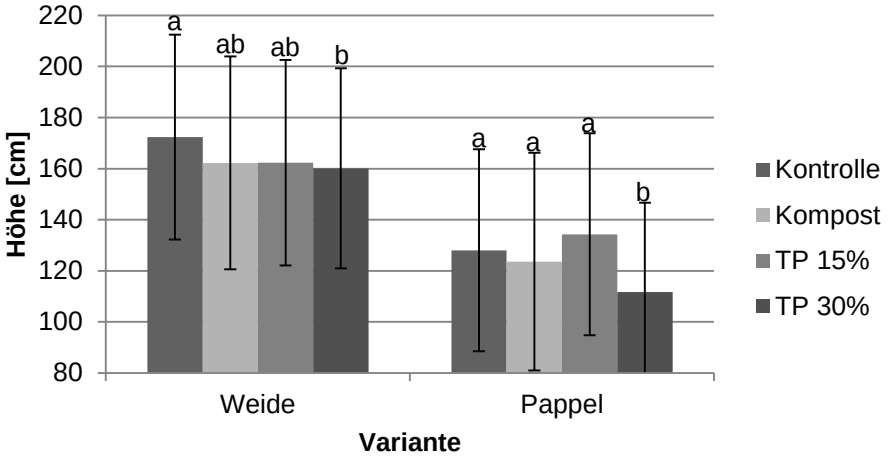


Abb. 2: Mittlere Pflanzenhöhe der Weiden („Tordis“) und der Pappeln („Max 1“) in Abhängigkeit zur Substratvariante im Dezember 2012; a-b = Signifikanzen nach Tukey-Tests ($p \leq 0{,}05$) n = 3

Zukünftige Untersuchungen werden zeigen, wie nachhaltig die bisher gemessenen Effekte auf die C-Speicherung und die Fruchtbarkeit des Bodens sind und ob sich die Auswirkungen auf das pflanzliche Wachstum auch langfristig bestätigen.

Literatur

Kahle, P.; Boelcke, B.; Rüth, B. (2009): Auswirkungen der Energieholzproduktion auf den Boden, dargestellt an einem Langzeitversuch in Mecklenburg-Vorpommern. Tagungsbeitrag DBG.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 94–95 (2013)

Wirkung von Phosphordünger aus aufgeschlossenen Klärschlammaschen bei Mais und Raps

David-Paul Klein, Wilfried Hübner, Frank Ellmer

Humboldt-Universität zu Berlin: Department für Nutzpflanzen- und Tierwissenschaften, Fachgebiet: Acker- und Pflanzenbau

Einleitung

Während die direkte Klärschlammausbringung in der Bundesrepublik Deutschland auf Grund zahlreicher Umweltrisiken rückläufig ist, gewinnt die thermische Behandlung von Klärschlämmen als weitere Möglichkeit der Nutzbarmachung von Phosphorreserven im Abwasser an Bedeutung. Bei der Verbrennung werden nicht nur organische Schadstoffe zerstört, sondern es findet gleichzeitig eine Aufkonzentrierung der P-Fraktionen in der Asche statt. Klärschlammaschen aus der Monoverbrennung liegen mit bis zu 11% Gesamt-P im Bereich hoch- bis mittelgradiger P-Erze und weisen somit ein hohes Sekundärrohstoffpotenzial auf. Allerdings liegt der Phosphor in der Asche in einer wenig pflanzenverfügbaren Form vor und ist mit Schwermetallen verunreinigt (WEIGAND et al., 2012 zit. nach AYDIN, 2010 und STURM et al., 2010). Durch die Aufbereitung der Aschen mit Phosphorsäure kann ein höherer Anteil pflanzenverfügbarer P-Fraktionen erreicht werden. Ein solches Produkt ist das RecoPhos P38. Ziel der Arbeit war es, in Gefäßversuchen zu ermitteln, welchen Beitrag das Düngemittel RecoPhos P38 zur Rückgewinnung von Phosphor aus kommunalen Klärschlämmen bietet und welche Phosphorwertigkeit es im Vergleich zu Triple-Superphosphat (TSP) hinsichtlich der Ertragssteigerung und Pflanzenverfügbarkeit besitzt.

Material und Methoden

Als Substrat für die Gefäßversuche diente ein schlecht mit P versorgter Sandboden (3,47 mg 100 g^{-1} P_{DL}; Gehaltsklasse B). Der Nachweis der Wirksamkeit des Phosphates basierte auf einer P-Steigerungsreihe (0/0,5/1,0/1,5 g P je Gefäß) mit dem zu prüfenden RecoPhos P38 (40,35% P_2O_5 mineralsäurelöslich, 30,3% P_2O_5 wasserlöslich) und TSP (46 % P_2O_5 mineralsäurelöslich, 42 % P_2O_5 wasserlöslich) als Vergleichsdünger in 4 Wiederholungen je Faktorstufe. Die N- und K-Düngung ist in allen Varianten auf gleich hohem Niveau (1,5 g NP je Gefäß). Die Düngemittel wurden vor der Befüllung der Gefäße mit dem Versuchsboden vermischt. Als Kulturen wurden die P-effiziente Art Raps (*Brassica napus*) und P-ineffiziente Art Mais (*Zea mays*) gewählt. Aus den Prüffaktoren P-Düngemittel und den Steigerungsstufen ergaben sich insgesamt 32 Gefäße je Fruchtart, die im Gewächshaus vollständig randomisiert aufgestellt wurden. Die zu untersuchenden Merkmale waren die Biomassebildung, die P-Gehalte in der Biomasse, der P-Status sowie die Schwermetallgehalte des Bodens. Zur statistischen Auswertung der Daten wurde mittels einfaktorieller Varianzanalyse und nachfolgendem Tukey-HSD-Verfahren geprüft, welche Stufenmittelwerte signifikant verschieden voneinander waren.

Ergebnisse und Diskussion

Die Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, dass RecoPhos P38 in den Parametern Biomassebildung und P-Gehalt in der Biomasse dem Düngemittel Triple-Superphoshat sowohl bei Raps, als auch bei Mais ebenbürtig ist (Tab.1).

Tabelle 1: FM-Ertrag und P-Gehalt in der Biomasse von Raps und Mais nach Düngung mit RecoPhos P38 und TSP; Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten; (p ≤0,05; Tukey HSD-Test nach einfaktorieller ANOVA)

Variante	FM-Ertrag Raps (g je Gefäß)	P_{total} Raps (g P je kg TM)	FM-Ertrag Mais (g je Gefäß)	P_{total} Mais (g P je kg TM)
0	343,2 a	2,20 a	168,12 a	1,42 a
Reco 0,5	386,0 b	3,69 b	421,37 b	1,78 b
TSP 0,5	366,5 ab	3,75 b	427,05 b	1,74 b
Reco 1,0	384,1 b	3,98 bc	485,99 b	2,28 c
TSP 1,0	383,1 b	4,20 bc	494,17 b	2,23 c
Reco 1,5	377,2 ab	4,37 d	452,26 b	2,52 cd
TSP 1,5	384,6 b	4,45 d	443,79 b	2,80 d

Bei den P-Gehalten des Bodens nach Versuchsabschluss konnte festgestellt werden, dass RecoPhos P38 geringere Mengen wasserlöslichen Phosphates in den Boden einzubringen vermag als TSP, sich in den Löslichkeitsformen $P_{Königswasser}$ und P_{DL} jedoch keine Unterschiede zwischen den Düngemitteln zeigten. Das Düngemittel RecoPhos P38 zeichnet sich folglich durch eine sehr gute Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen aus (Tab.2).

Tabelle 2: $P_{Königswasser}$, P_{DL} und P_{WL} im Boden von Raps und Mais nach Düngung mit RecoPhos P38 und TSP Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten; (p ≤0,05; Tukey HSD-Test nach einfaktorieller ANOVA)

Variante	Raps $P_{Königswasser}$ (mg 100 g^{-1} Boden)	Raps P_{DL} (mg 100 g^{-1} Boden)	Raps P_{WL} (mg 100 g^{-1} Boden)	Mais $P_{Königswasser}$ (mg 100 g^{-1} Boden)	Mais P_{DL} mg 100 g^{-1} Boden)	Mais P_{WL} (mg 100 g^{-1} Boden)
0	29,96 a	2,33 a	0,37 a	32,21 a	3,37 a	0,62 a
Reco 0,5	35,88 b	5,02 ab	0,98 ab	37,05 b	6,34 a	1,29 a
TSP 0,5	35,70 b	6,33 bc	1,07 ab	37,56 b	6,95 ab	1,52 a
Reco 1,0	43,93 c	9,36 cd	2,00 bc	46,97 cd	11,00 bc	2,81 b
TSP 1,0	46,17 c	12,64 d	3,39 d	45,76 c	11,74 c	3,14 b
Reco 1,5	48,09 c	12,03 d	3,12 cd	51,91 de	14,86 cd	3,62 b
TSP 1,5	46,19 c	12,20 d	3,47 d	54,17 e	18,48 d	4,93 c

Die Düngung mit RecoPhos P38 trug jedoch bei den Schwermetallen Kupfer und Zink zur Anreicherung des Bodens der Gefäßversuche bei. Die Düngung mit TSP hingegen führte zur Anreicherung des Bodens mit Cadmium. Mit der Untersuchung des Bodens nach Versuchsabschluss konnte aber gezeigt werden, dass die Vorsorgewerte, die in der BBodSchV für die untersuchten Elemente ausgewiesen sind, nicht erreicht werden. Dennoch ist die Gefahr gegeben, dass eine fortwährende Düngung mit RecoPhos P38 zu einem graduellen Anstieg der Gehalte von Kupfer und Zink führen kann. Ein weiteres Problem, das durch den Aufschluss der Klärschlammasche im RecoPhos-Prozess entsteht, ist die Bereitstellung von Phosphorsäure und die fortwährende Abhängigkeit von primären P-Quellen. Dieser Umstand hat negative Auswirkungen auf die Kosten des Produktes, da die Phosphorsäure ca. 57 % der Gesamtherstellungskosten ausmacht. Darüber hinaus hängt die Nährstoffverfügbarkeit der Phosphate stark vom Einsatz der Phosphorsäure ab, sodass alternative Aufschlussmittel den Phosphatanteil um den eingesetzten Anteil verringern würden.

Literatur

WEIGAND, H., BERTAU, M., HÜBNER, W., BOHNDICK, F., BRUCKERT, A. (2012): RecoPhos: Full-scale fertilizer production from sewage sludge ash. Waste Management, S.2

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 96–97 (2013)

Funktionale Diversität der Pflanzen und der Bodenmikroorganismen in naturnahem Dauergrünland – Einfluss geringer Düngermengen

Meike Andruschkewitsch[1], Christine Wachendorf[2] und Michael Wachendorf[1]

[1] Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, 37213 Witzenhausen
[2] Universität Kassel, Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung, 37213 Witzenhausen
E-Mail: *m.andruschkewitsch@uni-kassel.de*

Einleitung

Naturnahe, artenreiche Grünlandflächen tragen zum Erhalt der Biodiversität und den damit verbundenen Ökosystemleistungen bei. Düngung und Nutzungsintensivierung können einen Verlust der Biodiversität nach sich ziehen. Eine Abnahme der Phytodiversität verringert die Variation an C-Substraten, die über die Pflanzenwurzeln ausgeschieden werden und daher für Bodenmikroorganismen zur Verfügung stehen. Die katabolische Diversität, die Fähigkeit der mikrobiellen Gemeinschaft des Bodens unterschiedliche Substrate zu nutzen, müsste folglich mit sinkender Diversität der funktionalen Gruppen der Pflanzen abnehmen (Stephan et al. 2000).

Material und Methoden

An fünf extensiv genutzten NATURA-2000 Mittelgebirgsmähwiesen mit variierender Diversität der funktionalen Gruppen (Evenness-Index, E_{FG}), wurde die funktionale Diversität der Bodenmikroorganismen (Evenness-Index, E_{Boden}) jeweils an drei verschiedenen Zeitpunkten der Vegetationsperiode 2012, aufgenommen. E_{FG} wurde über den Trockenmasse(TM)anteil der Gräser, Kräuter und Leguminosen ermittelt. E_{Boden} wurde über die substratinduzierte Respiration anhand der MicroRespMethode nach Campbell et al. (2003) bestimmt. Der Einfluss des innovativen Nutzungssystems „Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse“ (Anwendung seit 2010) und der damit einhergehenden Nährstoffrückführung (+N; 50% des N-Ernteentzuges rückgeführt über Gärrest) wurde mit einer Mahd ohne Nährstoffrückführung (-N) verglichen. Zusätzlich wurde der Einfluss einer Mulchvariante (M) untersucht.

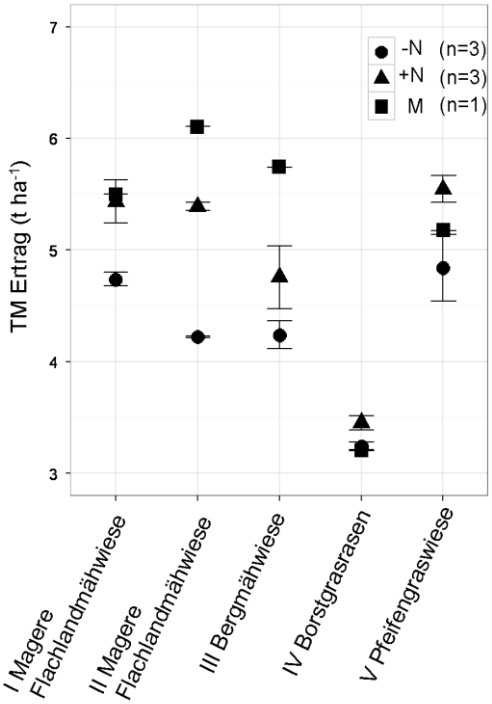


Abb. 1: Einfluss der Nutzungsvarianten auf den TM-Ertrag der Mittelgebirgsmähwiesen. Fehlerbalken geben den Standardfehler wieder.

Ergebnisse und Diskussion

Die Nutzungsvarianten +N und Mulch führten im Mittel zu einer Erhöhung des TM-Ertrages um 16% bzw. 21% (Abb. 1). Die E_{FG} wurden dabei durch +N, außer auf Fläche I in der 1. Juliwoche, nicht reduziert (Abb. 2a). Das Mulchen führte hingegen auf Fläche IV zu einer Erhöhung und auf II und V zu einer Verringerung der E_{FG}. Der Einfluss der beiden Nutzungsvarianten auf E_{Boden} variierte stark über die Probenahmetermine (Abb. 2b). Zu Beginn der Vegetationsperiode 2012 nach 2-jähriger An-

wendung (1. Maiwoche) war tendenziell über alle Flächen die E_{Boden} für +N im Vergleich zu –N verringert. Zu späteren Zeitpunkten der Vegetationsperiode nach der Düngung im Jahr 2012 (3. Maiwoche bzw. 1. Juliwoche) konnten jedoch keine konsistenten Ergebnisse bezüglich des Einflusses der Nutzungsvarianten festgestellt werden.

Für die ersten Probenahmezeitpunkte im Mai ergab sich eine signifikante Korrelation von E_{FG} und E_{Boden} (Abb. 3). Diese wird mit der Zeit schwächer. Multiple Regressionsmodelle ergaben, dass zu Beginn der Vegetationsperiode die Bodenparameter pH (Abb. 3) und C:N-Verhältnis der Standorte (Daten nicht dargestellt) einen größeren Anteil an der Variation von E_{Boden} erklärten, als die applizierte N-Menge und die funktionalen Gruppen. Wohingegen mit fortschreitender Vegetationsperiode ein positiver Einfluss von Kräutern und ein negativer von Gräsern und Leguminosen auf die E_{Boden} festgestellt werden konnte.

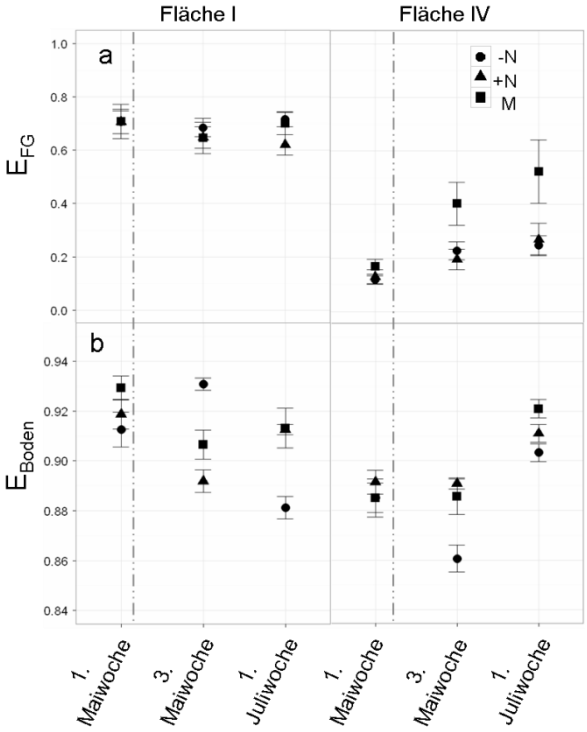


Abb. 2: Einfluss der Nutzungsvarianten zu verschiedenen Probenahmeterminen 2012 auf E_{FG} und E_{Boden} von zwei Mittelgebirgsmähwiesen. Fehlerbalken geben den Standardfehler wieder. Zeitpunkt der Gärrestapplikation (—··—).

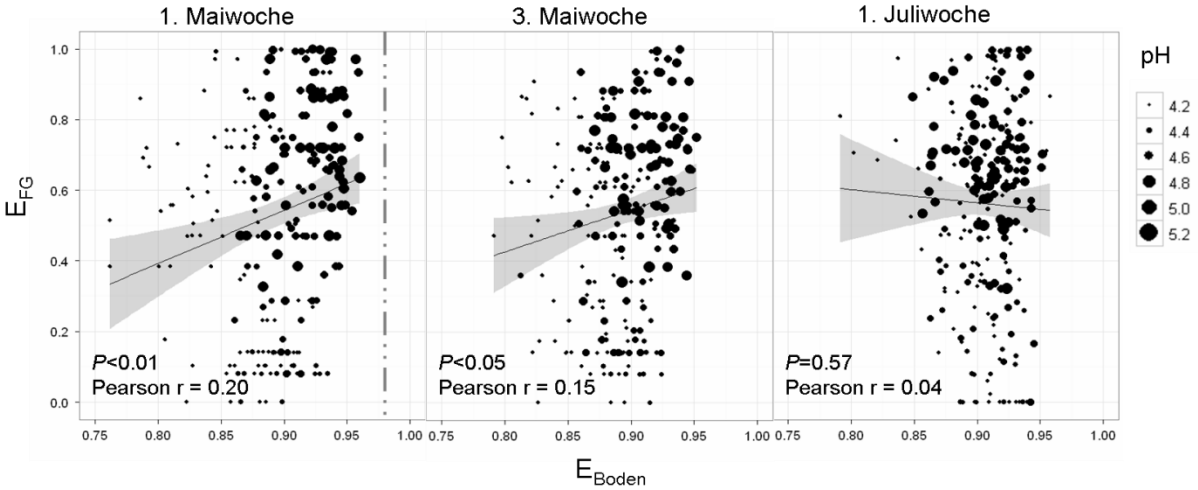


Abb. 3: Beziehung zwischen der Diversität der funktionalen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) E_{FG} und der funktionale Diversität der Bodenmikroorganismen E_{Boden} und dem Boden-pH in Abhängigkeit des Probenahmetermins (n=240; n=243; n=242). Graue Bereiche kennzeichnen das 95% Konfidenzintervall. Zeipunkt der Gärrestapplikation (—··—).

Literatur

Campbell, C.D.; Chapman, S.J.; Cameron, C.M.; Davidson, M.S.; Potts, J.M. (2003). A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. Applied and Environmental Microbiology 69:3593-3599

Stephan, A.; Meyer, A.H.; Schmid, B. (2000). Plant diversity affects culturable soil bacteria in experimental grassland communities. Journal of Ecology 88:988-998

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 98–99 (2013)

Möglichkeiten einer sensorbasierten, teilflächenspezifischen N-Düngung zu Winterraps (*Brassica napus* L.)

Andreas Spicker, Franz-Xaver Maidl

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, 85354 Freising-Weihenstephan.
E-Mail: *andreas.spicker@tum.de*

Einleitung

Auf etwa 15% der Ackerfläche Deutschlands wird Winterraps angebaut. Der Großteil des aus den Rapssamen gewonnenen Öls wird als nachwachsender Rohstoff unter anderem zu Treibstoff veredelt. Die Nachhaltigkeitsverordnung stellt jedoch wegen der hohen N-Überbilanzen und der daraus resultierenden N-Verluste die Eignung von Raps zur Verwendung als nachwachsenden Rohstoff in Frage. Um diese Übermengen zu reduzieren, wurde ein sensorgestütztes Düngungssystem entwickelt, das über die Ertragsfähigkeit des Standortes sowie die N-Aufnahme im Herbst die für das weitere Wachstum optimale N-Düngermenge berechnet.

Material und Methoden

Seit 2005 werden an der TUM auf Schlägen unterschiedlicher Ertragsleistung N-Düngungsversuche mit bis zu 26 N-Stufen sowie Sortenversuche durchgeführt. Die N-Stufen unterschieden sich in der Gesamt-N-Menge, in der Andüngung im Herbst sowie in der Verteilung dieses Nährstoffs im Frühjahr. In allen Versuchen wurde zu den wichtigen Entwicklungsstadien der Biomasseaufwuchs und die N-Aufnahme erfasst. Zeitgleich zu den Probennahmen wurden Reflexionsmessungen mit Hilfe eines handgetragenen Spektrometers durchgeführt. Zur Ernte erfolgte die Bestimmung des Kornertrags sowie der Ertragsparameter.

Ergebnisse und Diskussion

Wie zu erwarten, konnte ein Effekt der N-Düngermenge auf den Kornertrag festgestellt werden. Diese N-Wirkung war jedoch nur bis 180 kg N/ha zu erkennen; höhere N-Mengen ließen keine signifikanten Ertragssteigerungen mehr zu. Einen gewissen Ertragseffekt hatte die Herbstdüngung. Bei einer gleichbleibenden Frühjahrsdüngung konnte durch ein Anheben der Herbst-N-Düngermenge der Kornertrag um 2 dt/ha gesteigert werden. Weiterhin war zu beobachten, dass bei einem höheren N-Düngungsniveau eine spätbetonte Düngung zum Schossen den Kornertrag positiv beeinflusste. War die N-Aufnahme im Herbst gering bzw. winterten die Pflanzen stark aus, so zeigte sich, dass die Gabe zu Vegetationsbeginn kräftiger ausfallen muss.

Über die Kombination all dieser Versuchsergebnisse konnte ein sensorbasiertes Düngesystem zu Raps entwickelt werden, das zugleich die variierenden Ertragszonen im Schlag berücksichtigt. Dieses Düngeverfahren basiert auf der im Herbst gegen Vegetationsende über einen Reflexionssensor ermittelten N-Aufnahme. Da die N-Aufnahme Herbst mit der N-Düngermenge Frühjahr negativ korreliert ist ($R^2 = 0,87$), kann über diese die für jedes Ertragsniveau optimale N-Düngermenge für das Frühjahr berechnet werden. Die Aufteilung ist in Abhängigkeit von der Auswinterung und auch der Trockenheitsgefährdung des Standortes anzupassen, damit eine optimale Frühjahrsentwicklung erzielt wird.

Um die N-Aufnahme mittels Reflexionsmessungen vornehmen zu können, wurden verschiedene Vegetationsindices getestet. Diese unterscheiden sich dabei in ihrer Güte voneinander. Einzeljährlich betrachtet schneiden bekannte Indices wie der REIP und der NDVI mit R^2-Werten bis zu 0,93 im Herbst sehr gut ab.
Über alle Jahre betrachtet ist allerdings bei diesen Indices die Streuung um die Regressionskurve mit bis zu 50 kg N recht hoch, was auch in verminderten Bestimmtheitsmaßen (R^2 = 0,58) beim REIP zum Ausdruck kommt (Abb. 1). Damit kann über diese bekannten Indices kein Düngesystem aufgebaut werden. Deutlich besser korrelierte die N-Aufnahme im Herbst und zum Schossen mit dem VX 7 (R^2 = 0,82 bzw. R^2 = 0,79). Messungen nach dem Schossen in Verbindung mit einer N-Düngung machen wegen der schlechteren N-Ausnutzung des Rapses keinen Sinn mehr.

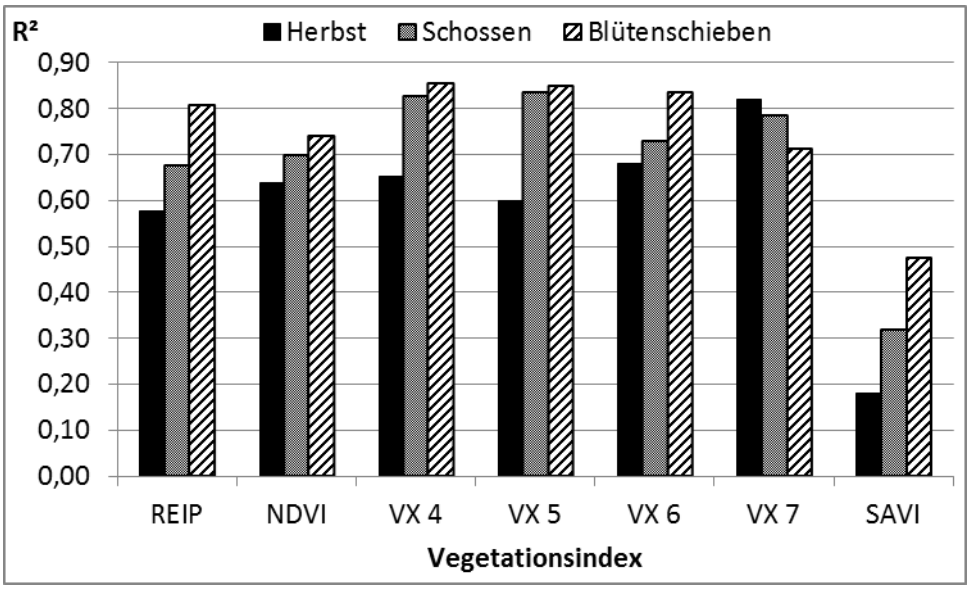


Abb. 4: R^2-Werte der Regressionen verschiedener Vegetationsindices mit der N-Aufnahme (Standort: Roggenstein, 2005 bis 2012)

Neben dem sicheren Abbilden der N-Aufnahme ist eine Sortenunabhängigkeit des verwendeten Vegetationsindex entscheidend. In den Untersuchungen erwies sich der REIP bei den Herbstmessungen als sortenunabhängiger Index, während beim VX 7 ein leichter Sorteneffekt nachzuweisen war. Bei den Frühjahrsmessungen übten die Sorten einen sehr hohen Einfluss auf alle bisher getesteten Vegetationsindices aus. Weitere Rechnungen sind daher notwendig.

Literatur

Barlóg, P., Grzebisz, W. (2004): Effect of Timing and Nitrogen Fertilizer Application on Winter Oilseed Rape (Brassica napus L.). I. Growth Dynamics and Seed Yield. Journal of Agronomy and Crop Science 190: 305–313

Behrens, T., Kraft, M., Wiesler F. (2004): Influence of measuring angle, nitrogen fertilization, and variety on spectral reflectance of winter oilseed rape canopies. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 167: 99–105

Müller, K., Böttcher, U., Meyer-Schatz, F., Kage, H. (2008): Analysis of vegetation indices derived from hyperspectral reflection measurements for estimating crop canopy parameters of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Biosystems Engineering 101: 172–182

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 100–101 (2013)

Einfluss der Biodiversität auf die Methanausbeute und den Brutto-Energieertrag von Grünlandsilagen und der durch mechanische Entwässerung gewonnenen Presssäfte

Björn Reddersen, Thomas Fricke, Michael Wachendorf

Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, DE, b.reddersen@uni-kassel.de

Einleitung

Grünlandbiomasse kann auf vielfältige Weise zur Energieproduktion verwendet werden. Sei es über Verbrennung des faserhaltigen Materials aus extensivem Grünland mit niederfrequenter Schnittnutzung, oder als Kosubstrat neben Silomais und Gülle zur Biogaserzeugung. Die botanische Zusammensetzung bestimmt dabei in erheblichem Maße die Effizienz der Konversion, jedoch ist extensive Grünlandbiomasse mit geringen Verdaulichkeiten nur selten ein optimales Substrat zur Biogasgewinnung. Die Aufwertung des Materials im Zuge des IFBB Verfahrens zur Trennung in eine flüssige und eine feste Komponente stellt hierbei eine vielversprechende Perspektive zur Verbesserung der energetischen Eigenschaften dar. Die Einflüsse der botanischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und der im IFBB-Verfahren gewonnenen Produkte sollen in dieser Arbeit hinsichtlich ihrer energetischen Konversion, insbesondere der Biogasgewinnung, betrachtet werden.

Material und Methoden

Im Jahr 2002 wurden im Rahmen des Jena-Experimentes 82 Pflanzenbestände aus einem Artenpool von 60 Arten Mitteleuropäischer Glatthafer-Wiesen Vegetation mit steigender Artenzahl (1 - 60 Arten) auf einer Fläche nahe dem Saale-Ufer bei Jena in einer vollständig randomisierten, ungedüngten Blockanlage aus 82 Parzellen etabliert. Im Vorfeld wurden die 60 Arten in vier funktionelle Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) unterteilt wodurch in 4-fachen Wiederholung der Parzellen alle möglichen Kombinationen von Artenzahl und funktioneller Gruppen realisiert werden konnten. Der Versuch wurde zum Erhalt der Artenvielfalt an je zwei Terminen im Jahr gejätet und gemäht. Von allen 82 Parzellen wurden zu jedem Schnittzeitpunkt, in den Jahren 2008 und 2009, 300g Frischmasseproben (Stoppelhöhe 5cm) aus einem repräsentativen Bereich in der Kernzone der Parzelle entnommen und bei 70° C für 48 Stunden getrocknet. Mittels Standardanalysemethoden wurden Trockenmassegehalte sowie die Konzentrationen der Elemente C, H, N, K, Ca, Mg, S, P, und Cl sowie Aschegehalte und Faserfraktionen nach van Soest bestimmt. Weitere Biomasse aus der Kernzone jeder Parzelle wurde unter konstanten Standortbedingungen in luftdichten Behältern Siliert. Ein Teil der silierten Biomasse jeder Parzelle aus dem ersten Aufwuchs 2009 wurde in einem Verfahren zur mechanischen Entwässerung in eine feste Phase (Presskuchen, PK) zur späteren Nutzung als Brennstoff und in eine flüssige Phase (Presssaft, PS) zur Biogasherstellung getrennt (Richter et al. 2009). Die Ganzpflanzensilage und der Presssaft wurden sukzessive in den Jahren 2009 bis 2011 in einem Batchverfahren zur anaeroben Fermentation vergoren (Richter et al., 2009) und die substratspezifischen Methangehalte angelehnt an die VDI-Norm 4630 bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Nach einem Fermentationszeitraum von 35 Tagen wurden im Mittel rund 289 l_N kg^{-1} TS^{-1} für die Silage des ersten Aufwuchses und 251 l_N kg^{-1} TS^{-1} für die Silage des zweiten Aufwuchses erreicht. Die Methanausbeuten des zweiten Aufwuchses wurden maßgeblich durch die Konzentrationen an C und N beeinflusst sowie durch die Konzentrationen an Hemicellulosen und Lignin. Hier zeigte sich, dass insbesondere die Präsenz von Gräsern, möglicherweise durch ein weites C/N Verhältnis und einen vergleichsweise geringen Gehalt an Lignin in der Biomasse die Methanausbeuten erhöhte, während große Kräuter eher den gegenteiligen Effekt aufwiesen. Im ersten Aufwuchs wies keine der Funktionellen Gruppen einen signifikanten Einfluss auf den Gärprozess auf. Hier war das C/N Verhältnis der Gräser oberhalb des Bereiches einer optimalen Vergärung, was eine optimale Gasbildung verhindert haben könnte. Der durch die Gräser hervorgerufene positive Effekt trifft allerdings für den Presssaft vom ersten Aufwuchs wieder zu, nachdem das C/N Verhältnis des Substrats in Folge der mechanischen Entwässerung gesenkt wurde. Durch die mechanische Entwässerung wurde eine Steigerung der substratspezifischen Methanausbeuten von rund 30% gegenüber der Ganzpflanzenvergärung bewirkt. Eine Veränderung der Artenzahl hatte keinen Effekt auf die substratspezifischen Methanausbeuten von Silage und Presssäften.

Erst durch eine erhöhte Biomasseproduktion artenreicher Bestände in Folge von Komplementäreffekten zwischen den Arten wird ein höherer flächenspezifischer Methanertrag und damit auch ein höherer Energieertrag erreicht. Insbesondere die Präsenz von Leguminosen scheint einen signifikant positiven Einfluss auf die Biomasseproduktion und somit auf die Energieerträge zu haben. Dieser positive Effekt der Artenzahl auf die Biomasseproduktion traf für den ersten Aufwuchs 2009 nicht zu. Im direkten Vergleich der Brutto-Energieerträge für diesen Aufwuchs werden durch die Vergärung der Presssäfte zwar die geringsten Erträge erzielt, da jedoch im Zuge der mechanischen Entwässerung ein weiterer Rohstoff für die Verbrennung entsteht steigt der Energieertrag um mehr 60% im Vergleich zur Ganzpflanzenvergärung an.

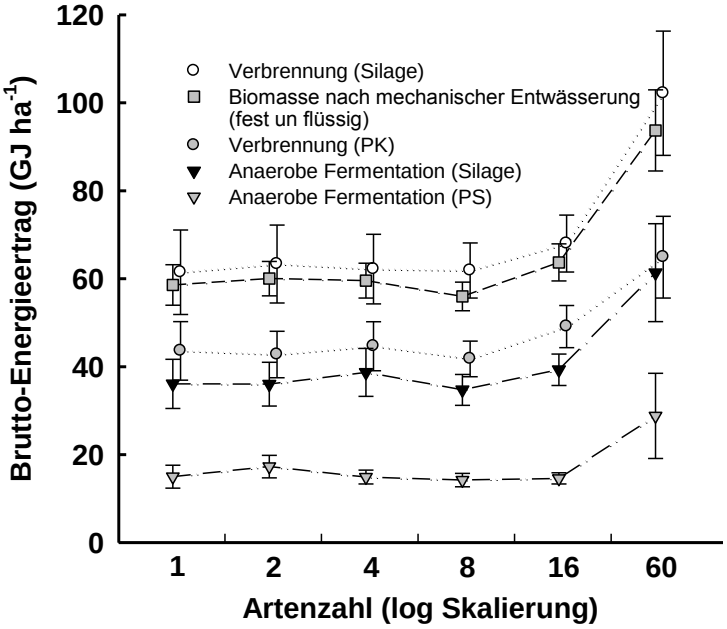


Abb.1: Brutto-Energieerträge je nach Artenzahl von Silagen, Presskuchen (PK) und Pressäften (PS) nach Verbrennung und Vergärung

Literatur

Richter F., Graß R., Fricke T., Zerr W. and Wachendorf M. (2009) Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. II. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on anaerobic digestion of press fluids. Grass and Forage Science, 64, 354–36

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 102–103 (2013)

Einfluss der Bodenbearbeitung und Fruchtfolgegestaltung auf die Umweltwirkungen der Biogaserzeugung

Sarah Lütke Börding[1], Thomas Nemecek[2], Frank Ellmer[3], Bernd Honermeier[4] und Bernhard C. Schäfer[1]

[1] Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest; [2]Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich; [3]Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Berlin; [4]Justus-Liebig-Universität Giessen, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Giessen; E-Mail: *luetke-boerding.sarah@fh-swf.de*

Einleitung

Mit zunehmender Erzeugung von Biogas aus Energiepflanzen in Deutschland und dem steigenden Anbau geeigneter Kulturen -vor allem Mais-, wird auch die Reduktion von negativen Umweltwirkungen aus solchen Bodennutzungssystemen von größer werdender Bedeutung. Zu den Optimierungsfaktoren von Biogasfruchtfolgen zählt neben dem optimalen Einsatz betriebseigener Gärrückstände auch eine Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität. Mittels einer Ökobilanzierung werden zwei Fruchtfolgen verglichen und Optimierungspotentiale identifiziert.

Material und Methoden

Die zwei analysierten Fruchtfolgen (Tab. 1) sind als On-Farm-Versuche an jeweils zwei Standorten in Deutschland (Braunschweig und Soest) angelegt.

Tab. 1: Untersuchte Fruchtfolgen

B - Biogasfruchtfolge	EB - Erweiterte Biogasfruchtfolge
Weizen	Raps
Gerste	Weizen
Grünroggen	Zwischenfrucht
Silomais	Ackerbohne
	Gerste
	Grünroggen
	Silomais
	Weizen
	Grünroggen
	Silomais
	GPS (Roggen)

Die Fruchtfolge „EB“ unterscheidet sich von der Biogasfruchtfolge „B“ neben dem Fruchtartenspektrum vor allem durch den weitgehenden Verzicht auf die Bodenbearbeitung (Direktsaat). Die Ökobilanz wurde auf Grundlage des Erntejahrs 2012 berechnet. Zur Erstellung der dafür notwendigen Produktionsinventare wurden Daten aus der Ackerschlagkartei herangezogen und durch Witterungsdaten und Bodenparameter der jeweiligen Versuchsfläche ergänzt. Eine Übersicht der Produktionskennzahlen gibt Tab. 2.

Zur Erstellung der Ökobilanzen wurde die Schweizer Berechnungsmethode SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) eingesetzt. Die Datenbanken für die Ökoinventare sind aus ecoinvent und SALCA entnommen. Die betrachteten Systeme umfassen neben den notwendigen Arbeitsschritten und den eingesetzten Produktionsmitteln (z.B. Saatgut, Mineraldünger) auch die jeweils benötigte Infrastruktur

Tab. 2: Übersicht einiger Standort- und Produktionskennzahlen

Produktionskennzahlen, je ha und Jahr	Soest		Braunschweig	
	B	EB	B	EB
Ertrag*, dt TS (absolut)	165	125	121	111
Ertrag, GE	136	120	105	105
Düngung:				
kg N_{total}	257	249	303	251
kg $N_{löslich}$	177	180	236	189
m^3 Gülle	37	32	32	29
Standort:				
Jahresniederschlag, mm	810		670	
Bodenart	Schluff (Ut3)		Lehm/Ton (Lu/Tu3)	
Tongehalt, %	12		30	

* Mittel des geernteten Aufwuchses

(Transport) und die dabei anfallenden Emissionen. Die Systeme werden sowohl hinsichtlich ihrer flächenbezogenen (je ha und Jahr) als auch hinsichtlich ihrer produktbezogenen Umweltwirkungen (je Getreideeinheit) beurteilt. Die betrachteten Umweltwirkungen sind das Treibhauspotential (IPCC 2007), der Bedarf an nicht-erneuerbarer Energie (Frischknecht et al. 2007), sowie das Eutrophierungs- und Versauerungspotential (EDIP 2003, nach Hausschild und Potting 2005).

Ergebnisse und Diskussion

Bei Betrachtung des flächenbezogenen Treibhauspotentials zeigen sich für den Standort Soest geringe Unterschiede der Fruchtfolgen (Tab. 3). Den Haupteinfluss haben Emissionen von CO_2 aus der Düngemittelbereitstellung, der Maschinennutzung sowie N_2O durch den Einsatz von mineralischen und organischen Stickstoffdüngern. Aufgrund eines intensiven N-Einsatzes in der Fruchtfolge „B“ am Standort Braunschweig entsteht ein hohes Treibhauspotential von etwa 4 t CO_2-Äq.

Tab. 3: Übersicht ausgewählter Ergebnisse der Ökobilanzierung der Fruchtfolgen

	Soest		Braunschweig	
Wirkungskategorie je ha und Jahr	B	EB	B	EB
Treibhauspotential, kg CO_2-Äq.	3311	3359	4037	3283
Energiebedarf, GJ	19,3	18,2	26,1	20,2
Terrestrisches Eutrophierungspotential, m^2	4192	3851	6281	4898
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg N	69,7	68,0	68,1	55,5
Versauerungspotential, m^2	1038	962	1526	1202
je Getreideeinheit (GE)				
Treibhauspotential, kg CO_2-Äq.	24,4	27,9	38,6	31,2
Energiebedarf, MJ	142,3	151,2	249,5	192,1
Terrestrisches Eutrophierungspotential, m^2	31,0	32,0	60,1	46,5
Aquatisches Eutrophierungspotential, kg N	0,51	0,56	0,65	0,53
Versauerungspotential, m^2	7,7	8,0	14,6	11,4

Aus dem weitgehenden Verzicht auf die Bodenbearbeitung in den Systemen „EB“ resultiert vor allem ein deutlich reduzierter Energieeinsatz. Können in diesen Systemen vergleichbare Erträge wie in konventionellen Systemen erzielt werden, schneiden bei einer produktbezogenen Betrachtung in fast allen Wirkungskategorien die EB-Systeme besser ab (vgl. Standort Braunschweig). Für alle Wirkungskategorien ist die Wahl der Düngungsstrategie ein wichtiger Einflussfaktor und bietet damit den Hauptansatz zur Optimierung. Nachteilig wirken sich durch den Einsatz organischer Düngermittel die entstehenden Ammoniakemissionen auf das Versauerungs- und das terrestrische Eutrophierungspotential aus. Hier können emissionsmindernde Ausbringtechnik Optimierungsmöglichkeiten bieten.

Danksagung

Das Projekt wird durch die BLE mit Mitteln des BMELV und des MKULNV finanziell unterstützt.

Literatur

Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Baucher C., Doka G., Dones R., Hirschier R., Hellweg S., Humbert S., Margni M., Nemecek T. (2007): Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007

Hauschild, M. Z., Potting, J. (2005): Spatial differentiation in life cycle impact assessment – The EDIP2003 methodology. Environmental News, vol No. 80. The Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency, Copenhagen

IPCC (2007): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 104–105 (2013)

Wintergetreide-Ganzpflanzensilage als Biogassubstrat - Arten- und Sortenvergleich

C.Riedel[1], D. Hofmann[1], E. Sticksel[2] und J. Eder [1]

[1] Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising;
[2] Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Versuchsbetriebe, Freising.
E-Mail: *christine.riedel@lfl.bayern.de*

Einleitung

Ganzpflanzensilage (GPS) aus Wintergetreide kann aufgrund der vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten in fast jede Fruchtfolge integriert werden und trägt so zur Auflockerung maisbetonter Fruchtfolgen im Biogaspflanzenanbau bei. Das Getreide wird wie üblich kultiviert, aber schon zum Stadium der mittleren bis späten Milchreife als Ganzpflanze direkt aus dem Stand gehäckselt, da sich der Trockensubstanzgehalt in dieser Zeit im optimalen Bereich für die Silierung zwischen 28 und 35 % bewegt.

Im Gegensatz zu neuen Kulturarten für Biogas, bei deren Anbau die Erfahrung fehlt, ist die Produktionstechnik bei Getreide bekannt und die Mechanisierung in den Betrieben vorhanden, einzige Ausnahme ist die Ernte als Ganzpflanze mit Häckseltechnik.

Die durchgeführten Feldversuche sollen einerseits klären, welche Unterschiede im Trockenmasseertragspotenzial zwischen den Arten und Sorten bestehen, und zum anderen, ob agronomische Sortenmerkmale wie der Kornertrag geeignet sind, um dieses Potential abzuschätzen.

Material und Methoden

An den oberbayrischen Standorten Grub (54 BP, trocken) und Frankendorf (80 BP, feucht-kühl) wurde in drei Vegetationsperioden (2009 - 2011) ein Sortenversuch mit Wintergetreidearten in vier Wiederholungen pro Standort im Design einer zweifaktoriellen Spaltanlage durchgeführt. Es wurden hierbei die fünf Wintergetreidearten Gerste (mehrzeilig, zweizeilig), Roggen, Triticale, Weizen und Grünroggen mit jeweils sechs Sorten für die Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) angebaut. Die Aussaat, Düngung und der Pflanzenschutz erfolgte ortsüblich optimal.

Der Grünroggen wurde etwa zum BBCH 55 (Mitte Ährenschieben) geschnitten. Alle anderen Sortimente wurden sowohl zum Stadium der „Mittleren Milchreife“ (BBCH 75) gehäckselt, als auch zur Kornreife (BBCH 89) gedroschen.

Ergebnisse und Diskussion

Im Mittel (der Jahre und Standorte) erreichten Triticale und Roggen mit jeweils 140 dt/ha die höchsten Trockenmasse (TM) -erträge, dahinter lagen die mehrzeiligen Gersten, der Weizen, die zweizeiligen Gersten und zuletzt der Grünroggen (**Abbildung**). Die im Mittel höchsten Trockensubstanz (TS) -Gehalte wiesen die Gersten und der Weizen auf. Am Standort Frankendorf erreichte in jedem der Versuchsjahre Wintertriticale die höchsten TM-Erträge, in 2011 bei ausgeprägter und lang andauernder Frühjahrstrockenheit unterschied sich der Ertrag aber kaum von Roggen. Am trockenheitsanfälligen Standort Grub hingegen war der Roggen ertragsstärker als die Triticale, besonders in 2011 (+ 20 dt).

Die Ergebnisse zeigen, dass Arten mit längerer Standzeit wie Triticale in der Regel die höchsten Erträge liefern. Treten Trockenphasen während der

Hauptwachstumszeit auf, führt das bei Triticale im Gegensatz zu Roggen zu einem deutlichen Ertragsrückgang. In diesem Fall zeigt Roggen eine gleichwertige bis höhere Massebildung als Triticale.

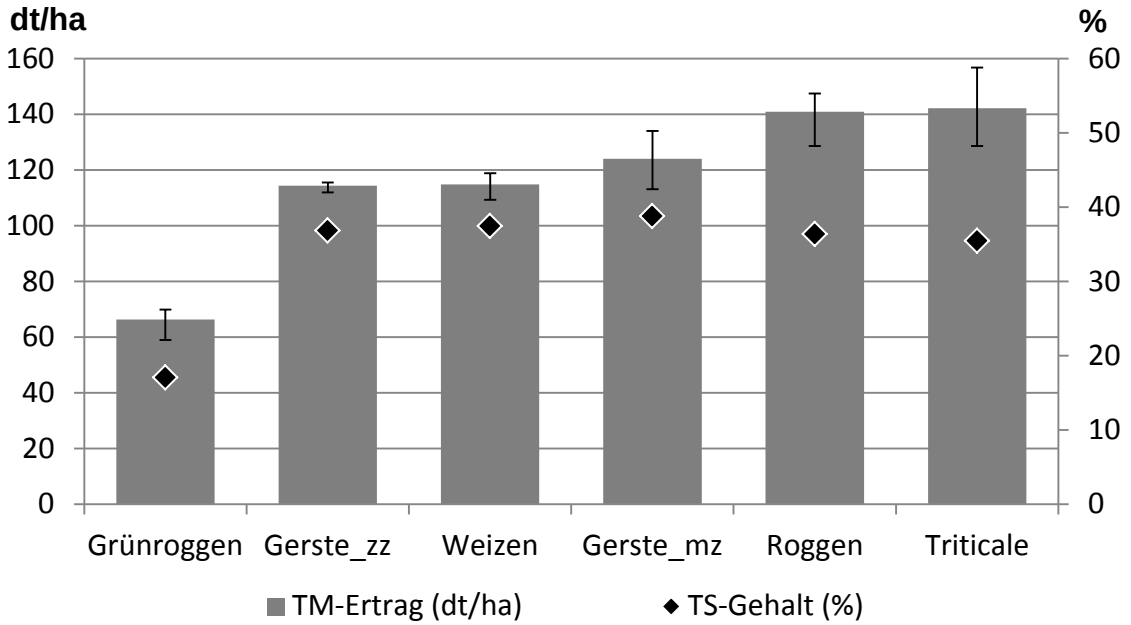


Abbildung 1: Mittlere Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte der Getreidearten, die Sortenunterschiede im Trockenmasseertrag (Min - Max) sind als Balken eingezeichnet

Im Sortenvergleich zeigen Wintertriticalesorten die größten Sortenunterschiede im TM-Ertrag. Zwischen `Massimo´ (Max) und `Cando´ (Min) ergibt sich im Mittel eine Differenz von 28 dt/ha. Die Winterroggen-Populationssorten wie `Matador´ und `Danko´ erreichen einen durchgängig niedrigeren TM- und Kornertrag als die Hybridsorten wie `Balistic´ und `Visello´. Die ertragsstärkste mehrzeilige Gerstensorte im Versuch ist `Lomerit´ (134 dt/ha), sie erreicht gleichzeitig den höchsten Kornertrag, wohingegen bei der ertragsschwächsten spätreifen Sorte Christa der TM-Ertrag im Mittel um 21 dt/ha niedriger ausfiel.
Ein enger linearer Zusammenhang zwischen dem TM-Ertrag und dem Kornertrag konnte nicht durchgängig festgestellt werden. Abhängig von Standort und Jahreseinfluss deutet sich in den Sortimenten von Gerste, Weizen und Triticale eine positive Korrelation des Kornertrages zum TM-Ertrag an. Die Einstufung im Kornertrag kann aber nur einen Hinweis auf das TM-Ertragspotential einer Sorte geben, da die Ausprägung in großem Maße abhängig von den Umweltbedingungen ist. Im Gegensatz dazu war die positive Korrelation zwischen der Pflanzenlänge und dem TM-Ertrag bei Triticale und Grünroggen deutlicher ausgeprägt und beständiger ($R^2 = 0,9$). Langstrohige Sorten dieser Arten haben damit ein höheres GPS-Ertragspotential als kurzstrohige Sorten. Da diese Ergebnisse zeigen, dass keine generelle Abschätzung der Biomasseleistung durch diese Parameter möglich wird, ist zu empfehlen die spezielle Sortenprüfung auf den Trockenmasseertrag zur Bewertung von Getreidesorten für die Verwertungsrichtung Biogassubstrat weiter auszubauen.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 106–107 (2013)

Optimaler Erntezeitpunkt von *Miscanthus* Genotypen zur Biogasnutzung

Andreas Kiesel[1] und Iris Lewandowski[1]

[1] Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergiepflanzen, 70599 Stuttgart, E-Mail: *akiesel@uni-hohenheim*.de

Einleitung

Im Rahmen des EU-Projektes OPTIMISC (FP7/2007-2013 no° 289159) sollen neue *Miscanthus* Genotypen und neue Nutzungsrichtungen für Miscanthus-Biomasse erforscht werden. Ziel des Projektes ist es Genotypen zu identifizieren, die im Vergleich zu *Miscanthus x giganteus* besser angepasst sind an marginale Standorte. Zudem sollen neben der Nutzung als Festbrennstoff neue Nutzungsrichtungen für *Miscanthus*, wie z.B. Bioethanol und Biogas, betrachtet werden.

Insbesondere die Biogaserzeugung wurde in Deutschland im Zuge der Energiewende sehr stark ausgebaut, sodass hier ein großer Absatzmarkt für Biomasse entstanden ist. Allerdings ist nach bisherigem Kenntnisstand *Miscanthus x giganteus* als Biogassubstrat nicht geeignet, was neben dem vergleichsweise geringen substratspezifischen Biogasertrag (ssBE) vor allem mit den negativen Effekten eines Sommerschnittes auf den Ertrag im Folgejahr begründet wird (Fritz und Formowitz, 2010). Allerdings fehlen Erkenntnisse, wie sich der ssBE im Laufe der Vegetationsperiode entwickelt. Eventuell steigt die Schnitttoleranz, wenn nicht im August geerntet werden muss, sondern z.B. erst Ende September.

Der optimale Erntezeitpunkt wird neben dem ssBE insbesondere durch den Trockenmasse-Ertrag (TM-Ertrag) beeinflusst. Untersuchungen haben gezeigt, dass das Maximum des TM-Ertrag im Herbst liegt und z.B. durch Blattfall über den Winter abnimmt (Lewandowski *et al.* 2003). Der optimale Erntezeitpunkt kombiniert folglich einen hohen TM-Ertrag mit einem hohen ssBE.

Ziel dieser Arbeit ist es zur Identifizierung des optimalen Erntetermins für die Biogasnutzung von *Miscanthus* beizutragen und zu überprüfen, ob genotypspezifische Unterschiede bestehen.

Material und Methoden

Die Versuchsfläche (Bodenzahl 57) befindet sich auf der Versuchsstation Ihinger Hof (478 m ü. NN). In den letzten 10 Jahren lag der mittlere Jahresniederschlag bei 714 mm und die mittlere Jahrestemperatur bei 9,1°C. Der *Miscanthus*-Versuch wurde 1997 als randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen etabliert. Für diese Untersuchung wurde je ein Genotyp von *Miscanthus x giganteus* (M.gig), *M. sacchariflorus* (M.sac), *M. sinensis* (M.sin) und zwei *M. sinensis* Hybriden (Hyb. 1, Hyb. 2) beerntet. Die Ernte fand am 07. August, 19. September und 25. Oktober 2012 statt. Da der Versuch nicht beschädigt werden sollte, wurde zur Ermittlung des Ertrages im August und im Oktober jeweils 0,5 m^2 geerntet. Der TM-Gehalt wurde durch Trocknung bis zur Gewichtskonstanz bei 60°C gemessen.

Der ssBE wurde in einem Biogas-Batch-Test gemäß VDI 4630 unter mesophilen Bedingungen (39°C) ermittelt. Als Kontrolle wurde zusätzlich ein Mais-Standard untersucht. Die Proben wurden mit einer Schneidmühle mit einem 1 mm Siebeinsatz gemahlen und anschließend 200 mg organische TM in die 100 ml Gärflaschen eingewogen. Anschließend wurden 30 g gesiebtes Inokulum zugegeben und die Flaschen druckdicht mit einem Septum verschlossen.

Das Inokulum wurde dem Fermenter einer Praxis-Biogasanlage entnommen, welche neben Gülle, Mais-, Getreideganzpflanzen- und Grassilage, auch Rinder- und in kleineren Mengen Pferdefestmist einsetzt. Zur Standardisierung wurde das Inokulum mit entionisiertem Wasser bis 4% TM-Gehalt verdünnt und verschiedene Makro- und Mikronährstoffe, sowie Vitamine zugesetzt. Der Druckanstieg in den Gärflaschen wurde gemessen und in Normvolumen (1013 hPa, 0°C) umgerechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Der TM-Ertrag lag bei allen Genotypen sowohl im August, als auch im Oktober zwischen 14,5 und 22,4 t TM ha^{-1}. Den höchsten Ertrag im August erzielte M.sac mit 19,2 t TM ha^{-1}, im Oktober M.gig mit 22,4 t TM ha^{-1}. M.sin und Hyb. 2 erreichten mit 20,0 und 16,2 t TM ha^{-1} im Oktober ihr Ertragsmaximum, Hyb.1 mit 17,3 t TM ha^{-1} im August. Zwischen den Ernteterminen waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar, da sich die Bestände, verursacht durch Schneebruch, bereits im Oktober im Lager befanden. Dies erschwerte die Erhebung der Erträge und wirkte sich negativ auf die Standardabweichung aus.

Bei allen Genotypen war der ssBE im Oktober signifikant geringer als im August und September (Abbildung 1). Bei M.gig wies die im September geerntete Biomasse einen geringeren ssBE auf, als die im August geerntete. Bei allen anderen Genotypen war kein signifikanter Unterschied zwischen August und September feststellbar. Die aus den Daten berechneten Biogashektarerträge waren aufgrund der geringeren Unterschiede des ssBE stärker vom TM-Ertrag abhängig. Die höchsten Biogashektarerträge erzielte M.gig und M.sac mit 10.221 und 9.918 m_N^3 ha^{-1}.

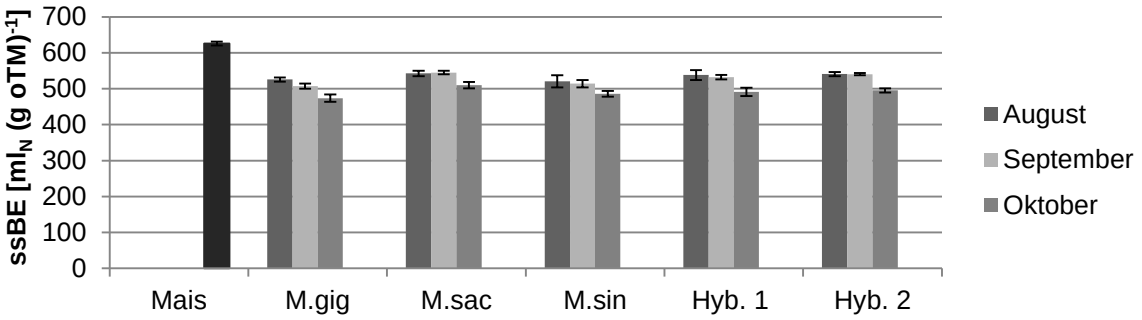


Abbildung 5: Substratspezifischer Biogasertrag (n=12, Mais-Standard: n=8, Hyb. 2 September: n=4)

Fazit dieser Untersuchung ist, dass der optimale Erntetermin vom Genotyp abhängig ist. Die Optimierung des Biogashektarertrages sollte, aufgrund des größeren Einflusses, insbesondere am TM-Ertrag ausgerichtet werden. Genotypen der Unterarten *M. sacchariflorus*, *M. sinensis* und Hybriden scheinen vielversprechender zu sein, da ihr ssBE im Zeitverlauf stabiler war. Dies begünstigt eine spätere Ernte und kann sich so positiv auf die Schnitttoleranz auswirken. Allerdings muss der optimale Erntetermin die Auswirkungen auf den Ertrag im Folgejahr berücksichtigen, dies muss in weiteren Untersuchungen erst noch analysiert werden.

Literatur

Fritz M und B Formowitz, 2010: Eignet sich *Miscanthus* als Biogassubstrat? Biogas Forum Bayern, Hrsg. ALB Bayern e.V., Freising

Lewandowski I, Clifton-Brown J C, Andersson B, Basch G, Christian D G, Jorgensen U, Jones B, Riche A B, Schwarz K U, Tayebi K und F Teixeira 2003: Environment and Harvest Time Affects the Combustion Qualities of *Miscanthus* Genotypes. Agronomy Journal 95:1274-1280 (2003)

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 108–109 (2013)

Optimierung von Biogasfruchtfolgen unter bayerischen Bedingungen

Dorothea Hofmann[1], Christine Riedel[1], Dr. Ewald Sticksel[2], Dr. Joachim Eder[1]

[1] Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising;
[2] Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Versuchsbetriebe, Freising.
E-Mail: *dorothea.hofmannl@lfl.bayern.de*

Einleitung

Die Substratproduktion für Biogasanlagen wird vorwiegend durch den ertragsstarken Silomais, der oftmals in engen Fruchtfolgen angebaut wird, bestimmt. Ausgewogene standortangepasste Fruchtfolgen sind aber das Fundament nachhaltiger Landwirtschaft und beinhalten das Einbeziehen weiterer Kulturen. Auch der Einzug des Maiswurzelbohrers in Ost- und Südwestbayern erfordert die Reduzierung des Silomais in der Fruchtfolge. Getreide mit der Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) bietet in der Fruchtfolge eine Vielzahl von pflanzenbaulichen Vorteilen. Die vorgezogene Ernte der GPS gegenüber der Körnernutzung ermöglicht den Anbau nachfolgender Kulturen, die als Substrat genutzt werden können. Um praxisrelevante Empfehlungen für die Fruchtfolgegestaltung zu erhalten, ist die Bewertung des Leistungspotentials der Getreidearten sowie möglicher Anbaukombinationen mit geeigneten Zweitfrüchten nötig.

Material und Methoden

In einem vierjährigen (2007-2010) Parzellenversuch an drei bayerischen Standorten wurden ausgewählte Wintergetreidearten (Gerste, Roggen, Triticale) mit Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) in Kombination mit möglichen Zweitfrüchten hinsichtlich ihrer Ertragsleistung an Trockenmasse und Methan im Vergleich zu Silomais bzw. Silomais kombiniert mit Grünroggen bewertet.

Der Versuch wurde als zweifaktorielle Blockanlage mit drei Wiederholungen angelegt. Die Standorte repräsentierten die Mittelfränkische Trockenlage (Ansbach: sL, AZ 44, langj. 633 mm Niederschlag; langj. 7,7 °C), das feucht-kühle Tertiäre Hügelland (Freising: uL, AZ 63, langj. 788 mm Niederschlag; langj. 7,5 °C) und die warme Niederbayerische Gäulage (Straubing: uL, AZ 76, langj. 783 mm Niederschlag; langj. 8,3 °C).

Die Ernte der Getreidearten fand zu drei Zeitpunkten im Zeitfenster der optimalen Siloreife von 28-40% Trockensubstanzgehalt statt. Lediglich der Grünroggen wurde bereits Mitte des Ährenschiebens bei ca. 18 % Trockensubstanz(TS)-Gehalt geerntet.

Die ausgewählten Zweitfrüchte Silomais, Hirse (*Sorghum bicolor*), Sonnenblume, Hafer, Sommertriticale und Weidelgräser wurden entsprechend der gestaffelten Ernte zu zwei Saatzeitpunkten (Anfang Juni, Mitte Juni) gesät. Eine Weidelgras-Mischung wurde im Herbst zeitgleich mit Winterroggen in einem Untersaatverfahren etabliert.

Die spezifischen Methanausbeuten wurden in der Batch-Versuchsanlage am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der LfL nach den Richtlinien der VDI 4630 (ANONYMUS 2006) ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Getreidearten erzielten in Abhängigkeit vom Standort und Art Trockenmasse (TM) - Erträge von 90 – 175 dt ha^{-1}. Das Ertragspotential stieg mit Abfolge der Erntereife an. Die Wintergerste erlangte bereits Ende Mai/Anfang Juni die Siloreife. Gemittelt über die Jahre und Standorte reichten die TM Erträge von 100 - 125 dt ha^{-1}. Winterroggen erbrachte 120 - 140 dt TM ha^{-1}. Als ertragsstärkste Art stellte sich Wintertriticale mit 140 – 160 dt TM ha^{-1} dar, die zudem die höchsten Ertragszuwächse von 20 dt TM/Woche verzeichnete. Der Standorteinfluss ging mit Schwankungen von 8 - 10 % ein, wobei der feucht-kühle Standort Freising sich am ertragsstärksten zeigte, während die niedrigsten Werten in der Trockenlage Ansbach ermittelt wurden.

Die spezifischen Methanausbeuten der verschiedenen Getreidearten zu den unterschiedlichen Erntezeitpunkten lagen im Bereich von 340 – 365 Nl kg oTS^{-1}. Zwischen den Arten gab es nur geringfügig Unterschiede, innerhalb einer Art sank mit fortschreitender Reife die Methanausbeute leicht, insgesamt waren die Differenzierungen nicht signifikant. Somit spiegeln die daraus errechneten Methanhektarerträge im Bereich von 3640 – 4670 m³ CH_4 ha^{-1} das Bild der Trockenmasseerträge wider. Die für den Landwirt wirtschaftlich relevante Größe stellt damit der Trockenmasseertrag dar.

Das Ertragsniveau der Zweitfrüchte lag in einen weiten Bereich von 40 – 150 dt TM ha^{-1}, wobei der Silomais sich auch hier als ertragsstärkste Kultur präsentierte.

Mit Ausnahme der Sommergetreidearten und des zu Anfang Juni gesäten Mais wiesen alle Zweitfrüchte zur Ernte im Herbst einen TS-Gehalt unter 25 % auf und waren damit nicht silierfähig. Bedingt durch diese Schwäche sowie die geringen Erträge insbesondere bei den Sommergetreidearten sind die meisten Zweitfrüchte als derzeit nicht anbauwürdig einzustufen. Ausnahme bilden die mehrschnittigen Gräser, die angewelkt werden können und sich im Untersaatverfahren auf dem Standort mit guter Wasserversorgung mit 120 dt TM ha^{-1} als ertragsstark zeigten. In der Trockenlage ließen sich jedoch nur 60 dt TM ha^{-1} realisieren. Damit ist diese pflanzenbaulich sinnvolle Kombination von Winterroggen-Deckfrucht und Weidelgras-Untersaat stark standortabhängig. In der Summe erbrachte das Verfahren bei guter Wasserversorgung 90 % des Silomaisertrages.

Die Erträge von Gerste kombiniert mit Silomais in Zweitfruchtstellung lagen im Mittel der Jahre und Standorte auf dem Niveau von Silomais in Hauptfruchtstellung. In Einzeljahren mit außergewöhnlich viel Niederschlägen sowie auf dem Standort Freising mit guter Wasserversorgung konnte, aufgrund von hohen Erträgen des Zweitfruchtmais, in der Summe ein Mehrertrag erwirtschaftet werden.

Die ertragsstärkste Getreideart Wintertriticale verzeichnete gegenüber dem Silomais einen deutlichen Ertragsnachteil. Im Mittel wurden 65% des Maisertrages erreicht. Wintertriticale bietet die Möglichkeit das Ertragspotential der Getreidearten auszunutzen, aufgrund der späten Ernte lohnt danach aber ein Zweitfruchtanbau zur Steigerung der Biogaserträge nicht mehr. Es bietet sich ein Zwischenfruchtanbau mit den bekannten positiven Effekten auf die Fruchtfolge an.

Der Grünroggen kombiniert mit Silomais lieferte bei allen Standorten einen geringen Mehrertrag gegenüber dem Silomais ohne Vornutzung.

Literatur

Anonymus (2006): Vergärung organischer Stoffe – Substratcharakterisierung, Probenahme, Stofferhebung, Gärversuche. VDI Richtlinie 4630, Verein Deutscher Ingenieure

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 110–111 (2013)

Strukturelle Vielfalt eines agroforstwirtschaftlichen „Alley-Cropping“ Systems als Chance für die Nachhaltigkeit

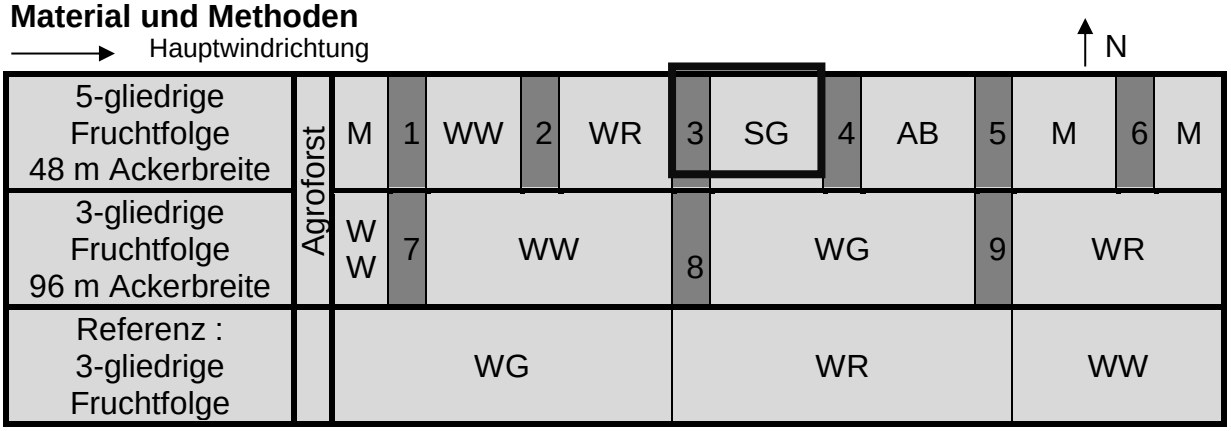
Justine Lamerre[1], Kai-Uwe Schwarz[1], Maren Langhof[1], Simone Bliefernich[1] und Jörg-Michael Greef[1]

[1] Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig.
E-Mail: *justine.lamerre@jki.bund.de*

Einleitung

Mit „Alley-Cropping“ bezeichnet man Agroforstsysteme, in denen Bäume und Ackerkulturen streifenförmig nebeneinander angebaut werden (Shibu Jose & Ramachandran, 2008). Seit 2008 wird ein derartiges System mit Pappelkurzumtriebs- und Ackerstreifen in der Nähe von Braunschweig (Niedersachsen) vom Julius Kühn-Institut bewirtschaftet. In der zweiten Phase des Projektes *AgroForstEnergie* wird die Nachhaltigkeit und Produktivität dieses Systems untersucht. Ein Kriterium für Nachhaltigkeit ist, dass die Produktivität des Gesamtsystems im Vergleich zur Produktivität der beiden Hauptkomponenten Ackerbau und Holzproduktion nicht reduziert ist und die biologische Vielfalt erhalten bleibt bzw. zunimmt.

Material und Methoden



WW: Winterweizen, WG: Wintergerste, WR: Winterraps, AB: Ackerbohne, M: Mais, SG: Sommergerste. 1-9: Nummer des Baumstreifens und östlich anschließenden Ackerstreifens

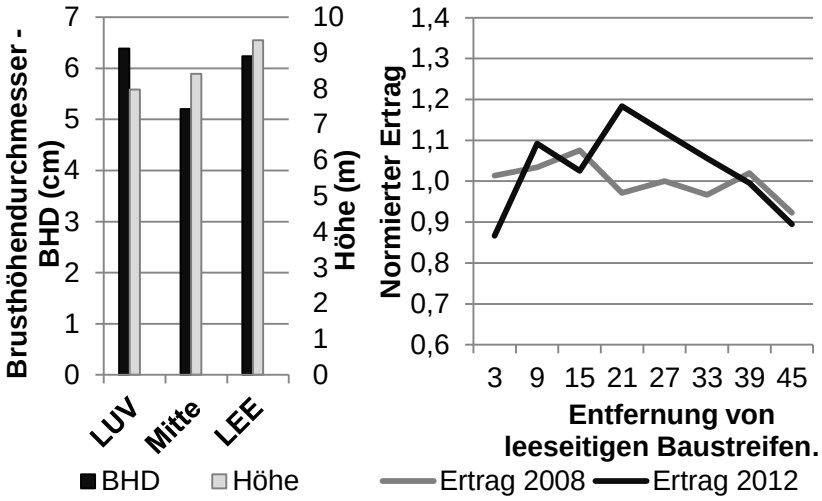
Abbildung 1: *Feldplan der Agroforstanlage 2012*

In der Versuchsanlage alternieren Pappelstreifen mit Ackerstreifen. Im nördlichen Teil der Versuchsanlage sind die Ackerstreifen 48 m breit mit 5-gliedriger Fruchtfolge, im mittleren Teil sind sie 96 m breit mit 3-gliedriger Fruchtfolge (Abb. 1). Im südlichen Teil wurden Referenzackerflächen ohne Baumstreifen in 3-gliedriger Fruchtfolge angelegt. Die Ackerkulturen wurden mit einem GPS-gesteuerten Mähdrescher geerntet und die Positions- und Ertragsdaten während der Ernte gespeichert. Die Rohdaten wurden mit ArcGIS weiterverarbeitet und anschließend der Ertrag bei 14 % Kornfeuchtigkeit berechnet. Um die räumlichen Ertragsverläufe der unterschiedlichen Kulturen miteinander vergleichen zu können, erfolgte eine Normierung der Ertragsdaten, indem der Wert eines jeden Erntepunktes einer Kultur durch den jeweiligen arithmetischen Mittelwert der Gesamternte dieser Kultur dividiert wurde. Zusätzlich wurden die Ertragskomponenten des Wintergetreides bestimmt. Die Biomasseproduktion der Pappeln aus den Baumstreifen wurde im

Rahmen einer Ertragsschätzung im Winter 2012/2013 erfasst, indem die Brusthöhendurchmesser sowie die Baumhöhen gemessen wurden.

Ergebnisse und Diskussion

Die berechneten normierten Erträge der Ackerkulturen des Jahres 2012 wurden in Abhängigkeit der Entfernung vom Baumstreifen mit denen des Jahres der Etablierung der Agroforstanlage (2008) verglichen. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse exemplarisch für die Sommergerste. Während der Ertrag der Sommergerste in unterschiedlichen Entfernungsstufen vom Baumstreifen im Jahr 2008 relativ gleichmäßig ausfiel, lag er 2012 in unmittelbarer Nähe der Bäume unter dem Felddurchschnitt (Abb. 2). Ein Grund für die räumlichen Ertragsunterschiede kann der Laub- und Schattenwurf der Bäume sein. Im Jahr 2012 waren die Bäume bereits über 9 m hoch (Abb. 2) und warfen zwischen Mai und Juni einen Schatten, der sich bis zu 15 m in den windgeschützten, leeseitigen Bereich des Ackers erstreckte. Zwischen 21 und 33 m Entfernung leeseits des Baumstreifens war der Ertrag der Sommergerste in 2012 deutlich höher als 2008 (Abb. 2). Dies kann u.a. mit dem auf der Fläche nachgewiesenen Windbremseffekt durch die Baumstreifen erklärt werden.



a. b.

Abbildung 2: *Brusthöhendurchmesser (BHD) und Höhe der Bäumen im Streifen 3 (a) und normierter Ertrag der Sommergerste in unterschiedlichen leeseitigen Entfernungen vom Baumstreifen in 2008 und 2012 (b)*

Einen weiteren Hinweis auf die Ursachen der Ertragsunterschiede liefert die Bestandesdichte des Getreides. Diese war im Frühjahr 2013 in den ersten Reihen neben den Baumstreifen nur halb so hoch wie in der Mitte des Ackerstreifens. Aufgrund des schweren Bodens fand die Getreideaussaat schon Ende September 2012 statt. Der Laubfall setzte erst im Oktober ein und führte letztendlich zu einem Bedeckungsgrad von 95% auf der Ackerfläche in den ersten Metern leeseits des Baumstreifens; der dadurch hervorgerufene Lichtmangel führte zum Absterben einiger Keimlinge. Das Laub wurde bis zu einer Tiefe von 10 m im Ackerstreifen gefunden. Auch bei den Baumstreifen sind Randeffekte zu beobachten. Die äußeren Bäume der lee- und luvseitigen Bereiche wiesen größere Brusthöhendurchmesser als die mittleren Bäume auf (Abb. 2). Dies lässt sich mit den am Rand vorherrschenden besseren Wachstumsbedingungen für die Bäume erklären (mehr Licht und Platz). Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die auf der Fläche eingebrachte streifenförmige Agrarholz-Struktur die räumliche Produktivität des gesamten Systems beeinflusst.

Literatur

Shibu Jose S.C.A., and P.K. Ramachandran Nair. (2008) Tree–Crop Interactions : Lessons from Temperate Alley-Cropping Systems, in: R. K. K. Daizy Rani Batish, Shibu Jose, Harminder Pal Singh (Ed.), Ecological Basis of Agroforestry CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton. pp. 15-36.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 112–113 (2013)

Sensorgestützte Analyse der Ertragsvariabilität von Winterweizen in einem Agroforstsystem mit schnellwachsenden Gehölzen zur Bioenergieerzeugung

Magdalena Ochsenbauer[1], Thomas Machl[2], Franz-Xaver Maidl[3], Matthäus Schilcher[2], Kurt-Jürgen Hülsbergen[3]

[1] Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Information und Wissensmanagement, Freising; [2] Technische Universität München, Lehrstuhl für Geoinformatik, München; [3]Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising.
E-Mail: *magdalena.ochsenbauer@lfl.bayern.de*

Einleitung

In den letzten Jahren ist das Interesse an einer ressourcenschonenden, multifunktionellen Landwirtschaft deutlich gestiegen. Agroforstsysteme mit schnellwachsenden Gehölzen zur Bioenergieerzeugung können zu positiven agrarökologischen Effekten führen und zugleich die Produktivität steigern. Hierbei ist entscheidend, ob insgesamt eher synergistische oder konkurrierende Effekte zwischen der Forst- und Agrarkomponente existieren. Um den Einfluss von Gehölzstreifen auf das Wachstum von Ackerkulturen zu quantifizieren wurde der Ertrag der Ackerkultur bisher meist mit Hilfe von in Transekten quer zu den Baumreihen angeordneten Parzellen oder in Streifen entlang der Baumreihen gemessen. Mit diesen Methoden lässt sich die kleinräumige Variabilität jedoch nicht ausreichend erfassen. Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht daher die räumliche Analyse der Wachstumsvariabilität eines Weizenbestands mit Hilfe von Spektralsensormessungen. Zudem ist es möglich, die Messung zu mehreren Zeitpunkten zu wiederholen und somit auch die zeitliche Veränderung des Wachstums zu analysieren. Bei der Messung wird das Reflexionsspektrum der Pflanzenoberfläche des Weizens im sichtbaren und nahinfraroten Bereich (350 nm bis 1050 nm) erfasst. Das Reflexionsverhalten des Pflanzenbestandes ist von der Chlorophyllkonzentration und vom strukturellen Aufbau des Blattes abhängig. Es besteht dabei ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem daraus abgeleiteten Vegetationsindex REIP (Red Edge Inflection Point) und der Biomasse.

Material und Methoden

Als Versuchsstandort dient ein silvoarables Agroforstsystem der Versuchsstation Scheyern, in dem mehrere Baumarten (Pappel, Weide, Robinie, Erle, Einheimische Mischung) im Jahr 2009 zur energetischen Nutzung etabliert wurden (Umtriebszeit: 4 Jahre). Mit einem Spektrometer wurden die Reflexionsmessungen in der Vegetationsperiode im Jahr 2012 zu mehreren Entwicklungsstadien des Winterweizens durchgeführt und anschließend aus einzelnen Wellenlängen der Vegetationsindex REIP berechnet. Zu jedem einzelnen Messpunkt wurde die Position mit einem RTK-GPS erhoben.

Um eine flächendeckende Aussagen über die Wachstumsvariabilität treffen zu können, wurden die REIP-Werte an den nicht erfassten Positionen vor dem Hintergrund der distanz- und richtungsabhängigen Autokorrelation anhand der umliegenden, gemessenen Punkte geschätzt. Als Grundlage für die räumliche Interpolation (Ordinary Kriging) diente ein an das experimentelle angepasstes theoretisches Variogramm. Beim Kriging flossen die 20 am nächsten gelegenen Nachbarn bis zu einer maximalen Distanz von 10 m in die Schätzung ein. Zur

Abschätzung der Größe des Interaktionsbereichs wurden die Interpolationsergebnisse auf Basis von 33 % Quantilen in drei Zonen (niedriges, mittleres, hohes Ertragsniveau) eingeteilt.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis der geostatistischen Interpolation mit anschließender Klassifizierung für die erste Messung zum EC-Stadium 32 des Winterweizens. Niedrige REIP-Werte befinden sich in den meisten Fällen direkt neben den Gehölzstreifen. In der Mitte der jeweiligen Abschnitte existieren Bereiche mit höheren REIP-Werten. Bei den Analysen zeigen sich deutliche Unterschiede in der Größe der Interaktionszone für Schatten- (ø 5.3 m) und Sonnenseite (ø 2.2 m). Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass in einem Agroforstsystem insbesondere die Verschattung der Ackerkultur durch die Bäume einen Einfluss auf das Wachstum haben kann.

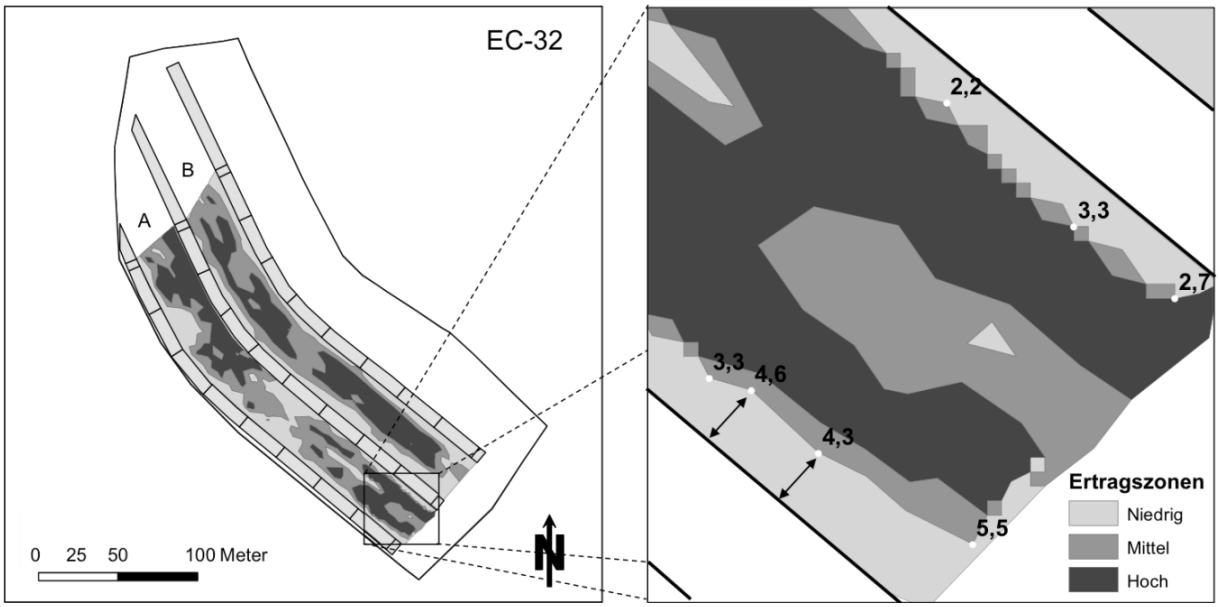


Abb. 1: Ertragszonen auf Basis der interpolierten REIP-Werte (EC-32); Breite der Interaktionszone in Metern (rechts)

Während der Ertrag bisher nur in definierten Abständen zu den Baumreihen ermittelt wurde, konnten mit den hier vorgestellten Verfahren erstmals der Bestand flächenhaft dargestellt und daraus Ertrags- bzw. Biomassezonen abgeleitet werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit dienen als Basis für weitere agrarökonomische und -ökologische Fragestellungen.

Literatur

Ochsenbauer M., Machl T., Maidl F.-X., Hülsbergen K.J., Schilcher M., 2013: Geostatistische Analyse der Wachstumsvariabilität von Winterweizen in einem Agroforstsystem auf Basis von Spektralmessungen. 18. Münchener Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme: 320-329.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 114–115 (2013)

Einflüsse auf die Erntequalität von Ackerfrüchten in Agroforstsystemen

Jung, L.S., Bärwolff, M. und Vetter, A.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena bzw. Dornburg-Camburg.
E-Mail: *linda.jung@tll.thueringen.de*

Einleitung

Agroforstwirtschaft bezeichnet den gleichzeitigen Anbau von Bäumen und einjährigen Kulturen auf einer Fläche. Eine moderne Spezialform der Agroforstsysteme (AFS) stellt der streifenförmige Anbau von schnellwüchsigen Bäumen wie Pappeln oder Weiden im Kurzumtrieb innerhalb landwirtschaftlicher Ackerflächen dar. Die Energieholzstreifen üben vor allem über die Veränderung des Mikroklimas zahlreiche Einflüsse auf die Ackerkultur aus. So können eine reduzierte Windgeschwindigkeit und erhöhte Feuchtigkeit in der Nähe der Gehölzstreifen v.a. bei extremen Wetterlagen ausgleichend wirken und zu erhöhten Erntegutqualitäten führen. Andererseits können beide Faktoren Pilzkrankheiten begünstigen und die Qualität des Ernteguts mindern. Eine Untersuchung dieser Fragestellungen erfolgt im Rahmen des Verbundprojekts AgroForstEnergie.

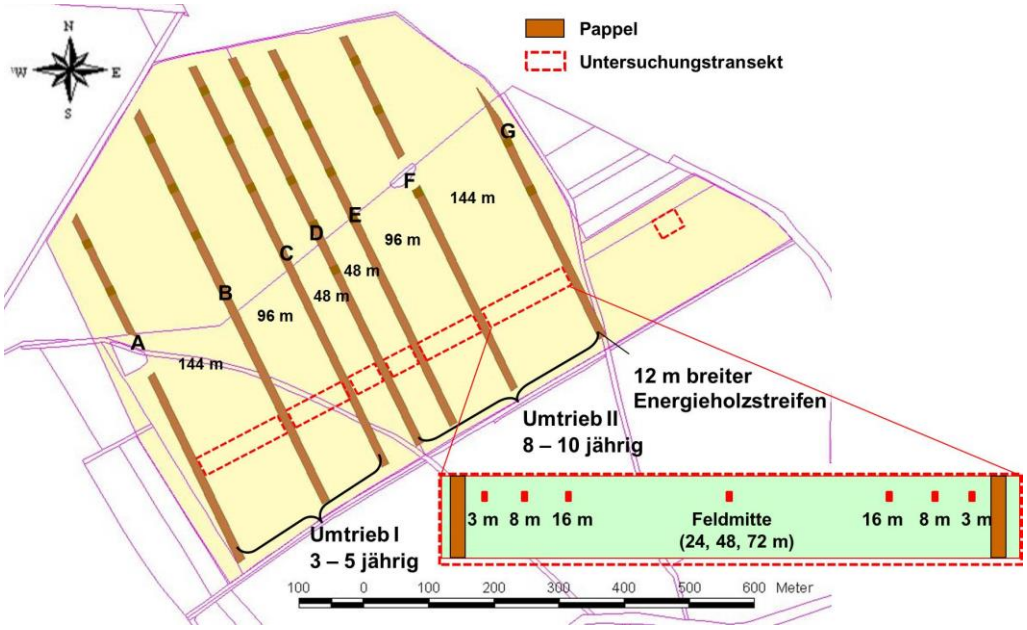


Abb. 1: Anlageplan des Agroforstsystems Dornburg, Thüringen.

Material und Methoden

Die Untersuchungsfläche befindet sich in Dornburg, Thüringen. Anfang 2007 wurde auf einem 50 ha Schlag ein Agroforstsystem mit sieben Pappelstreifen (A-F) in unterschiedlichen Abständen zueinander angelegt (Abb. 1). Dazwischen erfolgt der Anbau von Winterweizen (WW), Sommergerste (SG, Braugerste), Winterraps (WR). Die Pappelstreifen A-C und D-G wurden mit jeweils 10000 bzw. 2222 Bäumen/ha unterschiedlich dicht bepflanzt und sind damit auf unterschiedliche Umtriebszeiten ausgerichtet (Abb. 1). Die Streifen A-C wurden Anfang 2011 erstmalig beerntet. Die Datenerfassung erfolgte in einem quer zu den Gehölzstreifen liegenden Transekts

(Abb. 1) in verschiedenen Abständen zu den Streifen (Prüfglieder) mit 4facher Wiederholung je Prüfglied, i.d.R. wurden jedoch nur wenige Feldstreifen und damit Prüfglieder beprobt. Im WR 2009, sowie in SG 2011 und 2012 (Anbau 2x hintereinander) erfolgte eine Bonitur auf *Phoma lingam* bzw. Echtem Mehltau. Proben des Ernteguts wurden auf den Trockensubstanzgehalt (TS), sowie folgende Parameter untersucht: im WR: Tausendkornmasse (TKG) und Rohfettgehalt, im WW: Hektolitergewicht (hl), Rohprotein (RP), Fallzahl (FZ), Sedimentation (S), und in SG: hl, TKG, RP und die Mykotoxine Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA).

Ergebnisse und Diskussion

Ein Einfluss der Gehölzstreifen wurde teilweise für Pilzkrankheiten und einige Qualitätsparameter des Ernteguts bis in 3 m Abstand (in Ausnahmen 6 m) vom Streifen und vorwiegend auf der windabgewandten Seite (für Hauptwindrichtung West) nachgewiesen. Im WR fand sich kein Hinweis für erhöhten *Phoma lingam* Befall. In der SG hingegen trat sowohl 2011 als auch 2012 erhöhter Mehltaubefall auf (Abb. 2). Als ursächlich wird die verstärkte Beschattung und verminderte Luftbewegung in der Nähe der Gehölzstreifen und die damit einhergehenden höhere Luftfeuchtigkeit gesehen. Die TS des Ernteguts waren in Gehölzstreifennähe bei allen Kulturen um etwa 1% verringert. Bei WR fand sich ein um 2 % verringerter Rohfettgehalt. Der RP in SG war in beiden Jahren erhöht, während für hl, TKG und VK in Streifennähe verringerte Werte vorlagen. Die Ergebnisse für SG 2012 zeigten zudem einen deutlich stärkeren Einfluss der bisher unbeernteten ca. 8 m hohen Pappelstreifen D-F im Vergleich zu den 2011 beernteten Streifen A-C mit einer Höhe von etwa 5 m. Die Gehalte für DON und ZEA lagen in der SG 2011 und 2012 deutlich unter dem Grenzwert und waren bis auf DON 2012 nicht von den Gehölzstreifen beeinflusst. Die durch die Gehölzstreifen bedingte Veränderung der Qualitätsparameter ist im kühleren und feuchteren Mikroklima sowie der geringeren Sonneneinstrahlung und dem damit verbundenen verzögerten Reifeprozess der Ackerfrucht zu suchen. Eine weitere Ursache liegt vermutlich in der Wasser- und Nährstoffkonkurrenz begründet. Unterschiedliche Bodenverhältnisse müssen ebenso berücksichtigt werden. Bisherige Ergebnisse zeigen keine bzw. sehr geringe negative Einflüsse von Gehölzstreifen auf die Ackerfrucht. Da das AFS in Dornburg noch sehr jung ist, sind weitere Untersuchungen nötig, um fundierte Aussagen zu treffen.

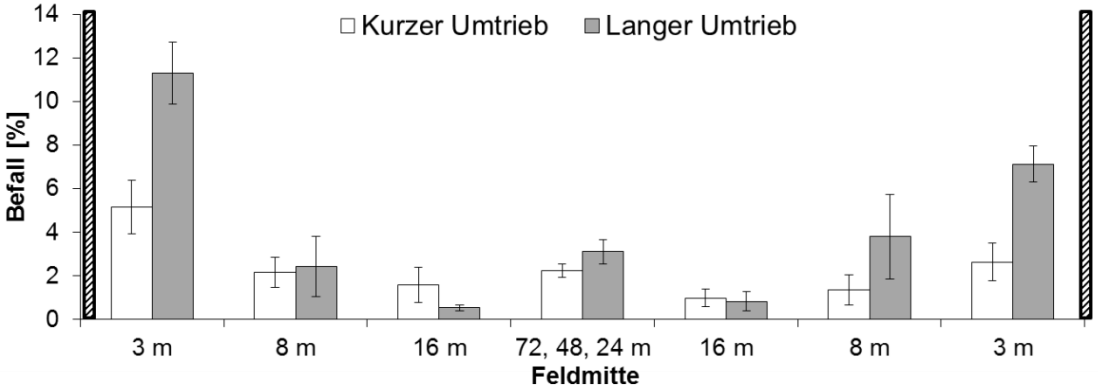


Abb. 2: Mittlerer Mehltaubefall zweier Blattetagen bei Sommergerste 2012 in Abhängigkeit vom Abstand zum Gehölzstreifen und der Umtriebszeit im Agroforstsystem Dornburg. Schwarze schraffierte Balken = Gehölzstreifen.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 116–117 (2013)

Abschätzung der Wirkung von Agroforstsystemen in der Erosionsmodellierung am Beispiel der Versuchsstation Scheyern

Siebrecht, N.[1], Birke, C. [1], Schmid, H. [1] und Hülsbergen, K.-J. [1]

[1] Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising. E-Mail: *claudius.birke@tum.de*

Einleitung

Aufgrund des steigenden Bedarfs an Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen gewinnen Agroforstsysteme zunehmend an Bedeutung. Die Integration von schnellwachsenden Gehölzen in landwirtschaftliche Flächen bietet neben der Produktion thermisch verwertbarer Biomasse die Möglichkeit, einen Beitrag zum Boden- und Gewässerschutz sowie zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit zu leisten (Blanco & Lal 2008). Insbesondere Alley-Cropping-Systeme können einen großflächigen Erosionsschutz gewähren (Bender et al. 2009), wodurch die Auswaschungs- bzw. Austragsgefahr von Düngemitteln und Pestiziden verringert wird (Böhm et al. 2010).

Um die Leistungen zu verifizieren und deren Wirkungen zu optimieren muss geklärt werden, wie Agroforstsysteme die Erosion beeinflussen und wie hoch ihre schützende Wirkung ist. Im Rahmen einer Forschungsarbeit wurde der Beitrag von Alley-Cropping-Systemen zum Bodenschutz untersucht (Birke 2013). Da Bodenabträge in Folge des episodischen Auftretens nur in Einzelfällen gemessen werden können, lag der Schwerpunkt auf der Erosionsmodellierung. Ausgehend von der Frage wie solche Systeme in der Berechnung berücksichtigt werden können, wurde das Praxisbeispiel des Versuchsguts Scheyern bearbeitet, auf dem im Jahr 2009 entsprechende Systeme etabliert wurden.

Material und Methoden

In der Literatur werden unterschiedlichste Agroforstsysteme beschrieben. Eine weit verbreitete Form ist das Alley-Cropping-System. Dieses ist durch eine räumliche Trennung von Feldkulturen zwischen Gehölzstreifen charakterisiert. Deren Wirkung im Erosionsprozess ist wie folgt zu differenzieren:

- Schutz des Bodens durch Bodenbedeckung (Kronendach) - Standbereich,
- Beeinflussung des Abflussgeschehens (Erhöhung Oberflächenrauigkeit, reduzierte Abflussgeschwindigkeit, erhöhte Infiltrationsleistung) und Reduzierung der wirksamen Hanglänge - Gesamtfläche - und
- eine Verringerung der Bodenerodierbarkeit (erhöhte Stabilität, Zufuhr org. Substanz) - Standbereich.

Ausgehend von diesen Wirkungen stellt sich die Frage, ob bzw. wie diese Aspekte in der Erosionsmodellierung berücksichtigt werden können. Eines der am weitesten verbreiteten Erosionsmodelle Deutschlands ist die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG), welche auf dem Modell der Universal Soil Loss Equation (USLE) basiert. Festzuhalten ist, dass derzeit keine Möglichkeiten im Modell bestehen, um die Wirkungen (s.o.) adäquat zu integrieren. Eine Weiterentwicklung der USLE ist die Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) bzw. RUSLE 2 (Foster et al. 2003), die aufgrund von Neuerungen geeignet scheint, um die Wirkungen der Gehölzstrukturen abzubilden. Besonders hervorzuheben ist das eingeführte

Subfaktorenkonzept, durch das die Berechnung des C-Faktors („Einfluss der Bewirtschaftung“) anhand von fünf Subfaktoren erfolgt (Cc: canopy cover, Gc: ground cover, Sr: soil roughness, Sb: soil biomass, Sc: soil consolidation). Dabei zeigte sich, dass in Agroforstsystemen vor allem eine dichte Bodenvegetation (Gc), eine hohe Wurzelmasse (Sb) und die andauernde Bodenruhe (Sc) ausschlaggebend für die Reduzierung der Bodenerosion sind.

Ergebnisse und Diskussion

Die o.g. Wirkungen konnten insgesamt durch Anpassung des Hanglängenfaktors L (hydrologische Modellierung) und des Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktors C in die Berechnung einfließen. Durch die Modellierung des hydrologischen Abflusses ist die abflussregulierende Wirkung der Gehölzstreifen zu integrieren.

Es werden jedoch weitere Anpassung empfohlen, um den Einfluss von Agroforstsystemen besser abbilden zu können. Im K-Faktor (Erodibilität des Bodens), so wie dieser in der RUSLE2 realisiert ist, könnten langfristige Veränderungen, die z.B. durch Anreicherung organischen Materials entstehen, berücksichtigt werden. Die Berechnung des Hanglängenexponenten (L-Faktors) als zeitlich variable Größe in Abhängigkeit von der Bodentextur, Bodenbiomasse, Bodensetzung und Bodenbedeckung scheint sehr sinnvoll. Mit Hilfe der Depositionsgleichung der RUSLE2 wäre es darüber hinaus möglich, Abtragungs- und Ablagerungsprozesse in Agroforstsystemen darzustellen.

Mit Hilfe des angewandten Ansatzes konnte für das Agroforstsystem in Scheyern eine durchschnittliche Reduzierung der Bodenabträge um 34,5 % ermittelt werden. Modellierungen haben gezeigt, dass die Optimierung der Ausrichtung sogar eine Minderung um 54 % bewirken könnte.

Festzuhalten bleibt, dass das Modell aufgrund der guten Parametrisierung und der hohen Anpassbarkeit als sehr geeignet einzuschätzen ist, um die Wirkungen von Agroforstsystemen in der Erosionsmodellierung zu integrieren. Problematisch erweist sich jedoch, dass die exakte Berechnung die Angabe vieler Parameter erfordert, die bisher nicht oder nur bedingt für Deutschland vorliegen. Aus diesem Grund wäre eine Standortadaption auf mitteleuropäische Verhältnisse wünschenswert.

Literatur

Bender, B., Chalmin, A., et al. & Spiecker, H. (2009): Moderne Agroforstsysteme mit Werthölzern – Leitfaden für die Praxis. Meisterdruck, Reute.

Blanco, H. & Lal, R. (2008): Principles of Soil Conservation and Management. Agro-forestry. Springer Science + Business Media B.V. USA. 259 - 281.

Böhm, C., Quinkenstein, A., Freese, D., Hüttl, R.F. (2010): Energieholzproduktion in Agroforstsystemen als ein Beitrag zur Verbesserung des Bodenschutzes. In: Bo-denschutz in Europa – Ziele und Umsetzung, 6. Marktredwitzer Bodenschutztage, Tagungsband. Bayern. 78 - 84.

Birke, C. (2013): Abschätzung der Wirkung von Agroforstsystemen auf Bodenerosion durch Wasser am Beispiel der Versuchsstation Scheyern. Masterarbeit am Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme. Weihenstephan, Freising.

Foster, G., Yoder, D., Weesies, G., McCool, D., McGregor, K. & Bingner, R. (2003): User`s Guide – Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2). USDA – Agricultural Research Service, Washington, D.C., USA, 77.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 118–119 (2013)

Kohlenstoffbindung in ökologisch und integriert bewirtschafteten Agroforstsystemen der Versuchsstation Scheyern/ Bayern

Julia Huber[1], Harald Schmid[1], Karl-Heinz Häberle[2], Helmut Blaschke[2], Kurt-Jürgen Hülsbergen[1]

[1] Technische Universität München, Lehrstuhl für ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, 85350 Freising. Julia.Huber@wzw.tum.de; [2]Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökophysiologie der Pflanzen, 85350 Freising

Einleitung

Agroforstsysteme binden Kohlenstoff in der Biomasse der angebauten Kulturen und im Boden (Wurzeln, Bodenorganismen, Humus). Untersuchungen zeigen, dass die Kohlenstoffbindung in ober- und unterirdischer Biomasse bei gleichen Bedingungen in einem Agroforstsystem deutlich höher ist, als in agrarischen Landnutzungssystemen ohne Bäume (Kirby & Potvin 2007). Hierbei spielen Faktoren wie Boden-Klima-Bedingungen, Art des Agroforstsystems und vorhergegangene Landnutzung eine Rolle (de Deyn et al. 2008). Die Erhöhung des organischen Bodenkohlenstoffvorrats gegenüber ackerbaulicher Nutzung wird vor allem durch den Eintrag ober- und unterirdischen organischen Materials der Bäume bewirkt (Nair et al. 2009) sowie durch die Bodenruhe (fehlende Bodenbearbeitung und -durchlüftung). Somit sind Untersuchungen des Wurzelsystems unerlässlich, um die den C-Inputs und die Humuswirkungen bestimmen zu können.

Material und Methoden

In der Versuchsstation Scheyern (40 km nördlich von München, 490 m NN, 833 mm Jahresniederschlag, 7,5°C Jahresmitteltemperatur) wurden im Jahr 2009 vier Dauerfeldexperimente auf 6 ha Fläche angelegt. In den Versuchen werden Agroforstsysteme mit verschiedenen Baumarten (Pappel, Weide, Erle, Robinie, Gehölzmischung) zur energetischen Nutzung (4 Jahre Umtriebszeit) und den seit 1992 bestehenden Fruchtfolgen (a) Kartoffeln – Winterweizen – Mais – Winterweizen (integrierter Landbau) und (b) Kleegras – Kartoffeln – Winterweizen – Sonnenblumen – Kleegras – Winterweizen – Winterroggen (ökologischer Landbau) analysiert. Innerhalb jeder der vier Flächen wechseln drei Gehölzstreifen mit 30 m Ackerfläche.

Zur Analyse der räumlichen Variabilität und der jährlichen Veränderungen der C-Gehalte im Boden, wurden auf Transekten verschiedene Kohlenstoffparameter (C_t, C_{mik}, C_{hwl}) in der Krume der Böden (0 - 30 cm Tiefe) erfasst.

Jährlich wurde die Holzbiomasse der Baumarten Pappel, Erle, Robinie und Weide ermittelt. Die Beprobung des Wurzelsystems erfolgte in der Krume mit der von Schuurman & Goedewaagen (1971) beschriebenen Bohrkernmethode. Über die Ausgrabungsmethode nach Kutschera & Lichtenegger (2002) wurde die Wurzelarchitektur untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die kleinräumig variierenden Bodeneigenschaften führten zu großen Streuungen der Kohlenstoffgehalte innerhalb der Untersuchungsflächen. Die Variabilität von C_{hwl} war größer als von C_{org}; dies erschwert das Erfassen der Einflüsse der Agroforstsysteme auf den umsetzbaren Kohlenstoff. In den ersten Untersuchungsjahren kam es zu keinen signifikanten C_{org}-Anreicherungen unter den Baumreihen. Während der Etablierungsphase ist die Biomassebildung und damit der C-Input durch Wurzeln und Blätter in den Anfangsjahren noch gering. Zudem ist der Auflagehumus (Blätter/

Bestandsrückstände) noch nicht in tiefere Bodenschichten verteilt. Veränderungen der Humus- und C-Gehalte nach Bewirtschaftungsumstellungen sind oftmals erst nach Jahrzehnten analytisch nachweisbar (Hülsbergen & Schmid 2008). Dies liegt neben der kleinräumigen Variabilität der C-Gehalte auch daran, dass mögliche Änderungen der C_{org}-Vorräte (ca. 500 bis 1.000 kg C ha^{-1} a^{-1}) im Vergleich zur im Boden befindlichen Gesamtmenge an C_{org} (ca. 40 bis > 100 t ha^{-1}) relativ gering ist.
Die ober- und unterirdische Biomassebildung variierte mit den Baumarten und dem Standort, jedoch nicht signifikant mit der Bewirtschaftungsweise. Die jährliche Holzbiomassebildung der Bäume betrug nach vier Jahren 5,5 bis 10 t_{TM} ha^{-1} a^{-1} (Tab. 1). Allerdings haben die Baumarten ihre maximale Zuwachsrate noch nicht erreicht. Pappel, Erle und Weide unterschieden sich in ihrer Biomassebildung signifikant voneinander, wobei die Pappel die höchste Biomassebildung aufwies und die Weide die geringste. Die Werte der Robinie lagen zwischen Pappel und Erle.

Tabelle 6: Oberirdische Biomasse (4-jähriger Umtrieb) und Feinwurzelbiomasse (3. Jahr) der Baumarten, Mittelwerte mit Variationskoeffizient (CV).

Baumarten	Oberirdische Biomasse		Feinwurzelbiomasse	
	t_{TM} ha^{-1} a^{-1}	CV%	t_{TM} ha^{-1}	CV%
Erle	$8{,}0^{b}$	14	$0{,}5^{c}$	29
Pappel	$10{,}0^{a}$	19	$1{,}6^{b}$	42
Robinie	$9{,}0^{ab}$	20	$0{,}7^{bc}$	28
Weide	$5{,}5^{c}$	29	$3{,}1^{a}$	18

Signifikante Unterschiede zwischen den Arten werden durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet (Tukey-Test, $p < 0{,}05$).

Die Baumarten Pappel, Erle und Weide unterschieden sich ebenfalls signifikant in ihrer Feinwurzelbiomasse. Die Weide bildete die höchste Feinwurzelbiomasse, gefolgt von Pappel, Robinie und Erle. Man kann erwarten, dass verschiede Baumarten mit ihrer unterschiedlichen Menge an Feinwurzeln einen unterschiedlichen C-Input liefern. Wird zudem die Biomasse der Grobwurzeln miteinbezogen, ist ein deutlich höherer C-Input der Bäume im Vergleich zu den landwirtschaftlichen Kulturen zu erwarten. Alle Baumarten erreichten bzw. überschritten nach 3 Jahren eine Durchwurzelungstiefe von 1 m. Eine C_{org}-Anreicherung ist somit auch in tieferen Schichten (unterhalb des Ap-Horizontes) wahrscheinlich, die in die Untersuchungen einzubeziehen sind. Zudem herrschen in größeren Bodentiefen andere C-Umsatzbedingungen (geringerer C-Umsatz), welche eine langfristige C-Akkumulation fördern, so dass auch nach Umbruch des Agroforstsystems nach 20 Jahren kein schneller C-Abbau zu erwarten ist.

Literatur

De Deyn G. B., Cornelissen J. H., Bardgett R. D. (2008). Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. Ecol. Lett. 11, 516-531.

Hülsbergen K.-J., Schmid H. (2008). Humusbilanzen und C-Kreisläufe in Betriebssystemen mit Bioenergieerzeugung. KTBL-Schrift 468, 151-171.

Kirby K. R., Potvin C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: implications for the management of a small-scale carbon sink project. For Ecol Manag 246, 208-221.

Kutschera L., Lichtenegger E. (2002). Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Leopold Stocker Verlag, Graz.

Nair P. K. R., Kumar B. M., Nair V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 172, 10-23.

Schuurman J. J., Goedewaagen M. A. J. (1971). Soil specimens having a slight volume: the auger method. In Methods for examination of root systems and roots. Pudoc, Wageningen, 22-4.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 120–121 (2013)

Möglichkeiten der chemischen Unkrautregulierung bei der Anpflanzung von Miscanthus-, Pappel- und Weiden-Plantagen als nachwachsende Rohstoffkulturen

Gehring, Klaus[1], Thyssen, Stefan[1] und Festner, Thomas[1]

[1] Institut für Pflanzenschutz/Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan; E-Mail: *Klaus.Gehring@LfL.Bayern.de*

Einleitung

Mit fortschreitender Verknappung fossiler Energieträger und den damit rapide steigenden Energiekosten gewinnt der Anbau von Ackerkulturen als regenerative Energiepflanzen zunehmend an Bedeutung. In Ergänzung zum Maisanbau für die Biogasproduktion werden alternative Rohstoffkulturen, insbesondere Dauerkulturen, intensiv diskutiert. Aus ökonomischer und produktionstechnischer Sicht haben hierbei Miscanthus (*Miscanthus x giganteus*), auch Riesen-Chinaschilf genannt, und Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit schnellwüchsigen Pappel- und Weiden-Arten (*Populus* bzw. *Salix spp*.) die größte Bedeutung für eine engergetische Nutzung. Für eine erfolgreiche Etablierung der Kulturen und für die Ausschöpfung des standortspezifischen Ertragspotenzials ist eine effiziente Unkrautkontrolle während der ersten Vegetationsperiode nach der Anpflanzung unverzichtbar. Während für die Anlage von Kleinflächen im Probeanbau eine mechanische Unkrautkontrolle durchaus erfolgreich angewendet werden kann, ist für praxisrelevante Produktionsflächen eine chemische Unkrautbekämpfung aus Sicht der Arbeits- und Kosteneffizienz notwendig. Für die Entwicklung geeigneter Anwendungsverfahren und Erstellung von Beratungsgrundlagen wurden am Institut für Pflanzenschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft Versuche zum Einsatz von Herbiziden bei der Anpflanzung von Miscanthus und Pappel- bzw. Weiden-KUP durchgeführt.

Material und Methoden

Auf der Basis der vorhandenen Literatur wurde eine Vorauswahl geeigneter Herbizide vorgenommen, die in Freilandversuchen auf ihre spezifische Kulturverträglichkeit in den Kulturarten überprüft wurden. Aufgrund der gewonnenen Selektivitätsergebnisse wurden Anwendungsverfahren in Form von Tankmischungen und/oder Spritzfolgebehandlungen für eine ausreichende Unkrautbekämpfung entwickelt. Das Versuchsdesign entsprach Exaktversuchen mit randomisierten Kleinparzellen (20 – 30 m²) in drei- bis vierfacher Wiederholung. Die Wirksamkeit und Kulturselektivität wurde anhand visueller Bonituren erhoben und durch Ertragsfeststellungen verifiziert.

Ergebnisse und Diskussion

Für die chemische Unkrautkontrolle bei bzw. nach der Anpflanzung von Miscanthus konnte sieben unterschiedliche Herbizide (Wirkstoffe: Dicamba, Dimethenamid-P, Mesotrione, Pendimethalin, Rimsulfuron, Thifensulfuron, Tritosulfuron) als ausreichend selektiv bestätigt werden. Für die jeweiligen Präparate wurden Genehmigungen im Rahmen des Lückenindikationsverfahrens (PflSchG § 18a) als Minor-Use-Anwendungen beantragt und erteilt. Die hierauf basierenden Beratungsgrundlagen und Anwendungsempfehlungen wurden über das Internet für die Fachberatung und Produktionspraxis veröffentlicht.

Für die Neuanlage von Pappel- und Weiden-KUP konnte eine ausreichende Selektivität für Herbizide auf der Basis der Wirkstoffe Bromoxynil, Clopyralid, Dimethenamid-P, Glufosinat, Flufenacet, Flumioxazin, Foramsulfuron, Iodosulfuron, Metribuzin, Pendimethalin und Tepraloxydim nachgewiesen werden. Die Ergebnisse sind auf der Online-Plattform für Pflanzenbauversuche (www.isip.de) veröffentlicht. Die Anwendung der entsprechenden Präparate wird im Minor-Use-Verfahren nach Art. 51 Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 beantragt.

Aufgrund der umfangreichen Untersuchungsergebnisse konnten ausreichende Anwendungsverfahren für eine effiziente und standortgerechte chemische Unkrautregulierung bei der Neuanlage von Miscanthus-, Pappel- und Weiden-Dauerkulturen entwickelt werden. Die essentielle Herausforderung für eine effiziente Unkrautregulierung bei der Etablierung der Rohstoffkulturen ist damit für die Produktionstechnik gelöst.

Literatur

BURGER, F.; SOMMER, W.; OHRNER, G. (2011): Anbau von Engergiewäldern. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Merkblatt 19, Freising. 4 S.

CASLIN, B.; FINNAN, J.; EASSON, L. (2011): Miscanthus – Best Practice Guidelines. Teagasc, Carlow and the Agri-Food and Bioscience Institute, Hillsborough. 52 P.

DEFRA (2001): Planting and Growing Miscanthus - Best Practice Guidelines. Department for Environment, Food and Rural Affairs, Publications No. 5424, London. 20 P.

DEFRA (2004): Growing Short Rotation Coppice - Best Practice Guidelines. Department for Environment, Food and Rural Affairs, Publications No. 7135, London. 32 P.

FRITZ, M.; FORMOWITZ, B.; et al. (2009): Miscanthus als nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten. Technologie und Förderzentrum, Bericht 18, Straubing. 175 S.

GEHRING, K.; THYSSEN, S. (2013) Unkrautbekämpfung in Chinaschilf (Miscanthus x giganteus). Online http://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/030142/index.php

GEHRING, K.; THYSSEN, S.; FESTNER, T. (2013): Herbizidverträglichkeit von Pappel- und Weide-Arten. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Versuchsberichte 2010, 2011 und 2012, Freising. Online http://www.isip.de/coremedia/generator/isip/Versuchsberichte/Versuchsberichte.html

HOFMANN, M. (2008): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow. 44 S.

SCURLOCK, J.M.O. (1999): Miscanthus - A Review of European Experience with a Novel Energy Crop. Environmental Sciences Division, U.S. Department of Energy, Publication No. 4845, Oak Ridge. 22 P.

Tuppy, I.; Armstrong, A. (2002): Establishment and Management of Short Rotation Coppice. Forestry Commission, Edinburgh. 12 P.

WILLIAMS, M.J.; DOUGLAS, J. (2011): Planting and Managing Giant Miscanthus as a Biomass Energy Crop. United States Department of Agriculture, Technical Note No. 4, Washington. 30 P.

WILLOUGHBY, I.; CLAY, D. (1999). Herbicide Update. Forestry Commission, Technical Paper 28, London. 57 P.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 122–123 (2013)

Feldexperimentelle Untersuchung und Modellierung der Nitratdynamik unter gemüsebaulichen Kulturen

Laila Andermann[1], Harald Schmid[1], Hermann Boecker[2], Frank Reinicke[3], Norbert Laun[2], Franz Wiesler[4], Kurt-Jürgen Hülsbergen[1]

[1] Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, TU München, Freising; [2]Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) R-N-H / Rheinpfalz, Bad Kreuznach / Neustadt; [3]Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung (INL), Halle (Saale); [4]Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA), Speyer. E-Mail: *laila.andermann@tum.de*

Einleitung

Hohe Stickstoffüberschüsse, wie sie in engen Gemüsefruchtfolgen, in intensiven Anbaugebieten wie der Vorderpfalz auftreten, führen zu einer Grundwassergefährdung (MUF RLP 2005). Zur Abschätzung des Nitrataustrags und zur Ableitung von Minderungsstrategien wurde ausgehend vom Umweltmanagementsystem REPRO (Hülsbergen 2003) ein Modell für den Freilandgemüsebau entwickelt.

Material und Methoden

Zur Modellierung benötigte Parameter (z.B. Menge der Ernterückstände sowie C- und N-Gehalte) wurden in Feldexperimenten auf dem Queckbrunnerhof, Versuchsbetrieb des DLR Rheinpfalz, bestimmt (Höhenlage 110 m ü. NN, Jahresniederschlag 675 mm, Jahresdurchschnittstemperatur 10,8 °C). Zur Berechnung des Bodenwasserhaushaltes kommt das Modell BOWAM (Dunger 1985) zum Einsatz. Um die Mineralisation aus Ernterückständen abzuschätzen, werden Algorithmen aus dem Modell DAISY (Hansen et al. 1990) integriert.

Zur Überprüfung der Modellergebnisse dienen Nitratanalysen aus einem Saugkerzenversuch, der über zweieinhalb Jahre wöchentlich auf dem Versuchsbetrieb durchgeführt wurde sowie Daten aus dem Projekt „Integriertes Stickstoffmanagement im Gemüsebau“ der LUFA Speyer und des DLR Rheinpfalz (Wiesler et al. 2008).

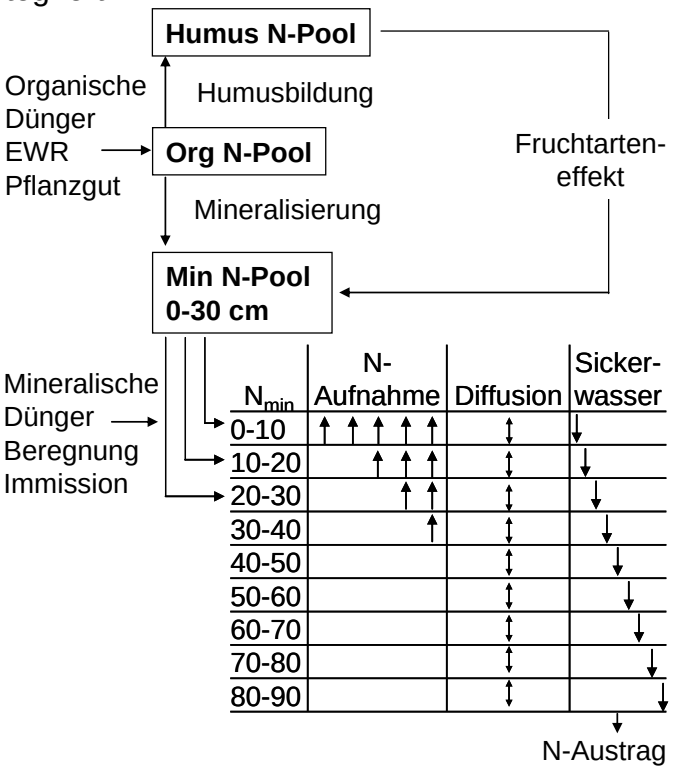


Abb. 1: Schematische Darstellung des N-Umsatzes. EWR=Ernte-, Wurzelrückstände

Ergebnisse und Diskussion

Es wurde ein Modell entwickelt, das die horizontale Stickstoffverteilung im Mineralischen N-Pool des Bodens in jeweils 10 cm Schichten auf Tagesbasis berechnet. Der Stickstoff-Input des Modells REPRO wird erweitert durch den N-Eintrag mit dem Pflanzgut insb. dem Torfpresstopf und der Beregnung. Die Tiefe der N-Aufnahme durch die Pflanzen ist gekoppelt an die Entwicklung des Haupt-

wurzelraumes der Kultur. Zwischen den Schichten des N_{min}-Pools kommt es zu einem Konzentrationsausgleich aufgrund der Diffusion. Durch die Kopplung mit dem Sickerwasserstrom ergibt sich der N-Austrag (Abb. 1).
Die Berechnung des N-Umsatzes auf Tagesbasis ermöglicht auch bei mehreren Kulturen pro Jahr eine Zuordnung des Nitratbelastungspotenzials.

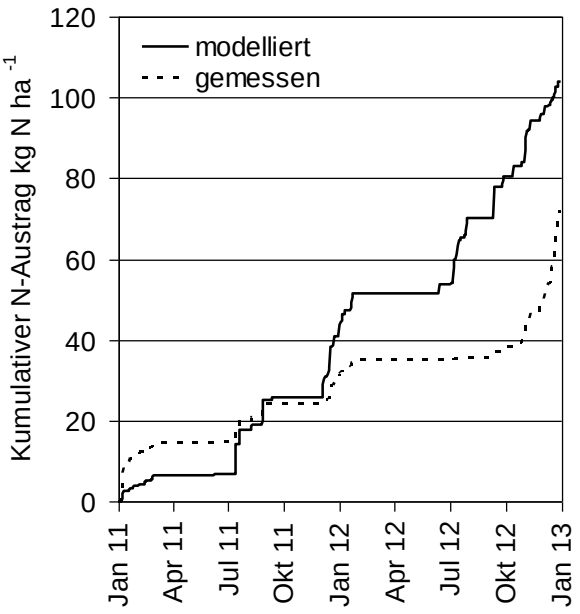


Abb. 2: Vergleich des kumulativen N-Austrags

Abbildung 2 zeigt den kumulierten N-Austrag eines ökologisch bewirtschafteten Schlages, auf dem im Jahr 2011 Chicorée und in 2012 Knollenfenchel angebaut wurde. Im Jahr 2011 werden die N-Austräge von dem Modell sehr gut abgebildet. Ab Januar 2012 überschätzt das Modell den N-Austrag um etwa 16 kg N ha^{-1}. Die Abweichung erhöht sich im Laufe des Jahres auf knapp 35 kg N ha^{-1}, wobei zum Ende der Messreihe die Nitratausträge steil ansteigen und so eine Annäherung stattfindet.

Es können mit diesem Bilanzierungsmodell, das auch Anteile eines Bodenprozessmodells integriert, nicht alle realen Prozessen abgebildet werden. Die modellierten Werte befinden sich, auch im Vergleich zu weiteren Messreihen, im ähnlichen Größenbereich. Notwendig sind weitere Untersuchungen unter anderen Standortbedingungen sowie eine Modellvalidierung. Mit Hilfe des Modells sollen künftig Bewirtschaftungsszenarien berechnet und Stickstoff-Minderungsstrategien für den Freilandgemüsebau abgeleitet werden.

Das Projekt wurde gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz.

Literatur

Dunger V. (1985): Zur prozessbezogenen Modellierung des Wasserhaushaltes in der belüfteten Bodenfeuchtezone. Dissertationsschrift, Fak. Forst-, Geo-, Hydrowiss. der TU Dresden.

Hansen S., Jensen H.E., Nielsen N.E., Svendsen H. (1990): DAISY: Soil Plant Atmosphere System Model. NPO Report No. A 10. The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen.

Hülsbergen K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag Aachen.

MUF RLP - Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Abteilung Wasserwirtschaft (2005): Gewässer in Rheinland-Pfalz. Die Bestandsaufnahme nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Wiesler F., Laun N., Armbruster M. (2008): Integriertes Stickstoffmanagement – eine Strategie zur wirksamen Verringerung der Gewässerbelastung im Gemüsebau. Agrarspectrum Band 41, 95-108.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 124–125 (2013)

Modellbasierte Ermittlung des optimalen Schnittzeitpunktes von *Lolium perenne*-Sorten zur Erhöhung der Biogasproduktion

A. Swieter[1], S. Moenickes[2,3], J.-M. Greef[1], B. Ohnmacht[1]

[1] Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig; [2]Technische Universität Carolo-Wilhelmina, Institut für Geoökologie, Braunschweig; [3]Hochschule Rhein Waal, Fakultät Life Sciences, Kleve; E-Mail: *anita.swieter@jki.bund.de*

Einleitung

Der Schnittzeitpunkt hat einen entscheidenden Einfluss auf die Biogasproduktion aus Gras, da Ertrag und Verdaulichkeit vom Entwicklungsstadium abhängen. Als optimaler Schnittzeitpunkt für die Futtergrasproduktion wird der Zeitpunkt des Ährenschiebens angesehen (Gilliland et al. 1995).

Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) ist eines der produktivsten Futtergräser unter maritimen mitteleuropäischen Bedingungen. Die Reifezeit von *L. perenne*-Sorten unterscheidet sich um bis zu 43 Tage (Bundessortenamt 2009). Demzufolge ist auch der optimale Schnittzeitpunkt sortenabhängig.

Das Ziel dieser Arbeit war es, anhand der modellierten Ertrags- und Qualitätsentwicklung von *L. perenne*-Sorten die für die Biogasproduktion optimalen Schnittzeitpunkte zu bestimmen, um eine Erhöhung der Biogaserträge zu erreichen.

Material und Methoden

Der für die Biogasproduktion optimale Schnittzeitpunkt wurde definiert als Zeitpunkt der maximalen Differenz zwischen Trockenmasseertrag (TM) und absolutem Rohfasergehalt (XF) bzw. als Zeitpunkt des maximalen verdaulichen Ertrages. Deshalb wurde ein Model für die sortenspezifische TM- und XF-Entwicklung eingesetzt.

Das Modell besteht aus jeweils einer Gleichung für die Ertrags- und Qualitätsentwicklung. Der TM-Ertrag y (kg m^{-2}) wird basierend auf logistischem Wachstum mit der Wachstumsrate r_{max} (d^{-1}) und dem standortbezogenen Ertragsmaximum y_{max} (kg m^{-2}) modelliert. Die Wachstumsrate wird moduliert durch die Umweltresponse ϕ, die eine Temperatur-, Bodenfeuchte- oder Globalstrahlungsresponse sein kann: $dy/dt=r_{max}*\phi*y*(1-y/y_{max})$. Die Temperaturresponse ist eine Optimumsfunktion nach O´Neill (Krenek et al. 2011), die die optimale Wachstumstemperatur T_{opt} und den Temperaturkoeffizienten Q_{10} berücksichtigt. Für die Bodenfeuchteresponse wurde eine Weibull-Verteilung mit einer kritischen Bodenfeuchte angenommen. Die Globalstrahlungsresponse ist eine Sättigungsfunktion mit der Maximalstrahlung β (Herrmann et al. 2005). Das Qualitätsmodell ist an das Ertragsmodell gekoppelt. Der absolute XF-Gehalt y_F (kg m^{-2}) ist definiert als $dy_F/dt=\Theta_F*(y-y_F)$ mit der Rohfaserneubildungsrate Θ_F.

Zur Modellparametrisierung wurde an vier Standorten in Deutschland ein Feldversuch durchgeführt, in dem jeweils acht *L. perenne*-Sorten mit unterschiedlicher Reifezeit in einer randomisierten Blockanlage mit zwei Wiederholungen angebaut wurden. Die Sorten wurden in Zeitreihen mit Intervallen von fünf Tagen um den üblichen ersten Schnitttermin geerntet. An jedem Erntetermin wurden Entwicklungsstadium, TM-Ertrag und der XF-Gehalt mit Hilfe von Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) ermittelt. Zusätzlich wurden von jedem Standort die Tagesmitteltemperatur, Globalstrahlung und berechnete Bodenfeuchte erhoben.

Die sortenspezifischen Parameter r_{max}, Q_{10}, β und Θ_F wurden mit dem lokalen Optimierungsalgorithmus von Matlab 2011b (Mathworks®, Natick, Massachusetts) angepasst. Die Optimumstemperatur T_{opt} wurde nach Erfahrungswerten aus den Feldversuchen festgelegt. Die weiteren Parameter sind für alle Sorten identisch.

Ergebnisse und Diskussion

Das Modell für die sortenspezifische Entwicklung des verdaulichen Ertrages konnte gut an die beobachteten Daten von allen Standorten angepasst werden (siehe Abb. 1 für Sorte Aubisque als ein Beispiel).

Bei allen Sorten war der verdauliche Ertrag zum modellbasierten optimalen Schnittzeitpunkt (Zeitpunkt des maximalen verdaulichen Ertrages) höher als der verdauliche Ertrag zum Zeitpunkt Ährenschieben (Tab. 1). Für die früheste Sorte Lipresso war der verdauliche Ertrag zum optimalen Schnittzeitpunkt fast doppelt so hoch.

Das vorgestellte Modell ist geeignet, basierend auf Ertrag, Qualität und Umweltresponse *L. perenne*-Sorten zu charakterisieren. Des Weiteren kann es dazu beitragen, den optimalen Schnittzeitpunkt für eine erhöhte Biogasausbeute vorherzusagen.

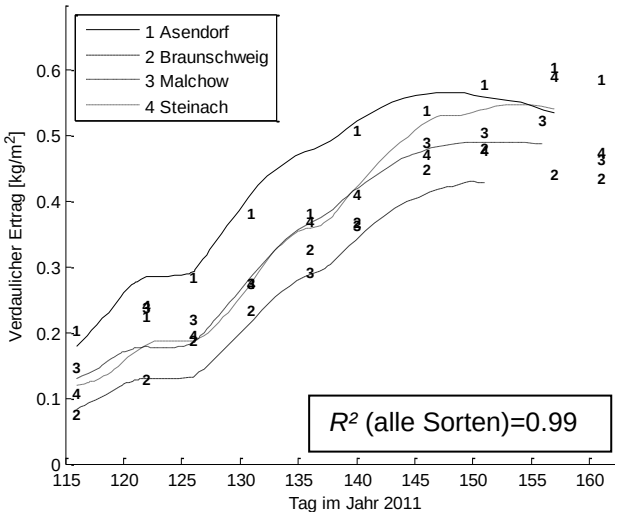


Abb. 1: Gemessene (Zahlen) und modellierte (Linien) verdauliche Erträge der Sorte Aubisque während des ersten Aufwuchses an vier Standorten.

Tab.1: Modellierte verdauliche Erträge der *L. perenne*-Sorten am Standort Braunschweig zum Zeitpunkt Ährenschieben und zum modellbasiert optimalen Schnittzeitpunkt (maximal verdaulicher Ertrag).

Sorte	Verdaulicher Ertrag Ährenschieben [kg m^{-2}]	Max. verdaulicher Ertrag [kg m^{-2}]
Lipresso	0.26	0.43
Abersilo	0.30	0.40
Aubisque	0.34	0.43
Respect	0.38	0.50
Fennma	0.38	0.48
Bargala	0.38	0.40
Aberavon	0.30	0.40
Sponsor	0.34	0.46

Literatur

Bundessortenamt (2009) Beschreibende Sortenliste 2009. Futtergräser, Esparsette, Klee, Luzerne. Bundessortenamt, Hannover

Gilliland TJ, Camlin MS, Johnston J (1995) Effect of Harvest Date and Culivar Maturity on Perennial Ryegrass (*Lolium Perenne*) Yield and Digestibility Irish Journal of Agricultural and Food Research 34:133-142

Herrmann A, Kelm M, Kornher A, Taube F (2005) Performance of grassland under different cutting regimes as affected by sward composition, nitrogen input, soil conditions and weather - a simulation study. European Journal of Agronomy 22:141-158

Krenek S, Berendonk TU, Petzoldt T (2011) Thermal performance curves of Paramecium caudatum: A model selection approach. European Journal of Protistology 47 (2):124-137

Dieses Forschungsvorhaben wurde von BMELV, FNR und GFP gefördert (Förderkennzeichen: FNR 22016209).

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 126–127 (2013)

Simulation von N_2O-Emissionen aus Biogas-Fruchtfolgen mit einem dynamischen Simulationsmodell

Astrid Knieß, Ulf Böttcher, Kang Ni und Henning Kage

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

Einleitung

Ein wichtiger Indikator für die Bewertung von Biogas als erneuerbare Energiequelle sind die klimarelevanten Spurengase, die beim Anbau von Biomasse in intensiven Anbausystemen vor allem als N_2O-Emissionen entstehen.

Vor dem Hintergrund zeitlicher und räumlicher Variation von Wetter und Bodeneigenschaften ist die Abschätzung der Anbausystemeinflüsse auf die N_2O-Emission noch sehr unsicher. Ziel ist daher die Entwicklung eines prozess-orientierten Modells mit dem N_2O-Emissionen unter verschiedenen Umwelt- und Managementbedingungen untersucht werden können.

Material und Methoden

Ein dynamisches Simulationsmodell wurde entwickelt, das N_2O-Emissionen aus der Nitrifikation und Denitrifikation im Boden berechnet. Die Randbedingungen (Nitratkonzentration, Wassergehalt im Boden) für diese Prozesse werden mit Hilfe von bereits bestehenden Modulen für Pflanzenwachstum, Wasserhaushalt und Mineralisierung berechnet.

Im Feldversuch des Biogas-Expert-Projektes wurden an den Standorten Hohenschulen (HS) und Karkendamm (KD) bei Kiel umfangreiche Daten erhoben, an die entsprechende Modell-Module bereits angepasst wurden (Wienforth 2011). N_2O-Emissionen wurden durchschnittlich etwa einmal wöchentlich gemessen (Senbayram 2009). Betrachtet werden eine Fruchtfolge in HS (Winterweizen, Welsches Weidelgras, Mais) und eine Mais-Monokultur in KD im Zeitraum 09/2006 - 10/2008. Es wurde jeweils eine ungedüngte Variante (N1) und zwei mineralisch gedüngte Varianten mit 120 kg N/ha zu Weizen und Mais bzw. 160 kg N/ha zu Gras (N2) sowie 360 kg N/ha zu Weizen und Mais bzw. 160 kg N/ha zu Gras (N4) untersucht.

Die Nitrifikation wird als Kinetik 1. Ordnung mit den Einflüssen von Wassergehalt ($f(W)_{nit}$) und Bodentemperatur ($f(T)_{nit}$) berechnet (nach Zhou et al. 2010, Hansen et al.1990). Die N_2O-Emission ergibt sich dann aus dem Anteil, der als NO_x und N_2O verloren geht ($fr_{n\text{-}loss}$), und dem Verhältnis NO_x / N_2O ($R_{NOx/N2O}$):

$$N_2O_{nit} = k_{nit} \cdot f(W)_{nit} \cdot f(T)_{nit} \cdot NH_4 \cdot fr_{n-loss} \cdot \frac{1}{1 + R_{NO_x / N_2O}} \qquad \text{(Gl.1)}$$

mit k_{nit} = potentielle Nitrifikationsrate.

Die Denitrifikation wird mit einer Michaelis-Menten-Kinetik beschrieben (nach Zhou et al. 2010, Del Grosso et al. 2000). Die N_2O-Emissionen daraus sind

$$N_2O_{den} = k_{den} \cdot \frac{NO_3}{K_m + NO_3} \cdot f(W)_{den} \cdot f(T)_{den} \cdot f(C)_{den} \cdot \frac{1}{1 + R_{N_2 / N_2O}} \qquad \text{(Gl.2)}$$

mit k_{den} = potentielle Denitrifikationsrate; K_m = Konstante; $f(W)_{den}$ und $f(T)_{den}$ = Einfluss von Wassergehalt und Bodentemperatur; $f(C)_{den}$ = Einfluss der verfügbaren C-Quelle und $R_{N2/N2O}$ = Verhältnis N_2 / N_2O.

Ergebnisse und Diskussion

Durch Parametrisierung dynamischer Modellmodule bzw. lineare Interpolation von Messdaten (Pflanzen-N-Aufnahme) wurden die Randbedingungen für die Modellierung der Nitrifikation und Denitrifikation möglichst exakt beschrieben. Danach wurden zwei Parameter ($fr_{n\text{-}loss}$ (Gl.1) und k_{nit} (Gl.2)) anhand der gemessenen N_2O-Emissionen angepasst. Alle weiteren Parameter sind der Literatur entnommen.

Die N_2O-Emissionen variieren zwischen verschiedenen Düngestufen, Fruchtfolgen sowie im zeitlichen Verlauf. Das Modell ist für den Parametrisierungsdatensatz in der Lage, diese Variation monatlich aufsummierter Emissionen gut abzubilden (Abb.1, $y = 0.76x + 0.073$, $R^2 = 0.41$).

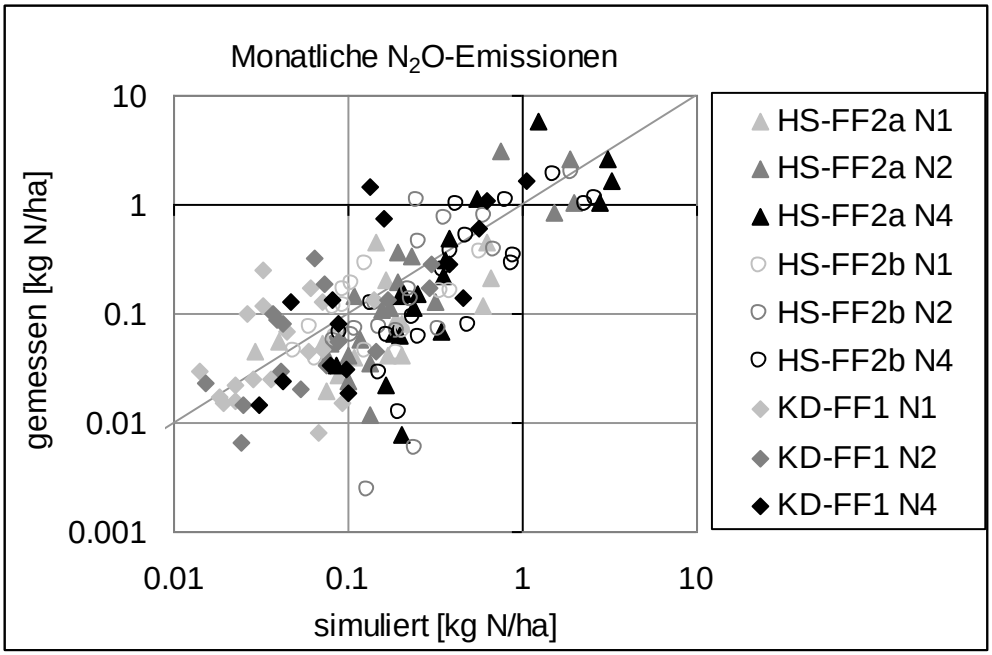


Abb. 1: Gemessene versus simulierte monatliche N_2O-Emissionen für die Standorte HS (Hohenschulen) und KD (Karkendamm) mit den Fruchtfolgen FF2 (Mais-Weizen-Gras in zwei Stellungen) und FF1 (Mais Monokultur) in drei Düngestufen: N1 (keine Düngung), N2 (niedrige) und N4 (hohe mineralische Düngung).

Mit dem parametrisierten Modell wurden Simulationen für weitere Standorte in Deutschland durchgeführt, die zeigen, dass das Modell realistische Variationen der N_2O-Emissionen aufgrund anderer Boden- und Witterungsverhältnisse wiedergibt. Weitergehende Validierungsarbeiten sind geplant.

Literatur

Del Grosso, S. J., W. J. Parton, A. R. Mosier, D. S. Ojima, A. E. Kulmala, & S. Phongpan. 2000. General model for N_2O and N_2 gas emissions from soils due to dentrification. Global Biogeochemical Cycles 14 (4): 1045–1060.

Hansen, S., H. E. Jensen, N. E. Nielsen, & H. Svendsen. 1990. DAISY: Soil Plant Atmosphere System Model. NPo-research, A10. The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen.

Senbayram, M. 2009: Greenhouse gas emission from soils of bioenergy crop production systems and regulating factors. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel.

Wienforth, B. 2011: Cropping systems for biomethane production: a simulation based analysis of yield, yield potential and resource use efficiency. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel.

Zhou, Z., X. Zheng, B. Xie, S. Han, & C. Liu. 2010. A process-based model of N_2O emission from a rice-winter wheat rotation agro-ecosystem: Structure, validation and sensitivity. Advances in Atmospheric Sciences 27 (1): 137–150.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 128–129 (2013)

Modellierung von N-Aufnahme, N-Verteilung und N-Translokation während der generativen Phase von Winterraps

W. Weymann, U. Böttcher, K. Sieling und H. Kage

Christian-Albrechts-Universität, Kiel. E-Mail: *weymann@pflanzenbau.uni-kiel.de*

Einleitung

Winterraps hat eine vergleichsweise geringe N-Verwertungseffizienz. Große N-Mengen werden bis zur Blüte aufgenommen, jedoch nur unvollständig in die Samen transloziert, Blattseneszenz durch Beschattung im Frühjahr führt zu hohen N-Verlusten. Um den N-Bedarf und die N-Effizienz in der generativen Phase bei unterschiedlichen Standortbedingungen abzuschätzen, ist eine Modellierung der N-Aufnahme, N-Verteilung und N-Translokation nützlich.

Material und Methoden

Ein dynamisches Wachstumsmodell für Winterraps (Müller et al. 2009) wurde um die Berechnung der N-Aufnahme und N-Verteilung zwischen den einzelnen Pflanzenorganen in der generativen Phase erweitert. Zu diesem Zweck wurden aus experimentellen Daten Funktionen für die N-Konzentrationen der einzelnen Organe (Blätter, Stängel, Schoten, Wurzeln) abgeleitet. Mit Hilfe dieser N-Konzentrationen und der bereits im Modell implementierten LUE-basierten Berechnung des Trockenmassezuwachses wurde dann die N-Aufnahme berechnet. Die Blätter haben bis zum Beginn der Blüte eine konstante N-Konzentration, danach fällt die Konzentration linear mit der weiteren Entwicklung ab. Demgegenüber können die N-Konzentrationen in Stängeln, Wurzeln und Schoten mit Verdünnungsfunktionen in Abhängigkeit von der Trockenmasse modelliert werden. Die N-Konzentration der Stängel und Wurzeln wird durch eine negative Exponentialfunktion beschrieben, während die N-Konzentration der Schoten mit einer logarithmischen Verdünnungsfunktion abgebildet wird (Abb. 1).

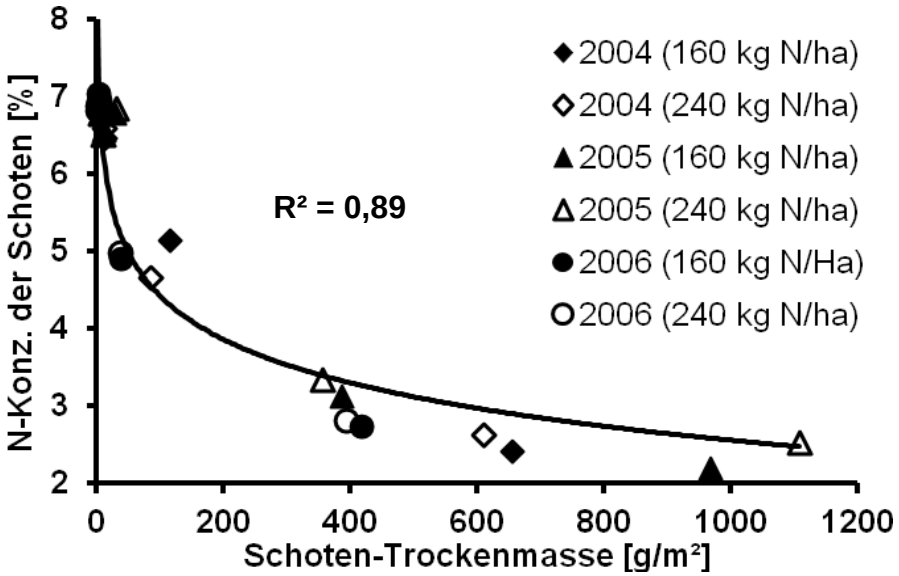


Abb. 1 N-Konzentration der Schoten in Abhängigkeit von der Trockenmasse

Aus der Entwicklung von Trockenmasse und N-Konzentration wird die translozierte N-Menge aus Stängeln und Wurzeln in die Schoten ermittelt. Die N-Translokation

aus den Blättern wird anhand der Blattseneszenz durch Beschattung berechnet. Die N-Konzentration der abgeworfenen Blätter entspricht dabei 35% der von grünen Blättern im jeweiligen Entwicklungsstadium.

Die Parametrisierung des Modells erfolgte mit zwei Datensätzen vom Versuchsstandort Hohenschulen, 15 km westlich von Kiel.

Der erste Feldversuch wurde zwischen 2005 und 2007 durchgeführt. Zur Parametrisierung wurden die hochgedüngten Varianten mit 160 bzw. 240 kg N/ha genutzt, um eine N-Limitierung auszuschließen.

Der zweite Feldversuch mit 4 Aussaatterminen, 4 Herbst- und 5 Frühjahrs-N-Düngungsstufen wurde 2011 durchgeführt. Die Parametrisierung erfolgte mit Daten der ersten drei Aussaattermine mit hoher Herbst-N-Düngung (60 bzw. 90 kg N/ha).

Ergebnisse und Diskussion

Mit den im Modell implementierten und parametrisierten Funktionen kann eine gute Abbildung der N-Mengen in den einzelnen Fraktionen erreicht werden (**Tab. 3**).

Tab. 3 Vorhersagegüte (RMSE: root mean squares error; EF: modelling efficiency) des Modells für die N-Menge der einzelnen Fraktionen (Parametrisierungsdatensatz)

Fraktionen	n	RMSE (g N/m^2)	EF
Blätter	139	0,81	0,89
Stängel	139	0,42	0,95
Schoten	18	2,72	0,89
Wurzeln	90	0,23	0,84

Die N-Menge in den Schoten stammt im Gegensatz zu den anderen Organen nicht vorwiegend aus der direkten N-Aufnahme, sondern aus der N-Verlagerung aus Blättern, Stängeln und Wurzeln. Der im Modell ermittelte Anteil der aus der Translokation stammenden N-Menge der Schoten von bis zu 66% entspricht ungefähr dem von Malagoli et al. (2005) gemessenen Anteil von 73%.

Mit der vorliegenden Parametrisierung können standortspezifisch N-Aufnahme und N-Verteilung für externe Datensätze simuliert werden.

Simulationsrechnungen mit dem so parametrisierten Modell für einen Datensatz der Jahre 2006 bis 2009 von 14 Standorten in den deutschen Hauptanbauregionen für Winterraps liefern plausible Ergebnisse. Für eine direkte Validierung fehlen jedoch Daten zu den N-Mengen im Bestand während der generativen Phase.

Zukünftig soll auch die Aufteilung der N-Menge der Schoten in Schotenwände und Samen in das Modell implementiert werden. Damit wäre dann auch eine Modellvalidierung anhand von Ertragsdaten möglich.

Literatur

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

Malagoli, P. 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*. Annals of Botany **95** (5): 853–861.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 130–131 (2013)

Modellgestützte Prognose von Ernteterminen und Erntefenstern in der intensiven Gemüseproduktion

Karsten Zutz[1], Andreas Fricke und Hartmut Stützel

[1] Leibniz Universität Hannover, Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Abteilung Systemmodellierung Gemüsebau, 30419 Hannover

Einleitung

Im heutigen Marktgeschehen muss der Erzeuger enge Lieferverpflichtungen gegenüber dem Handel eingehen. Durch die fakultative Vernalisationsreaktion von Brokkoli entstehen jedoch starke Abweichungen von geplanten Ernteterminen, fluktuierende Anlieferungsmengen und damit verbundene Preisschwankungen. Zur Minimierung solcher ökonomischer Risiken ist eine genaue Erntevorhersage erforderlich. Zudem tritt in der Praxis eine starke Streuung von Einzelpflanzen innerhalb der Anbausätze auf. Hierdurch sind Mehrfachernten notwendig, was Prognosen über den Anlieferungsverlauf zusätzlich erschwert und die Erntekosten erhöht. Um eine termingerechte Produktion zu ermöglichen ist eine verbesserte Prognose von Vernalisation und anschließender Kopfwachstumsphase unter Einbeziehung auftretender Variabilität innerhalb des Bestandes erforderlich.

Material und Methoden

Es wurde ein Modell zur Simulation der Kulturdauer sowie zur Abschätzung der Kopfgrößenstreuung entwickelt und anhand von Klimakammer und Feldversuchsdaten parametrisiert. Zur Quantifizierung der Jugendphase erfolgte zunächst eine gestaffelte Anzucht von Pflanzen bei hoher Temperatur (26 °C) und im Anschluss die Überführung unterschiedlich alter Pflanzen in niedrige Temperaturbedingungen zur Förderung der Kopfanlage (10 °C). Die Dauer bis zum Erreichen der generativen Phase wurde durch vollrandomisierte Zeiternten und mikroskopische Messungen am Vegetationskegel bestimmt. In einem weiteren Klimakammerversuch zur Parametrisierung einer Vernalisationsfunktion erfolgte die Anzucht von Pflanzen bei hoher Temperatur (26 °C) und anschließend die Überführung der Pflanzen in unterschiedliche Temperaturstufen. Die Erfassung der Dauer bis zum Ende der Vernalisation wurde analog zu dem Versuch zur Quantifizierung der Jugendphase durchgeführt. Im Modell wird die Entwicklung des Bestandes in Vernalisationsphase und Kopfwachstumsphase eingeteilt. Die Berechnung der Vernalisation erfolgt durch ein stückweise lineares Modell welches die Dauer der Entwicklung als Optima der Temperatur simuliert. Die Streuung wird durch in der Klimakammer ermittelte Variationskoeffizienten in Kombination mit einer Normalverteilungsfunktion implementiert. Zur Simulation des vegetativen Wachstums und des Kopfwachstums wird ein Trockenmassesimulations- und verteilungsmodell genutzt, welches das Vernalisationsmodell als Subroutine zur Berechnung der Dauer der Kopfanlagephase nutzt. Die Trockenmasse berechnet sich aus dem Produkt aus aufgenommener photosynthetisch aktiver Strahlung (PAR) und einer Lichtnutzungseffizienz (LUE). Die aufgenommene PAR wird über den Blattflächenindex (LAI) und einem Lichtextinktionskoeffizienten (k) berechnet. Die Schleife zur Trockenmassenproduktion wird durch Multiplikation der Blatttrockenmasse mit einem Wert für die spezifische Blattfläche (SLA) geschlossen um den LAI zu bestimmen. Während des vegetativen Wachstums beschreibt ein

allometrischer Ansatz die Trockenmasseverteilung zwischen den Organen. Nach Abschluss des Vernalisationsprozesses wird der Anteil der Trockensubstanz, die dem Kopf zugeordnet wird, durch eine empirische Funktion simuliert. Der Erntezeitpunkt wird mittels Beziehung zwischen Kopffrischgewicht und Kopftrockengewicht bestimmt (Kage and Stützel, 1999).

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse lassen den Schluss auf die Existenz einer Jugendphase zu, diese ist bei Pflanzung (3-4 Blattstadium) abgeschlossen und findet somit keine Berücksichtigung im Modell. Die Evaluation des Vernalisationsmodells an unabhängigen Felddaten zeigt, dass die Entwicklungsdauer verschiedener Anbausätze, über mehrere Jahre, an unterschiedlichen Standorten bis auf 1,8 Tage (BIAS) genau vorhergesagt werden kann (n=20 Anbausätze). Die auftretende Streuung in der Vernalisation lässt sich auf 0,14 Tage genau (BIAS) mit einer mittleren quadratischen Abweichung von 1,17 Tagen (RMSD) vorhersagen. Eine erste Evaluierung des Gesamtmodells an einem unabhängigen Datensatz zeigt eine gute Übereinstimmung von simulierten und gemessenen Teilgrößen: LAI, SLA, Gesamttrockenmasse sowie von Trockenmassen der Einzelorgane. Das Modell ist in der Lage das Kopffrischgewicht genau zu simulieren (RMSD = 26 g) und erklärt 85 % der gemessenen Variabilität von Einzelpflanzen Kopfgrößen (Abb.1a). Dies lässt den Schluss zu, dass die Variabilität in der Vernalisation zum Großteil für die auftretende Bestandesheterogenität ursächlich ist. Aus der Modellsimulation lassen sich Ernteverteilung und Erntefenster schätzen (Abb. 1b.). Dieses kann zur Optimierung von Erntegängen und zur verbesserten Vorhersage von Anlieferungsmengen in der intensiven Gemüseproduktion genutzt werden.

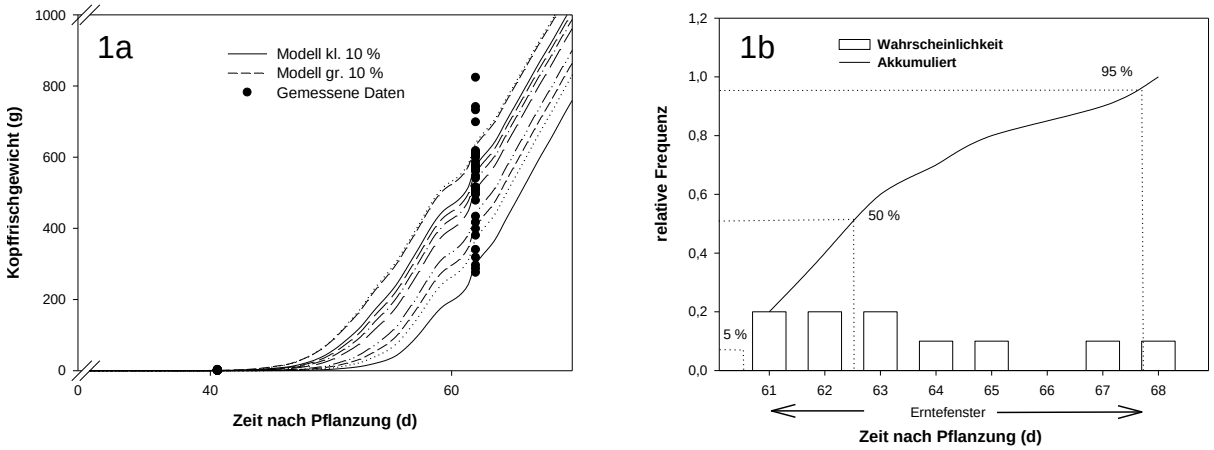


Abb. 1 Simulierte und gemessen Kopffrischgewichte eines unabhängigen Satzes (1a) und daraus abgeleitete Ernteverteilung mit Erntefenster (1b).

Literatur

Kage, H. and Stützel, H., 1999. A simple empirical model for predicting development and dry matter partitioning in cauliflower (Brassica oleracea L. botrytis) Scientia Horticulturae 80, 19-38

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 132–133 (2013)

Modeling Effects of Drought Stress on CO_2 and H_2O Gas Exchange in Barley Leaves

Jens Bastet[1], Johannes Müller [2] and Olaf Christen[3]

[123] Institute of Agricultural and Nutritional Sciences, University of Halle-Wittenberg, Halle.
email: *jens.bastet@landw.uni-halle.de*

Introduction

In a previous version of the leaf gas exchange model LEAFC3-N (Braune et al., 2009) drought stress is taken into account based on effects of leaf water potential (Ψ_l) on stomatal conductance (g_s), carboxylation, and electron transport. In that model version the mesophyll conductance (g_m) was assumed infinite. In contrast in several recent studies it was shown that g_m should be assumed finite. A finite g_m will significantly affect photosynthesis under drought (Niinemets et al., 2009), therefore we reanalyse these patterns by including a finite g_m into LEAFC3-N.

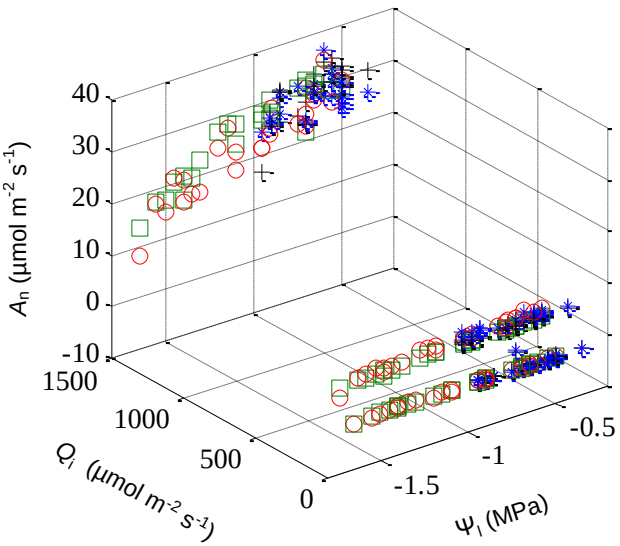
Materials and Methods

Spring barley (*Hordeum vulgare* L., cv. '*Scarlett*') was grown in a climate chamber in pots containing sandy loam soil at different treatments of water supply (W1, W2). W1 was maintained at optimum soil water content, which corresponds to 60 % of soil water capacity (W_c) or a water content of 23.1 vol. %. W2 was dried from 60% to 35 % of W_c (or 13.5 vol. %) and then kept on this level. The drought stress period of nine days was started when the visible part of leaf number four of the main tiller had reached a length of 10 cm. Further growth conditions were: incident photon flux density Q_i = 310 µmol m^{-2} s^{-1}, $C_a \approx$ 360 µmol mol^{-1}, and ambient air humidity $h_a \approx$ 60 %. On leaves of rank four, the following characteristics required for analyzing the data with the LEAFC3-N model were measured: area, contents of chlorophyll and total nitrogen (N), Ψ_l, light and CO_2 response curves of net photosynthesis rate. After gas exchange measurements, the leaf blades were quickly covered by plastic sheaths made of thin foil and then cut off at the proximal emersion point at the measurement chamber. The water potential of these leaf parts was then measured using a scholander pressure bomb.

Results and Discussion

In the present simulation study, the basic parameterization of LEAFC3-N was adopted from Braune et al. (2009). However, the basic parameters of the biochemical model core like Michaelis Menten constants for carboxylation (K_c), oxygenation (K_o), constants for maximum carboxylation rate (V_m), and maximum electron transport rate (J_m) were revised as required in case of introducing a finite g_m, considering corresponding results of Bernacci et al. (2002) and Yin et al. (2009). Further the parameters for the critical water potential (Ψ_c) in the equation describing stomatal conductance and Ψ_l was adapted appropriately. Based on this parameterization we reanalyzed the diurnal time course measurements of A_n, Tr, and g_s given by Braune et al. (2009). In summary, those data could be reproduced well, including the midday depression. Thus, the new model version that was extended by introducing a finite g_m was capable to explain the drop in A_n, Tr, and g_s during the midday hours. No additional effects of Ψ_l on V_m and J_m were assumed as previously in Braune et al. (2009). This result was confirmed based on data obtained by the special experimental design described above. With the same parameter values as before,

except setting Ψ_c = -1.2 MPa, the characteristics A_n, Tr, and g_s simulated for a range of incident photon flux density (Q_i) and Ψ_l agreed quite well with the corresponding measurements.
As shown in Fig.1, the simulated photosynthesis rate fits well to the data. Similarly, the data of transpiration rate and stomatal conductance were fitted well (Table 1).



	W	r^2	a_1	a_0
A_n	1	0.97	1.04	-0.390
Tr		0.89	1.09	-1.822
g_s		0.79	1.03	-0.151
A_n	2	0.96	1.09	-0.295
Tr		0.82	1.06	-0.397
g_s		0.78	1.05	-0.023

Table 1. Linear regression of simulated vs. measured values:
r^2 = coefficient of determination
a_1 = slope of regression
a_0 = absolute term of regression

Fig. 1. Simulation results for A_n, for a range of Ψ_l and Q_i; measurements W1 (x), W2 (○) and simulations W1 (+), W2 (□).

Acknowledgement: This research was supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, contract No. DFG 1379/2-1).

Literature

Braune, H., Müller, J., Diepenbrock, W. 2009. Integrating effects of leaf nitrogen, age, rank, and growth temperature into the photosynthesis-stomatal conductance model LEAFC3-N parameterised for barley (Hordeum vulgare L.). Ecol. Model. 220:1599–1612.

Bernacchi, C.J., Portis, A.R., Nakano, H., von Caemmerer, S., Long, S.P. 2002. Temperature response of mesophyll conductance. Implications for the determination of Rubisco enzyme kinetics and for limitations to photosynthesis in vivo. Plant Physiology 130:1992–1998.

Niinemets, Ü., Díaz-Espejo, A., Flexas, J., Galmés, J., Warren, C.R. 2009. Importance of mesophyll diffusion conductance in estimation of plant photosynthesis in the field. Journal of Experimental Botany 60:2271–2282.

Yin X., Struik P.C., Romero P., Harbinson J., Evers J.B. 2009. Using combined measurements of gas exchange and chlorophyll fluorescence to estimate parameters of a biochemical C3 photosynthesis model: a critical appraisal and a new integrated approach applied to leaves in a wheat (Triticum aestivum) canopy. Plant, Cell Environ. 32:448–464.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 134–135 (2013)

Mit Pflanzenkohle im Boden Ammoniumverluste vermeiden

Barbara Schritz, Daniel Kern, Kevin Friedrich, Thomas Appel

Fachhochschule Bingen, Bingen am Rhein; E-Mail: schritzba@fh-bingen.de

Einleitung

Organische Substanz und Tonminerale verbinden sich im Boden im Zuge der natürlichen Bodenbildung zu Ton-Humus-Komplexen. Sie fördern die Krümelstruktur und die Wasserhaltefähigkeit des Bodens, bieten Bakterien und Pilzen an ihren Oberflächen günstige Lebensbedingungen und adsorbieren Nährstoffe, die dadurch vor Auswaschung geschützt sind. Joseph et al. (2010) beschreiben ein Verfahren, bei dem Pflanzenkohle, Tonminerale und Wirtschaftsdünger zusammen mit etwas Wasser gemischt und bei 200 °C unter Sauerstoffabschluss mehrere Stunden thermisch behandelt werden. Diese Behandlung wird Torrefizierung genannt. Sie soll bewirken, dass sich in dem Gemisch Pflanzenkohle-Mineral-Komplexe (PMK) bilden, die sich ähnlich positiv auf den Boden auswirken, wie natürlich entstandene Ton-Humus-Komplexe. In einem Gefäßversuch im Gewächshaus untersuchten wir, ob sich die postulierte positive Wirkung des Torrefizierens tatsächlich einstellt.

Material und Methoden

Mit einem extrem tonarmen Sandboden (Sandanteil > 80 %; pH($CaCl_2$) 7,16) wurden in Kick-Brauckmann-Gefäßen (8,25 kg Boden-TS / Gefäß) drei Varianten mit jeweils 6 Parallelen angesetzt:

1. *Mineraldünger*:: Boden + Ammoniumsulfat (1140 mg N / Gefäß)
2. *PMK-Inputs*: Boden + Substrat-Gemisch nicht torrefiziert (63 g TS / Gefäß) + N-Kompensation (Ammoniumsulfat 570 mg N / Gefäß)
3. *PMK torrefiziert*: Boden + torrefiziertes Substrat-Gemisch (63 g TS / Gefäß) + N-Kompensation (Ammoniumsulfat 984 mg N / Gefäß)

Das PMK wurde aus 41 % Pflanzenkohle, 40 % Bentonit, 16 % Hühnerkot, 3 % Gülle (Angaben bezogen auf TS) gemischt und nach Zugabe von etwas Wasser und einer Einwirkzeit von einer Woche für 5 h bei 200 °C unter Sauerstoffabschluss torrefiziert. Ammonium und Nitrat wurden in den Ausgangsmaterialien sowie in den Substrat-Gemischen vor und nach der Torrefizierung gemessen ($CaCl_2$-Extrakt). Nitrat war vernachlässigbar, Ammonium in großen Konzentrationen in den Gemischen vorhanden (8994 mg N/kg im Substrat vor und 2444 mg N/kg nach der Torrefizierung). Die Varianten 2 und 3 wurden zur Kompensation mit Ammoniumsulfat gedüngt, so dass zu Versuchsbeginn alle drei Varianten die gleichen Mengen an austauschbarem Ammonium enthielten. Außerdem wurden P, K, Mg und Mikronährstoffe in ausreichender Menge gedüngt. Weidelgras (*Lolium perenne*) wurde gesät und die Gefäße während des Pflanzenwachstums ca. zweimal wöchentlich auf 80 % der maximalen Wasserhaltekapazität gegossen. Vier Wochen nach der Aussaat wurde der Aufwuchs geerntet und der N-Entzug (Elementaranalyse) gemessen. Nach der Ernte wurde ein Regenereignis simuliert, indem 1,17 l Wasser je Gefäß gegossen wurde. Das entspricht einer Niederschlagsmenge von 30,8 l/m². Infolge dieser großen Wassermenge wurde Sickerwasser gebildet. Dieses wurde auf Nitrat und Ammonium untersucht. Vor und nach der Perkolation wurden außerdem aus jedem Gefäß Bodenproben entnommen und Nitrat und Ammonium ($CaCl_2$-Extrakt) im Boden analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

In der Mineraldünger-Variante wurden mit dem ersten Schnitt im Mittel 7,82 g TS pro Gefäß geerntet. Die Erträge der Varianten PMK-Inputs und PMK torrefiziert waren um 11,6 bzw. um 5,6 % höher. Die Nmin Gehalte des Bodens der torrefizierten Variante waren zum Erntezeitpunkt am höchsten, daraus schließen wir, dass die Mineralisation in dieser Variante schneller ablief als in den Kontrollen (Abb. 1). Für das Pflanzenwachstum war in dem Versuch die N-Verfügbarkeit allerdings kein limitierender Faktor. Zum Erntezeitpunkt stand den Pflanzen in allen drei Varianten mehr als 250 mg Nmin / Gefäß (ausschließlich in Form von Nitrat) zur Verfügung.

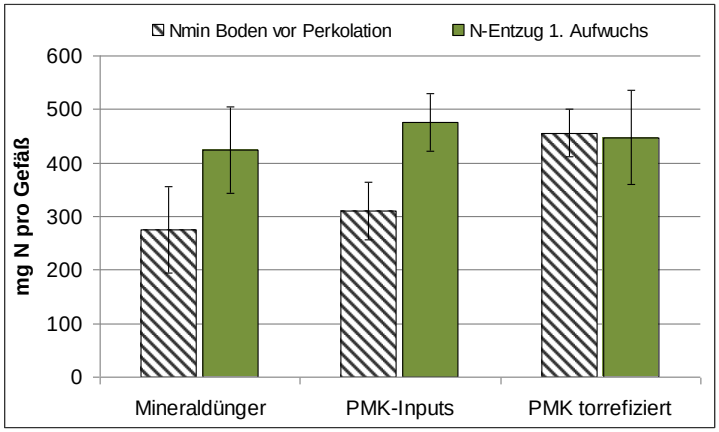


Abb. 1: Nmin im Boden und N-Entzug im Aufwuchs des Weidelgrases 4 Wochen nach der Aussaat

Durch das simulierte Regenereignis wurde Nitrat aus dem Boden ausgewaschen. Sowohl die Nitrat-Konzentration als auch die Nitratfracht waren in der Variante mit dem torrefizierten Substrat-Gemisch am niedrigsten (Abb. 2). Das ist insofern bemerkenswert, weil in dieser Variante die Nmin-Gehalte im Boden am höchsten waren. Mikroskopische Untersuchungen der Substrat-Gemische ergaben, dass das Torrefizieren zum Einlagern von Tonpartikeln in die Poren der Pflanzenkohle führte. Wir vermuten, dass dadurch das Retentionsvermögen für Nitrat, das sich gelöst im Porenwasser befindet, erhöht wurde.

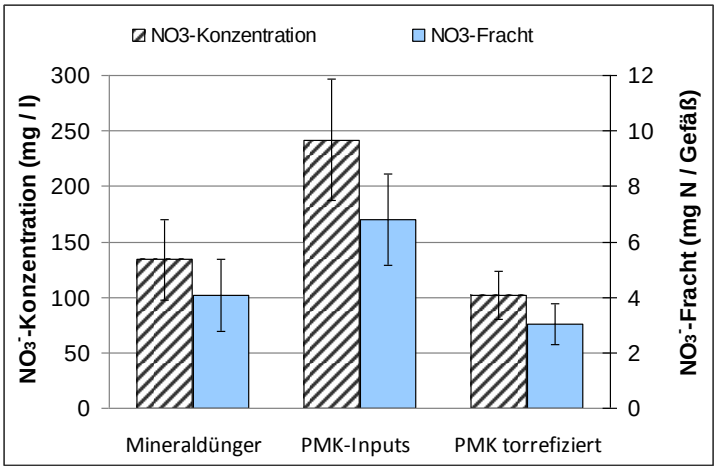


Abb. 2: Nitrat-Konzentration im Sickerwasser nach der Simulation eines Starkregens und Menge (Fracht) des ausgewaschenen Nitrat-Stickstoffs

Literatur

Joseph, S, Major, J, und Taylor, P. (2010) Making and Using Biochar Mixed with Organic Matter, Minerals, and Wood Vinegar. In: P. Taylor (Ed.), The Biochar Revolution. Global Publishing Group, S. 247-260

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 136–137 (2013)

Hemmende Effekte von Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.) auf die N-Mineralisation im Boden

Marko Dietz[1], Herbert C. Hoffmann[2], Susanne Machill[2] und Knut Schmidtke[1]

[1] Fachgebiet Ökologischer Landbau, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
[2] Bioanalytische Chemie, TU Dresden. Email: *marko.dietz@htw-dresden.de*

Einleitung

Nitratauswaschungen durch intensive Landwirtschaft stellen ein großes Umweltproblem dar, welches durch elegante N-Managementstrategien reduziert werden kann. Eine dieser Strategien stellt die Anwendung synthetischer Nitrifikationsinhibitoren dar (Subbarao et al. 2006, 2012), die trotz großen Forschungsaufwandes jedoch hauptsächlich in Nischenproduktionssystemen einen Platz gefunden haben (Dinnes et al. 2002; Subbarao et al. 2012).

Die biologische Hemmung der Nitrifikation (BNI, aus engl. *Biological nitrification inhibition*) rückt deshalb mit dem Ziel, Pflanzen als Nitrifikationsmoderatoren in Agrarökosysteme zu integrieren, zunehmend in den Fokus der Forschung (Subbarao et al. 2007; Skiba et al. 2011). Nitrifikationsmoderatoren geben sekundäre Pflanzenstoffe (Allelochemikalien) aktiv, z.B. durch Wurzelausscheidungen, und/oder passiv beim Zersetzungsprozess an ihre Umgebung ab. Diese bewirken u.a. eine Unterdrückung der Nitrifikation im Boden (Subbarao et al. 2006). Dabei kann die oftmals synergetische Hemmung der Stoffwechselwege der Nitrifizierer aufgrund der komplexen Matrix der Pflanzeninhaltsstoffe vielfältigster Natur sein (Dietz et al. 2012). Nachdem beim Anbau von Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.) und der Einarbeitung in den Boden auffällig lang anhaltend niedrige N_{min}-Gehalte beobachtet wurden (Rauber et al. 2008), richtete sich mit dieser Arbeit der Fokus auf die Wirkung von Spitzwegerichmaterial und dessen Allelochemikalien auf die N-Mineralisation im Boden.

Material und Methoden

Zur Blattmaterialgewinnung wurden die Spitzwegerichvarietäten cv. Libor (SW-L; tetraploid) und cv. Arterner (SW-A; diploid) im Freiland angebaut und die Entwicklung der Gehalte der Hauptallelochemikalien - Aucubin, Catalpol (beides Iridoidglykoside, IG) und Verbascosid mittels HPLC bestimmt. Die N-Mineralisation wurde mithilfe von Bodenbebrütungsexperimenten untersucht, in denen a) Blattmaterial beider *P. lanceolata*-Varietäten, b) Aucubin und Catalpol sowie c) ein wässriger, IG-haltiger Extrakt in drei Konzentrationen zum Boden zugegeben wurde.

Ergebnisse und Diskussion

Im Laufe der Vegetationsperiode nahmen die Gehalte an Aucubin und Verbascosid in den Pflanzen tendenziell zu, während die Catalpolgehalte relativ konstant gering blieben. SW-A wies höhere Aucubin- und Varbascosidgehalte (Abb. 1) sowie eine durchschnittlich 4% höhere Trockenmasse als SW-L auf.

Das im Bebrütungsversuch a) zugegebene Blattmaterial unterschied sich vor allem durch deutlich höhere Catalpol- und Verbascosidgehalte von SW-A. Es wurde dabei zwar von eine - im Vergleich zu den Feldexperimenten von Rauber et al. (2008) übereinstimmend - lang anhaltende NO_3^--Immobilisierung beobachtet. Eindeutige Unterschiede in der Stärke der Wirkung blieben jedoch aus.

Die Zugabe von Aucubin zum Boden - Variante b) - führte über einen längeren Zeitraum zu signifikant geringeren NO_3^-- und höheren NH_4^+-Konzentrationen in der Bodenlösung (Abb. 2 a, c). Aus der Zugabe des Aucubin- und Catalpol-haltigen Extraktes zum Boden in Variante c) resultierte ein negativer Zusammenhang zwischen der IG-Konzentration im Extrakt und der N_{min}-Konzentration im Boden (Abb. 3 b, d). Aus b) und c) wurde geschlussfolgert, dass vor allem Aucubin die N-Mineralisation im Boden beeinflusst; aktiv, den Stoffwechsel der Nitrifizierer hemmend, durch den höchst bioaktiven Metabolit Aucubigenin und/oder passiv über den Einfluss des Hydrolysationsproduktes Glucose auf die Bodenflora. Insgesamt konnte die Hypothese gestützt werden, dass Allelochemikalien aus *P. lanceolata* eine aktive Rolle bei der Hemmung der N-Mineralisation im Boden spielen.

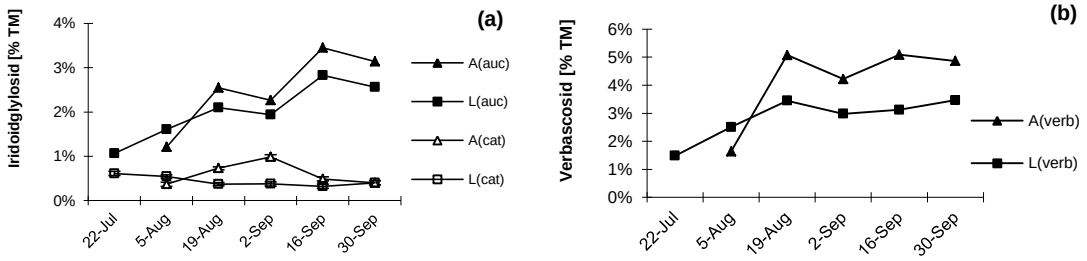


Abb. 4 - Gehalte von (a) Aucubin (auc), Catalpol (cat) und (b) Verbascosid (verb) in Blättern von *P. lanceolata* cv. Arterner (A) und cv. Libor (L) während der experimentellen Phase (Aussaat: 02. Juni 2011). Mittelwert ± Stabw., n = 2.

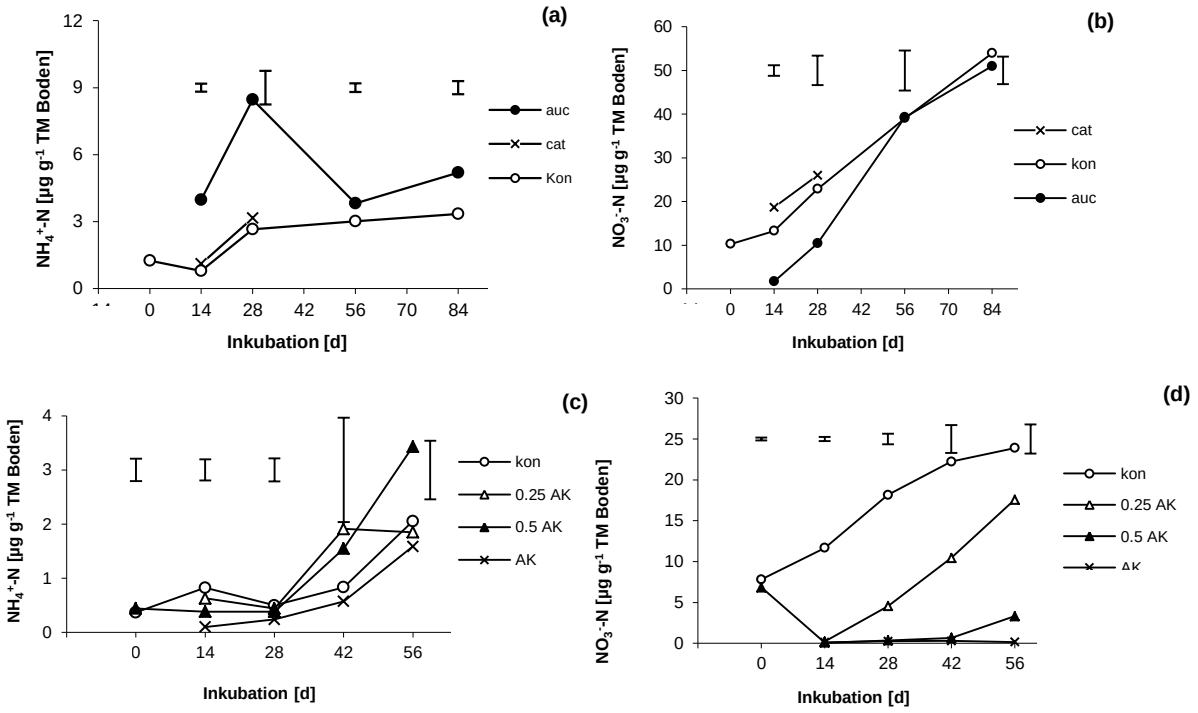


Abb. 5 - (a, c) NH_4^+-N- und (b, d) NO_3^--N-Konzentration im Boden, beeinflusst durch Zugabe von Aucubin (auc) oder Catalpol (cat) sowie wässrigem Spitzwegerichextrakt in der Ausgangskonzentration (AK) bzw. mit den Verdünnungsfaktoren 0,25 und 0,5 gegen Kontrollwerte (kon; Boden ohne Zugabe). Fehlerbalken zeigen die kleinsten Signifikanzunterschiede ($p < 0.05$). Mittelwerte, n = 5.

Literatur

Subbarao GV, Sahrawat KL, Nakahara K, et al. (2012) Biological nitrification inhibition - A novel strategy to regulate nitrification in agricultural systems. In Sparks D (ed.): Advances in Agronomy, Academic Press: Burlington 114:249-302

Alle weiteren siehe Dietz M, Machill S, Hoffmann HC, Schmidtke K (2012) Inhibitory effects of *Plantago lanceolata* on soil N mineralization. Plant Soil [online; DOI 10.1007/s11104-0 12-1524-9]

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 138–139 (2013)

Die N-Effizienz von Biogasgärresten

Lichti Fabian[1], Wendland Matthias[1], Schmidhalter Urs[2], Offenberger Konrad[1]

[1] *Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz*
[2] *Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Wissenschaftszentrum Weihenstephan*
fabian.lichti@lfl.bayern.de

Einleitung

Seit dem Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 ist die Produktion und Nutzung von Biogas, insbesondere im Bereich der Landwirtschaft, enorm gestiegen. Am Ende des Jahres 2011 wurden in Deutschland fast 7300 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von rund 3000 MW betrieben [1]. Bezogen auf die Anlagenzahl bedeutet dies eine siebenfache Zunahme der Biogasanlagen gegenüber dem Jahr 2000. Parallel dazu hat sich in diesem Zeitraum auch die Gesamtmenge an anfallendem Biogasgärrest (BGR) erhöht. Für das Bundesgebiet Deutschland bedeutet dies Ende 2012 einen Nährstoffanfall von jährlich ca. 82 Millionen m^3 Biogasgärrest mit etwa 415.000 t Stickstoff, 178.000 t P_2O_5, 474.000 t K_2O und 86.000 t MgO [2].

Material und Methoden

Geprüft wurde die Wirkung verschiedener BGR zu *Triticosecale*, *Triticum aestivum*, *Zea mays* anhand ortswechselnder Versuche und auf Grünland. Darüber hinaus gab es ein ortsfestes, zweijähriges Fruchtfolgesystem mit den Fruchtfolgegliedern *Zea mays*, *Triticosecale* und *Lolium perenne*.

Sämtliche Untersuchungen wurden in der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan bzw. am Fachzentrum Analytik der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau in Veitshöchheim untersucht (Elementaranalyse; vario MAX™ bzw. vario EL™; Fa. Elementar Analysensysteme GmbH, NIRSystems™ 5000; Fa. FOSS GmbH).

Die Berechnung der N-Effizienz erfolgte mittels Mineraldüngeräquivalenten auf Basis des Trockenmasseertrages sowie des applizierten NH_4-N. Dieser Parameter verdeutlicht mit welcher Menge mineralischen Stickstoffs bei gleichem Trockenmasseertrag bereits die Wirkung des organischen Düngers erreicht werden konnte. Die Auswertung der Versuche erfolgte mit dem statistischen Programmpaket SAS Enterprise Guide 4.3 (Version 4.3.0.10196, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) und SAS 9.2 (Version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Die Versuche wurden als “Lateinisches Rechteck” mit Auswertungsblöcken angelegt und verrechnet. Die Auswertungsgruppen wurden als Auswertungsserie der drei Versuchsjahre verrechnet. Unterschiede in den Varianten (Versuchsgliedern) wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse (GLM Procedure) und anschließendem t-Test (Least Significant Difference, α=0,05) ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

In mehreren seit 2008 angelegten Feldversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft wird die Wirkung der Düngung mit BGR an vier Standorten in Bayern,

insbesondere in Hinblick auf N-Effizienz, geprüft. Durch die Anschaffung spezieller Applikationstechnik wurden N-Steigerungsvarianten sowohl in rein mineralischer Form bzw. BGR, aber auch kombinierte Düngungsmaßnahmen angelegt. Ebenso ist es u.a. möglich den Einsatz der Applikationstechniken Breitverteilung, Schleppschlauch und Schleppschuh, sowie weitere Varianten in einem vierfach wiederholten, teilrandomisierten „Lateinischen Rechteck“ zu prüfen. Die Biogasgärreste zeigten mit einem Mineraldüngeräquivalent des applizierten NH_4-N bezogen auf den Trockenmasseertrag (MDÄ) von 55-87 % ($\bar{x}$ 73 %) in dem Fruchtfolgeversuch eine etwas bessere Wirkung als die eingesetzte Rindergülle (44-75 %, $\bar{x}$ 63 %).

Auch die Aufbereitung der BGR mit Pressschneckenseparatoren verändert deren inhaltliche Zusammensetzung und Wirkung. Während die separiert flüssigen BGR eine etwas höhere N-Effizienz von 52-95 % ($\bar{x}$ 76 %) MDÄ aufwiesen, fiel selbiges bei dem separiert festen BGR deutlich auf 28-58 % ($\bar{x}$ 39 %) ab. Pauschale Aussagen zur N-Effizienz lassen sich zum einen aufgrund der schwankenden physikalischen und chemischen Eigenschaften der organischen Dünger, insbesondere aber auch wegen der kultur- und standortbedingten Unsicherheiten nicht ableiten. Während die Düngung mit BGR zu Silomais bei unmittelbarer Einarbeitung ein MDÄ von 91 % aufwies, erzielten Winterweizen und Wintertriticale ein MDÄ von 55 % bzw. 56 %. Wurde der BGR auf unbestelltes Ackerland zu Silomais erst nach 3 Stunden eingearbeitet, so sank das MDÄ auf 79 %, respektive 74 % bei einer Einarbeitung nach 24 Stunden.

Um langfristige Effekte der Nährstoffverfügbarkeit von BGR abschätzen zu können und Nachwirkungen durch Immobilisation und Mineralisierung einordnen zu können, gilt es weiterhin ortsfeste Versuche fortzuführen und auszuwerten.

Literatur

[1] **Fachverband Biogas e.V. (2012):** Branchenzahlen 2011, Deutschland. Abrufbar unter: http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen. Abgerufen: April 2013.

[2] Eigene Berechnungen nach **Fachverband Biogas e.V., 2009, © 2012, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Biogas-Betreiber-Datenbank Bayern (BBD),** München.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 140–141 (2013)

Einfluss verschiedener Gärprodukte aus Biogasanlagen auf die Kohlenstoffdynamik des Bodens

Jorita Krieger[1], Nils Fischer[1], Kerstin Nielsen[2], Karen Sensel[2] und Frank Ellmer[1]

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

Einleitung

Gärprodukte sind Nebenerzeugnisse der Biogaserzeugung und werden mittlerweile vermehrt anstelle von traditionellen Wirtschaftsdüngern eingesetzt. In welchem Maße ihre Rückführung in den Boden zur Humusreproduktion beitragen kann, ist noch weitgehend ungeklärt. Im Rahmen eines mehrjährigen Forschungsprojektes zur Humusreproduktion von Gärprodukten aus Biogasanlagen wurden u.a. aerobe Inkubationsversuche zur Bewertung der Abbaustabilität der organischen Substanz in den Gärprodukten im Boden durchgeführt.

Material und Methoden

In den Jahren 2012 und 2013 wurden einfaktorielle Gefäßversuche mit fünf Wiederholungen unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus durchgeführt. Geprüft wurden drei flüssige (fl) und ein festes (fst) Gärprodukt aus Mono- (mo) und Kofermentationsanlagen (ko) von Maissilage sowie die Wirtschaftsdünger Stallmist und Rindergülle. Die Düngestoffe wurden bei 60 °C getrocknet, anschließend auf 4 mm Siebdurchgang gemahlen und homogen in den Boden (anlehmiger Sand) eingemischt. Der C_{org}-Gehalt des Bodens wurde durch die Düngung von 0,72 % d. TM um 50 % erhöht. Die biologische Aktivität des Bodens wurde indirekt über die diskontinuierliche Messung der CO_2-Exhalation (EGM-4 Gas Analysator) über 140 Tage ermittelt. Zu mehreren Terminen fand eine Analyse des bodenchemischen Status statt. Die Bewertung der Abbaustabilität der organischen Dünger erfolgte über die kumulierte CO_2-Exhalation abzüglich der reinen Boden-C-Mineralisierung.

Ergebnisse und Diskussion

Die Intensität der CO_2-Exhalation zu Versuchsbeginn gibt Aufschluss über die Verfügbarkeit an leicht umsetzbarem organischem Material in den Düngern. Dieses unterliegt als erstes dem mikrobiellen Abbau im Boden. Zu Versuchsbeginn wiesen die gedüngten Varianten für annähernd 20 Tage eine intensive CO_2-Exhalation auf. Hierbei wurden in beiden Jahren in den Gärprodukt-Varianten im Mittel bereits rund 10 % des eingesetzten Dünger-Kohlenstoffs mineralisiert. Die im Jahr 2013 zusätzlich eingesetzte Variante mit frischem Gärprodukt wies eine C-Mineralisierung von rund 6 % auf. Dieser Wert stimmt mit Ergebnissen von Chen et al. (2012) überein, sollte aber in einer Wiederholung des Versuches überprüft werden.

Nach 140 Tagen Versuchsdauer waren anhand der freigesetzten CO_2-Mengen deutliche Unterschiede in der Abbaustabilität der organischen Dünger zu erkennen. Der Stallmist wies mit einer C-Mineralisierung von insgesamt 13 % die höchste Abbaustabilität auf. Im Gegensatz dazu erreichten die Rindergülle und das feste Gärprodukt mit annähernd 45 % die höchsten Abbauraten, gefolgt vom GP 1 fl_ko mit 39 %. Bei GP 2 fl_ko und GP 3 fl_mo wiesen die Werte einheitlich knapp 30 % auf (Abb. 1).

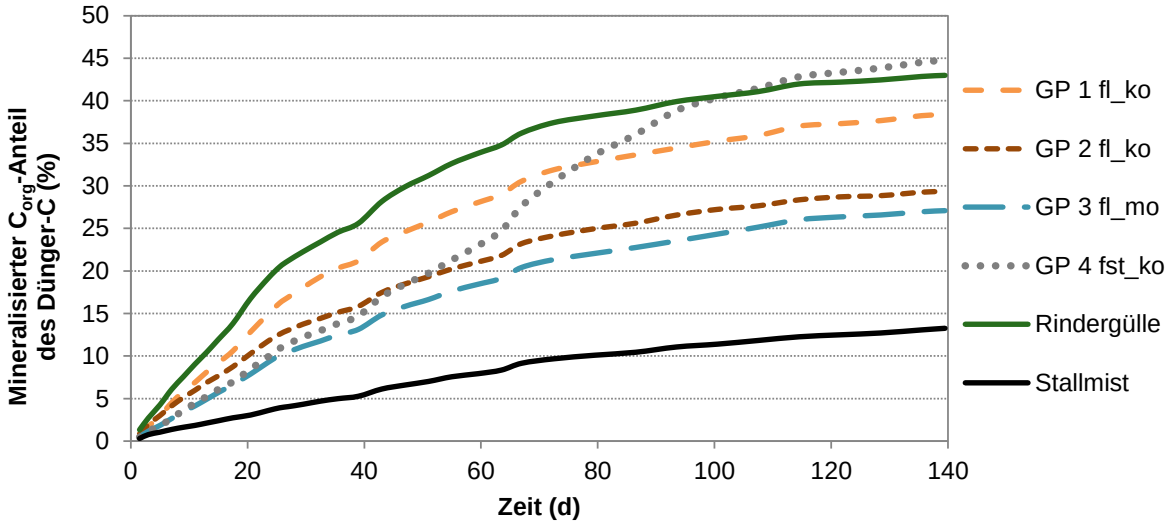


Abb. 1: Verlauf der Kohlenstoffmineralisierung in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Jahr 2012 (Mittelwerte, kumuliert)

Diese Ergebnisse konnten im Jahr 2013 weitgehend bestätigt werden. Die Rindergülle und das feste Gärprodukt erreichten insgesamt eine C-Mineralisierung von annähernd 55 %. Die flüssigen Gärprodukte hatten im Mittel Werte von rund 30 %. Allerdings wies der Stallmist in diesem Jahr einen geringeren Rottegrad auf, weshalb die C-Mineralisierung deutlich erhöht war und bei 48 % lag.

Die Analyse des bodenchemischen Status im Jahr 2012 ergab für die gedüngten Varianten nach 140 Tagen eine signifikante Differenzierung im C_{org}-Gehalt. Übereinstimmend mit den Ergebnissen der CO_2-Messungen erreichte die Rindergülle-Variante mit 0,85 % d. TM die signifikant geringsten Werte. Allerdings wies das feste Gärprodukt zwar eine vergleichsweise hohe CO_2-Exhalation auf, lag aber beim C_{org}-Gehalt des Bodens mit 0,92 % d. TM auf gleichem signifikant höherem Niveau wie die Stallmist-Variante (0,95 % d. TM). Die flüssigen Gärprodukte nahmen hierbei mit Werten um 0,88 % d. TM eine mittlere Stellung ein. Insgesamt reduzierte sich der Boden-C_{org}-Gehalt um 15 (GP 1 fl_ko) bis 25 % (GP 3 fl_mo). Der N_t-Gehalt wurde durch die Düngung einheitlich von 0,08 auf 0,1 % d. TM erhöht. Auch nach 140 Tagen war aufgrund des fehlenden Entzuges durch die Pflanzen keine Differenzierung zwischen den gedüngten Varianten festzustellen. Allerdings liefen im Boden mehr oder weniger intensive N-Mineralisierungsprozesse ab. Beim Gehalt an heißwasserlöslichem Kohlenstoff (C_{hwl}) wurde insgesamt eine deutliche Differenzierung zwischen den Varianten festgestellt. Die höchste Abnahme des C_{hwl}-Gehaltes um fast 50 % rel. verzeichnete GP 1 fl_ko, während das feste Gärprodukt und die Stallmist-Variante lediglich um 10 bzw. 16 % rel. geringere Werte aufwiesen. Die Düngung führte zudem zu einer signifikanten Erhöhung des Boden-pH-Wertes. Dieser lag zwischen 5,69 (Kontrolle) und 6,46 (GP 1 fl_ko). Zum Versuchsende erreichten alle Varianten ein einheitliches pH-Wert-Niveau um 6,29.

Zusammenfassend ist, bezugnehmend auf die CO_2-Exhalation, die Mineralisierung des Dünger-C des festen Gärproduktes gleichzusetzen mit der der Rindergülle. Die flüssigen Gärprodukte wiesen im Mittel geringere Werte auf, gefolgt vom Stallmist.

Literatur

Chen, R.; Blagodatskaya, E.; Senbayram, M.; Blagodatsky, S.; Myachina, O.; Dittert, K.; Kuzyakov, Y. (2012): Decomposition of biogas residues in soil and their effects on microbial growth kinetics and enzyme activities. Biomass and Bioenergy 45:221-229

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 142–143 (2013)

Düngeeffekt separierter Biogasgärreste auf den Ertrag von Silomais

Andrea Ehmann[1], Ulrich Thumm[1], Iris Lewandowski[1]

[1] Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergiepflanzen (340b), 70599 Stuttgart. E-Mail: *a.ehmann@uni-hohenheim.de*

Einleitung

Die Anzahl der Biogasanlagen steigt weiter und damit auch der Anfall an Biogasgärresten. Diese können wieder zur Nährstoffversorgung von Kulturpflanzen eingesetzt werden. Insbesondere beim Anbau von Biogassubstraten lässt sich somit der Nährstoffkreislauf zumindest teilweise schließen. Die Rückführung von Reststoffen ist aus ökologischer und ökonomischer Sicht vorteilhaft. So benötigt die Herstellung von Mineraldüngern extrem viel Energie, welche durch Gärrestnutzung eingespart werden kann. Durch Ausbringung der Reststoffe auf landwirtschaftliche Flächen fallen zudem keine Entsorgungskosten und geringere Ausgaben für Mineraldünger an. Ziel dieses Vorhabens ist es, anhand von Silomais zu untersuchen, ob separierte Biogasgärreste Mineraldünger ganz oder teilweise ersetzen können.

Material und Methoden

Seit 2010 laufen Feldversuche mit Biogasgärresten an zwei Standorten am Fuß und auf der Schwäbischen Alb ca. 35 km südlich von Stuttgart (Tab. 1).

Tab. 1: Standortbeschreibung der Lindenhöfe (Versuchsstation Agrarwissenschaften, Uni Hohenheim)

	Oberer Lindenhof (OLI)	**Unterer Lindenhof (ULI)**
Höhe	700 m ü. NN	480 m ü. NN
Ø Jahrestemperatur	7,3 °C	8,5 °C
Ø Jahresniederschlag	950 mm	897 mm
Bodenart / Bodenzahl	schluffiger toniger Lehm / 60-70	steinige Mergelrendzinen / 50

Silomais (*Zea mays* L.) wurde mit separierten Gärresten in vier Varianten gedüngt. Die Separierung der Gärreste wurde vorgenommen um ihre Ausnutzung zu optimieren, da die Flüssig- und Festphase unterschiedliche Gehalte an N, P und organischer Substanz aufweisen. Zum Vergleich dienen eine Mineraldünger- und eine Kontrollvariante (Tab. 2). Die Gärreste wurden sofort nach der Applikation eingearbeitet. Versuchsdesign ist eine Spaltanlage mit vier Wiederholungen.

Tab. 2: Düngevarianten (mit * gekennzeichnete Varianten wurden im Jahr 2012 angepasst)

Variante	**Behandlung**	**Ausbringung**
N0	Kontrolle ohne Düngung	-
N1	Kalkammonsalpeter, KAS	Kastenstreuer
N2*	fester Gärrest/Basis NH_4^+-N bzw. ab 2012 fester Gärrest + KAS	Gärrest von Hand, KAS mit Kastenstreuer
N3	fester Gärrest	von Hand
N4*	flüssiger Gärrest/Basis NH_4^+-N bzw. ab 2012 flüssiger Gärrest + KAS	Gärrest mit Versuchsgüllefass, KAS mit Kastenstreuer
N5	flüssiger Gärrest	Versuchsgüllefass

2010 und 2011 basierte die Stickstoff-Aufwandmenge von 150 kg N ha^{-1} teils auf der Ermittlung von Gesamt-N- und teils nur auf den NH_4^+-N-Gehalten der Gärreste. Dies erschwerte jedoch den Vergleich der Varianten, da die Varianten mit NH_4^+-N-Basis grob doppelt so viel N erhielten. Deshalb wurden die 150 kg N ha^{-1} ab 2012 in allen gedüngten Parzellen nur noch auf Basis des Gesamt-N-Gehaltes der Gärreste

appliziert. Die Varianten N2 und N4 wurden mit Gärresten (100 kg N ha^{-1}) und Kalkammonsalpeter (KAS, 50 kg N ha^{-1}) behandelt. Nach der Ernte wurden die Frisch- und Trockenmasse-Erträge sowie die Mineralstoffgehalte des Ernteguts ermittelt. Alle Gärreste wurden vor der Ausbringung auf NH_4^+- und NO_3^--Gehalte untersucht. Zusätzlich wurde die Gärrestanalyse ab 2013 auf weitere pflanzenrelevante Nährstoffe (P, K, Mg) ausgeweitet. Vor und nach der Vegetationsperiode wurden auf den Parzellen Bodenproben entnommen und der N_{min}-Gehalt analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Über drei Versuchsjahre führte die Gärrestapplikation am OLI stets zu Ertragssteigerungen im Vergleich zur Kontrolle, am ULI war dies nicht in jedem Jahr in allen Varianten gegeben (Abb. 1). Die KAS-Parzellen (N1) erzielten fast immer die höchsten absoluten TM-Erträge; es folgten die Parzellen, auf denen flüssige Gärreste appliziert wurden bzw. im Jahr 2012 die Gärrest-KAS-Kombinationen. Bei den reinen Gärrestvarianten war die Behandlung mit flüssiger Gärrestphase (N5) vorteilhafter als mit fester Gärrestphase (N3), vor allem am OLI im Jahr 2011.

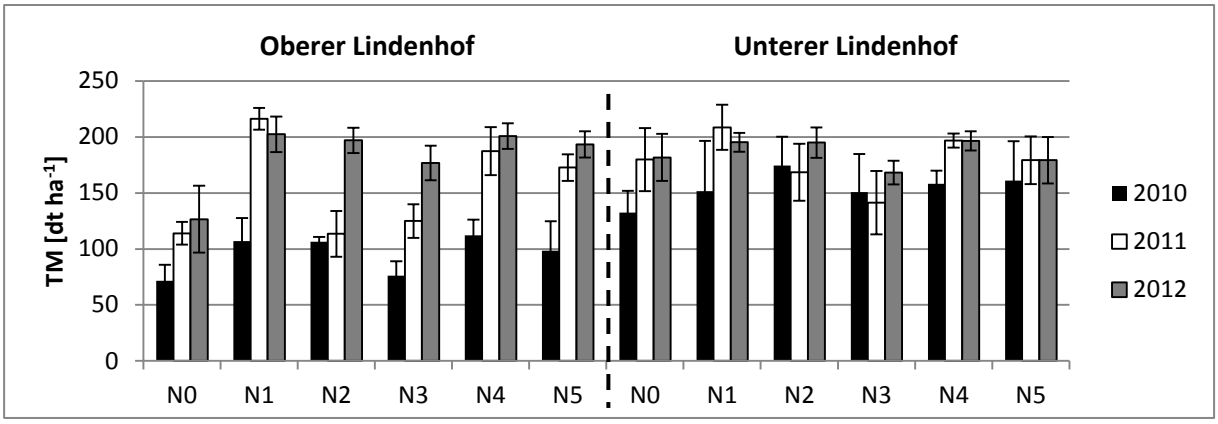


Abb. 1: Mittlere TM-Erträge von Silomais von 2010-2012 bei unterschiedlichen Düngevarianten.

Am OLI gab es im Jahr 2012 zwischen den gedüngten Parzellen keine signifikanten Unterschiede. Ähnliche Beobachtungen machten auch Manfredini *et al.* (2010). Werden Gärreste und Mineraldünger kombiniert, ist von einer gesteigerten N-Düngewirkung beider Dünger auszugehen und die N-Versorgung besser steuerbar (Möller *et al.* 2009). Insgesamt zeigen die hier dargestellten Ergebnisse, dass sich durch den Gärresteinsatz in Silomais durchaus Mineraldünger einsparen bzw. ersetzen lässt. Unter der Voraussetzung einer sachgerechten, emissionsarmen und dem Pflanzenbedarf angepassten Gärrestausbringung ist ein nachhaltiger Anbau von Silomais und anderen Biogassubstraten definitiv auch praktisch umsetzbar. Dabei eignet sich nach diesen Untersuchungen insbesondere der Einsatz der flüssigen Gärrestphase in der Maisproduktion, was vermutlich auf die schnellere Verfügbarkeit von N aus dem flüssigen Gärrest zurückzuführen ist. Hier wäre zu prüfen, inwieweit sich die festen Gärreste langfristig positiv auf den Boden-C-Gehalt auswirken.

Literatur

Möller, K. Schulz, R. und T. Müller (2009): Mit Gärresten richtig düngen. Aktuelle Informationen für Berater. Institut für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim.

Manfredini, A. *et al.* (2010): Carbon and nitrogen mineralization of raw and separa-ted, digested animal manures. Proc. 14. Ramiran Int. Conf., Lisboa, Portugal, 2010.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 144–145 (2013)

Effiziente Düngung mit Gärresten in Energiepflanzenfruchtfolgen

Beate Formowitz[1] und Maendy Fritz[1]

[1] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing; E-Mail: *beate.formowitz@tfz.bayern.de*

Einleitung

Für eine bedarfsgerechte Düngung mit Gärresten spielt die Kenntnis der düngerelevanten Inhaltstoffe, deren Verfügbarkeit und mineraldüngeräquivalente Wirkung für das Pflanzenwachstum eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des EVA-Verbundprojekts eine Versuchsreihe an 5 bzw. 6 Standorten Deutschlands (Ascha, Dornburg, Gülzow, Ettlingen, Werlte, Trossin) zur Düngewirksamkeit von Gärresten angelegt.

Im so genannten „Großen Gärrestversuch“ (GrGV) wurde den Fragen nachgegangen, ob bei der Unterstellung eines Mineraldüngeräquivalents (MDÄ) von 70 % ausreichend Stickstoff (N) ausgebracht wird, um den Bedarf der Kulturen zu decken und welche Gärrestmenge vergleichbare Erträge zur optimalen mineralischen Düngung erbringt. Ziel des „Kleinen Gärrestversuchs“ (KlGV) ist die Klärung der ertraglichen, ökologischen und ökonomischen Unterschiede zwischen einer reinen Gärrestdüngung im Vergleich zu einer gemischten sowie einer rein mineralischen Variante. Seit 2011 werden durch das GHG-Verbundprojekt „Potenziale zur Minderung der Freisetzung von klimarelevanten Spurengasen beim Anbau von Energiepflanzen zur Gewinnung von Biogas“ die entstehenden Klimagasemissionen gemessen, die für eine Bewertung ebenfalls bedeutsam sind.

Material und Methoden

Vier Stickstoff-Düngestufen (100 % N mineralisch, 75 % Gärrest-N, 100 % Gärrest-N, 125 % Gärrest-N) wurden im GrGV an allen Standorten bei Mais und einer jeweils regional bedeutsamen Alternative (Weidelgras, Wintertriticale, *Sorghum bicolor*) auf einer jährlich wechselnden Fläche miteinander verglichen. Darüber hinaus wurden 3 weitere N-Stufen bei Mais (0 % N-Düngung, 50 % Gärrest-N, 200 % Gärrest-N) an den Messstandorten des GHG-Kooperationsprojektes angelegt.

Im KlGV wird eine rein mineralische N-Variante (min) mit einer rein organischen Gärrest-N-Düngung (org) und einer 50/50 mineralisch/Gärrest-N-Variante (mix) innerhalb einer Fruchtfolge verglichen. Die Fruchtfolge (FF) startete in Anlehnung an die mineralisch gedüngte FF 3 des EVA-Grundversuchs mit Mais in der Anlage I in 2009 und Anlage II in 2010. Es folgten jeweils Winterroggen, Sorghum, Wintertriticale, Weidelgras und als Abschlussfruchtfolgeglied Winterweizen.

Die Düngung erfolgte nach standortüblichen Sollwerten. Die Gärrest-N-Mengen wurden mit Unterstellung eines MDÄ von 70 % und ohne Anrechnung von Ausbringverlusten je Kultur berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Da die Gärreste aus versuchsflächennahen Anlagen bezogen wurden, schwankten die Inhaltstoffe der verwendeten Gärreste auf Grund der Nutzung und Kombination verschiedener Biogassubstrate (reine Nawaro-Anlagen und Ko-Fermentationsanlagen), veränderter Fütterung innerhalb einer Anlage und Änderungen des Gärmilieus sowie unvorhergesehenen Wassereinträgen bei nicht abgedeckten Nachgärern (alte Anlagen). Es können daher keine „Standard- oder Tabellenwerte“ für Gärreste

festgelegt werden und es bedarf somit einer engmaschigen Beprobung zur Kenntnis der Nährstoffgehalte.

Die drei- bis vierjährigen Ergebnisse im GrGV unterstrichen die gute Düngewirkung von Gärresten bei allen getesteten Kulturen und der Unterstellung eines MDÄ von 70 %. Während bei Weidelgras und Wintertriticale im Durchschnitt die 100 % und 125 % Gärrest-N Varianten überzeugten, war dies bei Mais und *Sorghum bicolor* schon bei der 75 % Gärrest-N Variante der Fall. Letzteres deutet vor allem bei Mais und Sorghum auf eine gute Verwertung der organischen Dünger hin. Eine generelle Reduzierung der N-Gabe zu diesen Kulturen wäre aus Wasserschutzsicht zu begrüßen, um Risiken der Nitratauswaschung über Winter zu verringern. Gerade bei Mais traten vermehrt höhere N_{min}-Gehalte nach Ernte auf.

Beide organische Varianten im KlGV erzielten vergleichbare Erträge zur Mineraldüngervariante. Dabei zeigte sich die gemischte Variante oftmals als leicht überlegen, durch die Möglichkeit kurzfristige und langzeit-Düngeeffekte beider Düngeformen zu kombinieren. Auch können mineralische Düngegaben noch zu wesentlich späteren Zeitpunkten in den Bestand ausgebracht werden als organische Dünger und so zur Qualitätssicherung beitragen.

Wie wichtig eine unverzügliche Einarbeitung der Gärreste nach Ausbringung ist, um Ammoniakverluste (NH_3), die bei Mineraldüngern generell sehr gering sind, zu vermeiden, zeigen erste Ergebnisse der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU Kiel) im GHG-Projekt. Zusätzlich können die Standortunterschiede mit variierenden Gärresteigenschaften erklärt werden, die in Dornburg einen höheren pH-Wert (7,8) und höheren Anteil NH_4 am Gesamt-N aufwiesen (65 %), im Vergleich zu Ascha (pH = 7,5; NH4 = 41 %), und so zu höheren Verlusten beitrugen.

Die vom ZALF berechneten Energiebilanzen der Düngevarianten im KlGV zeigen, dass Energieerträge zwar stark abhängig sind von fruchtarten- und fruchtfolgespezifischen Erträgen, der Energieeinsatz jedoch eine weitaus größere Auswirkung auf die Energiebilanz hat. Nach wie vor weist die Herstellung mineralischer Düngemittel (vor allem N und Kalk) den größten Energieverbrauch auf. Somit kann die Düngung mit Gärresten den Energieeinsatz drastisch senken, woraus die höheren Energiesalden der organischen Varianten resultieren.

Vielfältige Informationen über alle Versuche im EVA-Verbund finden Sie auf der Projekt-Homepage www.eva-verbunde.de und ausgewählte Informationen zum bayerischen Standort unter www.tfz.bayern.de.

Geldgeber und Projektpartner

Die Gärrestversuche als Teil des Verbundvorhabens „EVA II“, Kurztitel „Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen“, wurden mit Mitteln des BMELV über die FNR gefördert. An den vorliegenden Ergebnissen waren neben dem Technologie- und Förderzentrum (TFZ) folgende Projektpartner beteiligt: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL); Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA); Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG); Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ); Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWKNS); Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. Zusätzliche Ergebnisse lieferte die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) innerhalb des Verbundprojekts „Potentiale zur Minderung der Freisetzung von klimarelevanten Spurengasen beim Anbau von Energiepflanzen zur Gewinnung von Biogas“. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 146–147 (2013)

Einfluss von Standort und Herkunft auf das Ertragspotenzial der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) unter bayerischen Anbaubedingungen

Falko Stockmann[1], Maendy Fritz [1]

[1] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing, E-Mail: *falko.stockmann@tfz.bayern.de*

Einleitung

Als Ergänzung zum weit verbreiteten Silomaisanbau als Biogaspflanze werden vermehrt Dauerkulturen mit langen Standzeiten diskutiert. Durch ihre vielfältigen Vorteile (ganzjährige Bodenbedeckung, Erosionsschutz, lange Blütezeit, wenig Pflanzenschutz) können sie eine wertvolle Bereicherung der Agrarlandschaft sein. Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) oder Becherpflanze kann unter optimalen Bedingungen das Ertragsniveau von Mais erreichen (Conrad et al., 2009). Diese ursprünglich aus Nordamerika stammende Kulturart gehört zur Familie der Asteraceae, ist eine mehrjährige, gelbblühende Pflanze mit hoher Trockentoleranz (Vetter et al., 2009). Die Pflanze bildet im ersten Jahr nur eine bodenständige Rosette, ab dem zweiten Jahr bildet sie bis zu drei Meter hohe, charakteristisch vierkantige Stängel mit großen, becherförmigen Blättern.
Im Jahr 2011 wurde an drei bayerischen Standorten ein Feldversuch angelegt, um zu prüfen, wie sich verschiedene Herkünfte auf den Trockenmasseertrag (TM) und den Trockensubstanzgehalt (TS) auswirken.

Material und Methoden

Im Jahr 2011 wurden die Silphie-Herkünfte Thüringen, Norddeutschland, USA und Russland (letztere nur in Straubing) an den Standorten Straubing und Aholfing mit 4 Pflanzen m^{-2} (Reihenabstand 50 cm) in Parzellenversuchen (Blockanlage, vier Wiederholungen) am 19.05.2011 bzw. 20.05.2011 ausgepflanzt. Am Standort Markersreuth wurde nur die Herkunft Thüringen am 26.05.2011 mit gleicher Pflanzdichte angebaut. Die Standortbeschreibungen sowie N-Düngung zeigt Tabelle 1.

Tab. 7: Beschreibung der Versuchsstandorte und N-Düngung

Standort	Straubing	Aholfing	Markersreuth
Höhe über NN	321 m	325 m	556 m
Landkreis	Straubing-Bogen	Straubing-Bogen	Hof
Temperatur	9,0 °C	9,0 °C	7,6 °C
Niederschlag	716 mm	723 mm	892 mm
Bodenart	schluffiger Lehm	sandiger Lehm	sandiger Lehm
Ackerzahl	75	47	28
N-Düngung* 2012	120 kg N ha^{-1}	120 kg N ha^{-1}	140 kg N ha^{-1}

*mittels KAS (Kalkammonsalpeter, 27 % Stickstoff)

Zur Unkrautbekämpfung wurde in der Etablierungsphase 2011 an allen Standorten gehackt. In Markersreuth kam zusätzlich das Herbizid Stomp Aqua sowie eine Ungräserbehandlung zum Einsatz (Ausnahmegenehmigung notwendig). Nach einer gelungenen Etablierung trieben die Pflanzen im Frühjahr 2012 wieder aus und wuchsen zum Teil zu beachtlichen Beständen heran. Die Ernte erfolgte mit einem

reihenunabhängigen Feldhäcksler am 07.09.2012 in Straubing, am 05.09.2012 in Aholfing und am 2.10.2012 in Markersreuth. Als Vergleich zu den erzielten TM-Erträgen der Silphie wurde Silomais herangezogen, der in direkter Nähe zu den Silphie Flächen stand und praxisnah bewirtschaftet wurde.

Ergebnisse und Diskussion

Im Herkunftsvergleich erzielten die Herkünfte Norddeutschland (222 dt ha^{-1}) und Thüringen (209 dt ha^{-1}) in Straubing die höchsten TM-Erträge und konnten mit Silomais (232 dt ha^{-1}) mithalten (Abb. 1). Die beiden Herkünfte USA und Russland konnten nur ca. 80 % der Herkünfte Norddeutschland und Thüringen erreichen (Mittel: 170 dt ha^{-1}). Am Standort Aholfing wurde ein deutlich geringerer TM-Ertrag von im Mittel nur 116 dt ha^{-1} erreicht. Selbst die Herkunft Thüringen, die in Straubing noch über 200 dt ha^{-1} brachte, fiel in Aholfing deutlich ab und erreichte nur ca. 55 % des TM-Ertrags, das sie am Standort Straubing erreicht hatte. Der Silomais erwies sich mit TM-Erträgen von 268 dt ha^{-1} als wesentlich ertragsstärker. Am Standort Markersreuth zeigte die Herkunft Thüringen ein mittleres Ertragsniveau von 127 dt ha^{-1}. Auch hier erzielte der Silomais (210 dt ha^{-1}) deutlich höhere TM-Erträge. Der TS-Gehalt lag bei den Silphie Herkünften, bis auf den Standort Markersreuth (32,9 %), knapp unterhalb der 28 %-Grenze, die eine verlustarme Silierung sichert.

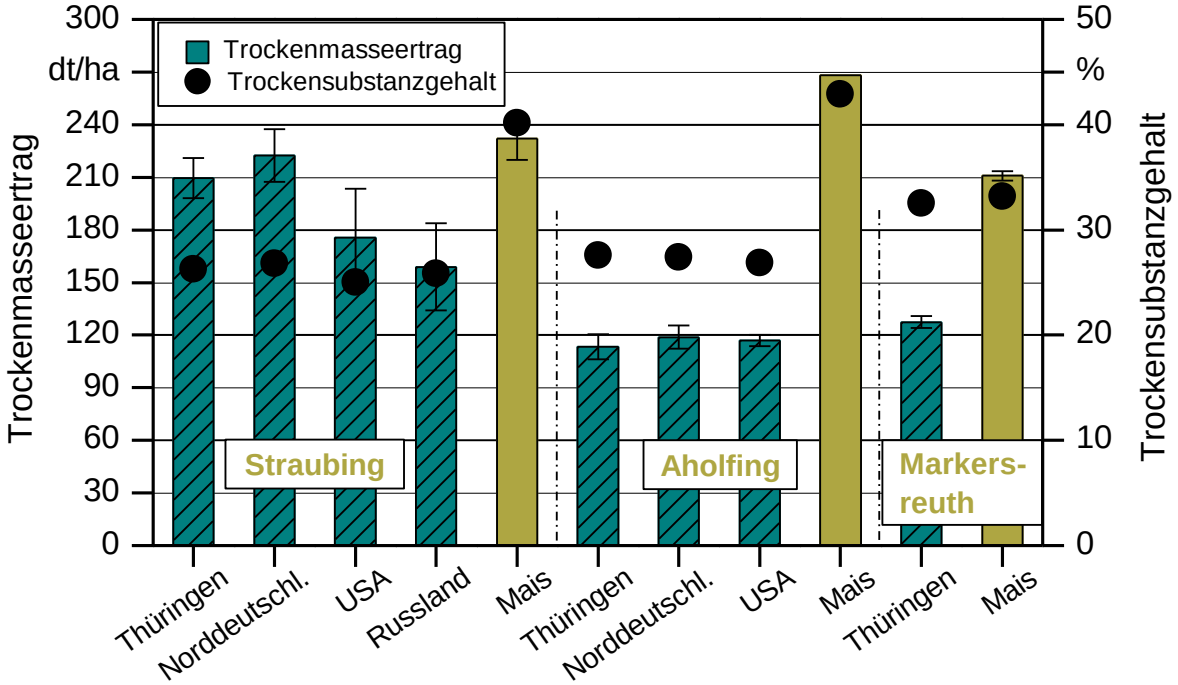


Abb. 6: TM-Ertrag in dt ha^{-1} und TS-Gehalt in % getrennt nach Standort und Herkunft

Fazit: Die Kulturart D. Silphie kann bei sehr guten Standortbedingungen das Niveau von Silomais erreichen. Durch die beschriebenen Vorteile einer Dauerkultur ist ihr Anbau eher für extensive oder schwer zugängliche Standorte zu empfehlen. Auf ertragsstarken Standorten wäre Silomais vorzuziehen.

Literatur

Conrad, M., Biertümpfel, A., Vetter, A. (2009): Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) – von der Futterpflanze zum Koferment. 2. Symp. Energiepfl. 2009, Berlin, Gülz. Fachgespräche Band 34

Vetter, A., Heiermann, M., Toews T. (Hrsg.) (2009): Anbausysteme für Energiepflanzen. Optimierte Fruchtfolgen + effiziente Lösungen. DLG Verlag, Frankfurt am Main, ISBN: 978-3-7690-0701-5

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 148–149 (2013)

Mehrjährige Biogaskulturen – Einfluss des Erntezeitpunktes auf Ertrag, TS-Gehalt und Methanausbeute

Benjamin Mast[1], Simone Graeff-Hönninger[1], Annett Reinhardt-Hanisch[2], Andreas Lemmer[2], Hans Oechsner[2], Wilhelm Claupein[1]

[1] Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 23, 70599 Stuttgart. benjamin.mast@uni-hohenheim.de
[2] Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart

Einleitung

Der hohe Stellenwert des Maises für die Biogaserzeugung, verbunden mit einer kontinuierlichen steigenden Anzahl an Biogasanlagen, führte in einigen Regionen Deutschlands zu einem teilweise starken Anstieg der Energiemaisanbaufläche. Eine Entwicklung die aufgrund ökologischer als auch phytosanitärer Problematiken zunehmend kritisch betrachtet wird, weshalb die Suche nach alternativen Biogassubstraten in den letzten Jahren stark forciert wurde, mit dem Ziel das Kulturartenspektrum kontinuierlich zu erweitern. Vor diesem Hintergrund werden auch zunehmend mehrjährige Kulturarten für die Nutzung als Biogassubstrat diskutiert, da diese sowohl aus ökologischer (bspw. ganzjährige Bodenbedeckung) als auch aus ökonomischer (bspw. Einsparung von Produktionsmittel und -kosten) Sicht gewisse Vorteile bietet können. Allerdings sind hinsichtlich dieser neuartigen Kulturarten noch einige grundlegende anbautechnische Fragen zu klären. Der Fokus des vorliegenden Beitrags liegt daher auf dem Aspekt Erntezeitpunkt und dessen Einfluss auf die Parameter TM-Ertrag, TS-Gehalt sowie Methanausbeute der Kulturarten Durchwachsene Silphie (*Silphium perfolatium*) und Szarvasi (*Elymus elongatus*).

Material und Methoden

Der Feldversuch wurde im Jahr 2011 an der Versuchsstation der Universität Hohenheim, Ihinger Hof (490 m ü. NN; ø Jahrestemperatur 7,9 °C; ø Jahresniederschlag 690 mm) als randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt, wobei D. Silphie Ende Mai gepflanzt (4 Pflanzen m^{-2}) und Szarvasi Anfang Mai gesät (544 Körner m^{-2}) wurde. Mais (Aussaat: 27. April 2012, Ernte: 18. Sept. 2012) wurde als Referenzvariante in den Versuch integriert. Die N-Düngung im Jahr 2012 erfolgte mit insgesamt 180 kg N ha^{-1} (D. Silphie, Mais) und 120 kg N ha^{-1} (Szarvasi). Die Ernte (je 1 m^2) wurde im zweiten Anbaujahr (2012) über einen Zeitraum von 4 Wochen (28. Juni – 18. Juli) wöchentlich (Szarvasi) bzw. 8 Wochen (22. August – 04. Oktober) zweiwöchentlich (D. Silphie) durchgeführt. Im Anschluss an jeden Erntetermin wurden TS-Gehalte sowie die TM-Erträge der Proben ermittelt. Die Bestimmung der spezifischen Methanerträge der Proben erfolgte anhand des Hohenheimer Biogasertragstests, für eine exakte Beschreibung der Durchführung siehe Helffrich & Oechsner (2003). Zur statistischen Auswertung der erhobenen Daten wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem multiplem Mittelwertsvergleich (Tukey-Test) bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Durchwachsene Silphie zeigte über einen Erntezeitraum von 8 Wochen abnehmende TM-Erträge (17,2 - 13 t ha^{-1}), jedoch waren die Unterschiede nicht signifikant. Im Vergleich mit Mais (17,2 t ha^{-1}) erreichte D. Silphie ein ähnliches Ertragsniveau. Szarvasi

zeigte im Verlauf von 4 Wochen signifikant ansteigende TM-Erträge (8.9 -13.4 t ha^{-1}), die allerdings deutlich unter den Maiserträgen lagen. Die spez. Methanerträge von D. Silphie schwanken zwischen 0,232 Nm^3 kg oTS^{-1} (1. Termin) und 0,275 (Nm^3 kg oTS^{-1}), während die Methanhektarerträge im Bereich von 3320 Nm^3 ha^{-1} (4. Termin) und 4300 Nm^3 ha^{-1} (3. Termin) lagen. Insgesamt lagen die Methanerträge deutlich unter den bei Mais (0,35 Nm^3 kg oTS^{-1}) gemessen. Szarvasi zeigte dagegen am ersten Termin signifikant höhere spez. Methanerträge (0,376 Nm^3 kg oTS^{-1}) als Mais, allerdings nahmen diese im Verlauf der Ernteperiode auf ein Niveau von 0,311 Nm^3 kg oTS^{-1} (4.Termin) ab. Den höchsten Methanhektarertrag wies der letzte Erntetermin (4150 Nm^3 ha^{-1}) auf, allerdings lag dieser aufgrund des geringeren TM-Ertrages signifikant unter dem von Mais (6000 Nm^3 ha^{-1}). Insgesamt bleibt festzuhalten, dass ein Einfluss des Erntetermins auf die Mehrzahl der Kulturen und erhoben Parameter festgestellt werden konnte. Darüber hinaus zeigte D. Silphie (1 & 2. Termin) durchaus günstige TM-Erträge, während Szarvasi (1. & 2. Termin) äußerst positive spez. Methanerträge aufwies.

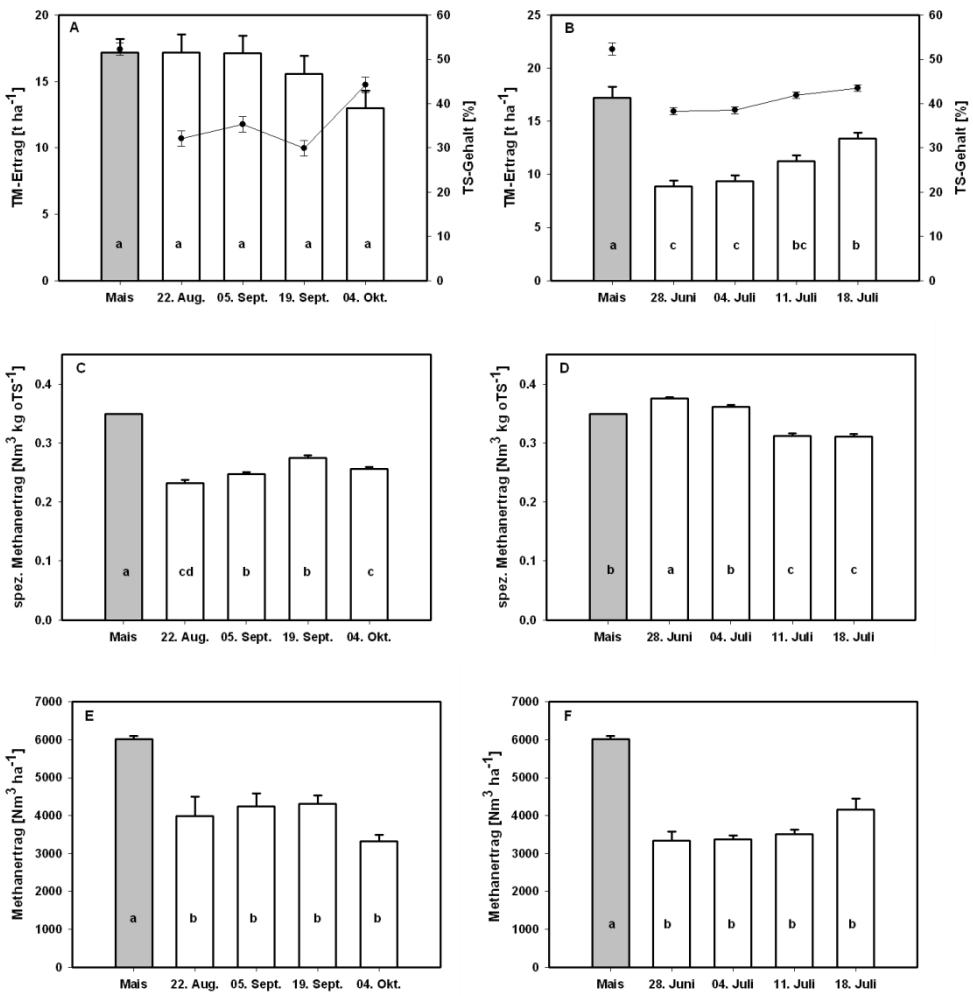


Abb. 1: TM-Erträge [t ha^{-1}] (A, B), TS-Gehalte [%] (A, B), spez. Methanerträge [Nm^3 kg oTS^{-1}] (C, D) und Methanhektarerträge [Nm^3 ha^{-1}] (E, F) von Durchwachsener Silphie (links), Szarvasi (rechts) sowie der Referenzvariante Mais (grau).

Literatur

Helffrich, D., Oechsner, H. (2003): Hohenheimer Biogasertragstest – Vergleich verschiedener Laborverfahren zur Vergärung von Biomasse. Landtechnik (3), 148-149.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 150–151 (2013)

Treibhausgasemissionen des Energiepflanzenbaus zur Biogasnutzung

Robert Simon[1], Ewald Sticksel[1], Dorothea Hofmann[1], Joachim Eder[1], Harald Schmid[2] und Kurt-Jürgen Hülsbergen[2]

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising; [2] Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising. E-Mail: *robert.simon@lfl.bayern.de*

Einleitung

Silomais ist die bedeutendste Fruchtart zur Erzeugung von Strom und Wärme in Biogasanlagen. Mais hat ein hohes Trockenmasse- und Methanertragspotenzial und weist eine günstige Energiebilanz auf. Allerdings kann der intensive Maisanbau auch mit ökologischen Nachteilen verbunden sein. Neben der Erosionsgefahr beim Anbau ohne Winterbegrünung und negativen Wirkungen auf Biodiversität und Landschaftsästhetik bei sehr hohen Maisanbaukonzentrationen wird auch eine mögliche Erhöhung der landwirtschaftlichen Treibhausgas-(THG-)Emissionen durch den Anbau von Energiemais diskutiert. Daher ist es von großer Bedeutung, die beim Anbau von Silomais und anderen Energiepflanzen auftretenden Emissionen zu quantifizieren und Strategien zur Emissionsminderung abzuleiten.

Material und Methoden

In einem Feldexperiment wurden in den Jahren 2007-2010 an drei bayerischen Standorten (Freising: feucht-kühl; Ansbach: trocken; Straubing: feucht-warm) unterschiedliche Erstfrucht-/Zweitfruchtkombinationen (Erstfrüchte: Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale; Zweitfrüchte: Weidelgras, Hafer, Sorghumhirse, Silomais, Sonnenblume) sowie Winterroggen als Deckfrucht mit einer Kleegrasuntersaat hinsichtlich ihrer Ertragsfähigkeit geprüft. Als Referenzfrucht wurde Silomais verwendet. Der Versuch wurde mineralisch gedüngt, ohne Zufuhr organischer Dünger. Die THG-Emissionen wurden auf der Grundlage der experimentellen Daten berechnet; sie berücksichtigen den Einsatz fossiler Energie und die damit verbundenen CO_2-Emissionen, die Humusreproduktion und die Lachgasemissionen.

Die Energiebilanz wurde als Prozessanalyse (Hülsbergen 2003, Küstermann et al. 2007) durchgeführt. Sie umfasst alle direkten und indirekten Energieinputs bis zur Ernte (Kraftstoff, Saatgut, Düngung, Pflanzenschutz, Geräte und Maschinen). Die Kalkulation der daraus resultierenden THG-Emissionen erfolgte auf Basis aktueller Emissionsfaktoren.

Die Humusbilanzierung erfolgte (a) unter Berücksichtigung der Standortbedingungen, der Erträge und N-Düngung mit der dynamischen Humuseinheiten-Methode (Hülsbergen 2003; Brock et al. 2013) und (b) nach der VDLUFA-Methode (VDLUFA 2004).

Die hier vorgestellten produktspezifischen Emissionen beziehen sich auf eine kWh aus der Verbrennung des im Biogasprozess entstehenden Methans (Methanbildungspotenzial), das Untersuchungsjahr 2009 und den Standort Freising. Die Jahresmitteltemperatur betrug 2009 8,7 °C, der Jahresniederschlag 820 mm.

Ergebnisse und Diskussion

Die Treibhausgasbilanz des Standortes Freising im Jahr 2009 lässt sich Tabelle 1 entnehmen. Das Referenzsystem Silomais hat die niedrigsten produktspezifischen THG-Emissionen, wenn der Humusabbau nicht berücksichtigt wird. Auch die flächenbezogenen THG-Emissionen sind nicht signifikant höher als die der Winterroggen/Kleegrasuntersaat-Variante. Wintergerste/Silomais hat durch die hohen Inputs ohne deutlichen Ertragszuwachs die höchsten THG-Emissionen. Wird die Änderung im Humusgehalt in die Rechnung einbezogen, sind die flächen-, sowie produktbezogenen THG-Emissionen bei der Variante mit Kleegrasanteil niedriger als beim Silomais.

Tabelle 8: Treibhausgasbilanz des Standortes Freising 2009 für ausgewählte Fruchtfolgen (FF) im Vergleich mit Silomais.

Kennzahl	ME	Winter-gerste	Silo-Mais	**FF**	Winter-roggen	Kleegras-untersaat	**FF**	Silo-mais
Ertrag	dt TM ha^{-1}	85	185	**270**	108	84	**192**	257
Methanertrag	m^3 ha^{-1}	2.669	6.559	**9.228**	3.318	2.596	**5.914**	9.072
Energieinput	GJ ha^{-1}	11	11	**22**	7	8	**15**	13
Energieoutput	GJ ha^{-1}	162	341	**503**	201	152	**353**	472
CO_2-Emissionen Anbau	kg CO_2eq ha^{-1}	1.275	1.409	**2.686**	900	796	**1.697**	1.679
Mineraldünger	kg CO_2eq ha^{-1}	904	1.112	**2.016**	626	417	**1.043**	1.251
PSM	kg CO_2eq ha^{-1}	47	33	**81**	0	0	**0**	33
Maschinen u. Geräte	kg CO_2eq ha^{-1}	36	33	**70**	32	97	**130**	46
Dieselkraftstoff	kg CO_2eq ha^{-1}	288	231	**519**	242	282	**524**	349
N_2O-Emissionen	kg CO_2eq ha^{-1}	544	656	**1.199**	395	283	**678**	730
C-Sequestrierung HE-Methode	kg CO_2eq ha^{-1}	822	1.384	**2.206**	807	-851	**-44**	2.136
THG-Emissionen flächenbez.	kg CO_2eq ha^{-1}	2.641	3.449	**6.090**	2.102	228	**2.330**	4.545
THG-Emissionen produktbez.	kg CO_2eq kWh^{-1}	0,099	0,053	**0,066**	0,064	0,009	**0,040**	0,050

Unter den im Jahr 2009 am Standort Freising herrschenden Bedingungen kann Winterroggen als Deckfrucht mit Kleegras als Untersaat dazu beitragen, enge Maisfruchtfolgen aufzulockern. Auf ungünstigeren Standorten verschlechtert sich die produktspezifische Bilanz durch geringere TM-Erträge bei nahezu gleichen Inputs.

Die vorgestellten Ergebnisse wurden mit einer rein mineralischen Düngung erzielt. Sowohl Silomais, als auch die Untersaatvariante können deutlich von einer organischen Düngung (z. B. Gärrest) profitieren. Dadurch könnte sowohl die Energie- als auch die THG-Bilanz (durch geringere fossile Inputs über die Mineraldüngerherstellung) stark verbessert werden.

Literatur

Hülsbergen, K.-J. 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker-Verlag, Aachen.

Küstermann, B., Kainz, M., Hülsbergen, K.-J. 2007: Modelling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. Renewable Agriculture and Food Systems: 23 (0); 1-16.

Weitere Literatur auf Nachfrage.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 152–153 (2013)

Konzepte für eine bedarfsorientierte Bereitstellung von Biogas zur flexiblen Verstromung

Henning Hahn, Bernd Krautkremer[1], Kilian Hartmann[2] und Michael Wachendorf [3]

[1] Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Kassel; [2]Fakultät Ingenieurwissenschaften, Hochschule Aschaffenburg; [3]Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel, Witzenhausen.
E-Mail: Henning.Hahn@iwes.fraunhofer.de

Einleitung

Die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien (EE) stieg in den letzten Jahren kontinuierlich an. Dabei ist die angestrebte Transformation des Energieversorgungssystems hin zu einem auf erneuerbaren Energien basierenden System durch einen steigenden Bedarf an regelbaren Energieerzeugern gekennzeichnet, die erforderlich sind um die schwankende Energieerzeugung aus den fluktuierenden Energieträgern, Sonne und Wind, zu regeln. Biomasse, insbesondere die Verstromung von Biogas, hat das Potenzial Strom bedarfsorientiert und flexibel zu erzeugen. Eine grundlegende Anforderung dafür ist eine bedarfsorientierte Bereitstellung von Biogas. Der Kurzvortrag stellt Konzepte vor die dies ermöglichen und diskutiert diese nach ihrer Eignung zum Ausgleich von kurz- und langfristigen Schwankungen der Energieerzeugung und –nachfrage einer zukünftigen, auf zu großen Anteilen erneuerbaren Energien basierenden Energieversorgung.

Konzepte für eine bedarfsorientierte Bereitstellung von Biogas

Für eine bedarfsorientierte Biogasbereitstellung können prinzipiell zwei Konzepte unterschieden werden: I. entweder wird Biogas, bis es zur Verstromung benötigt wird, zwischengespeichert oder II. es wird den Bedürfnissen entsprechend gezielt (flexibel) erzeugt.

Biogasspeicherkonzepte umfassen grundsätzlich die Zwischenspeicherung von Biogas im Biogasspeicher am Ort der Biogasanlage sowie die Aufbereitung und Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz. Gasspeicher von Biogasanlagen wurden bisher ausgelegt, um Differenzen zwischen Biogaserzeugung und Verbrauch sowie um Zeiten ohne Biogasverbrauch, z.B. während der BHKW-Wartung, zu überbrücken. Die maximale Speicherkapazität von Biogasspeichern beträgt dabei in der Regel wenige BHKW-Volllaststunden. Um die Speicherkapazität von Biogasspeichern zu erhöhen, können interne Gasspeicher erweitert und/oder externe Gasspeicher errichtet werden. Eine weitere Speichermöglichkeit stellt das Erdgasnetz, mit seinen bereits vorhandenen Speichereinrichtungen, für zu Biomethan aufbereitetes Biogas dar. Hierfür stehen verschiedene Technologien zur Verfügung, die durch das jeweilig angewandte Verfahren der CO_2-Abtrennung unterschieden werden. Die Aufbereitung und Einspeisung von Biomethan ins Erdgasnetz findet in Deutschland bereits an über 100 Anlagen statt. Einmal eingespeistes Biomethan bietet den Vorteil zeitlich und örtlich flexibel verstromt werden zu können. Dabei kann die Gasspeicherkapazität des Erdgasnetzes (ca. 20 Mrd. m^3) genutzt werden, die bei weitem die jährliche Biogaseinspeisung der letzten Jahre übersteigt.

Gegenüber der Speicherung von Biogas zielt das Konzept der flexiblen Biogasproduktion darauf ab, Biogas entsprechend des Bedarfs zu erzeugen. Dies ist

durch eine variable Substratfütterung, in Verbindung mit Desintegrationsverfahren und/oder mit einer Anpassung der Anlagenkonfiguration möglich.
Während die Biogasproduktion durch eine verringerte bzw. keine Substratzufuhr reduziert werden kann, muss, um die Biogasproduktion zu erhöhen, die Substratzufuhr kontrolliert mit leicht verdaulichen Substraten gesteigert werden. Um dies zu beschleunigen zielen angepasste Anlagenkonfigurationen auf die Erzeugung eines flüssigen Substrats, mit einem hohen Anteil an leicht abbaubarer organischer Substanz, ab. Dieses wird entsprechend des Gasbedarfs einem Festbettfermenter zugeführt. Anlagenkonfigurationen, die für eine flexible Biogasproduktion geeignet erscheinen, sind das IFBB- (Wachendorf et al. 2010), das Bioleaching- (Busch&Sieber 2006) und das ReBi-Verfahren (Hahn&Schünemeyer 2011).

Diskussion

Die vorgeschlagenen Konzepte weisen eine unterschiedliche Eignung für die bedarfsorientierte Biogasbereitstellung zum Ausgleich von kurz- und langfristigen Schwankungen auf. Um Biogas über einen Zeitraum von wenigen Stunden bereitzustellen eignet sich Gasspeicher, deren Speicherkapazitäten durch genehmigungsrechtliche Vorschriften begrenzt sind. Eine höchstmögliche Flexibilität wird durch die Aufbereitung und Einspeisung von Biogas ermöglicht. Jedoch wird diese heute nur an Biogasanlagen praktiziert, die über einen ausreichenden Rohgasvolumenstrom verfügen und in deren Nähe sich ein möglicher Einspeisepunkt ins Erdgasnetz befindet.
Die Biogasproduktion an den Gasbedarf von flexiblen Verstromungsanlagen anzupassen wurde bisher nicht praktiziert und muss noch erprobt werden. Aufgrund der relativ trägen Anpassung der anaeroben Vergärung erscheint es sinnvoll diese tendenziell zur Gasbereitstellung für den Ausgleich langfristiger (saisonaler) Schwankungen einzusetzen. Eine zusätzliche Anpassung des Anlagensystems könnte es ermöglichen, die Anpassung der Biogasproduktion zu beschleunigen und dabei helfen, die notwendige Gasspeicherkapazität zu reduzieren.

Danksagung

Die Untersuchungen werden durch die Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. des BMELV im Rahmen des Förderschwerpunktes „Intelligente Lösungen zur kombinierten Nutzung von Bioenergie und anderen erneuerbaren Energien“ im Rahmen des Energie- und Klimafonds finanziert.

Literatur

Busch G, Sieber M, 2006: Zweistufiges Fest-Flüssig-Biogasverfahren mit offener Hydrolyse - ein neues technologisches Konzept für die Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen und bioverfügbaren Abfällen. Forum der Forschung 2006: 63-68.

Hahn H, Schünemeyer F, 2011: Möglichkeiten der bedarfsorientierten Bereitstellung von Biogas durch eine steuerbare Biogasproduktion - Überblick über den Stand der Technik und zukünftige Möglichkeiten. In: Tagungsband-Novellierung von EEG, BioAbfV und KrWG: Auswirkung auf die Verwertung von Bioabfällen und Flexibilisierung der Stromeinspeisung; 1.Auflage 2011: 275-83.

Wachendorf M, Richter F, Fricke T, Graß R, Neff R., 2010: Utilisation of semi-natural grassland through an integrated generation of solid fuel and biogas from biomass I: Effects of hydrothermic conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. Grass and Forage Science 2010(64):132-43.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 154–155 (2013)

Die Energiewende im ländlichen Raum – Untersuchungen des bayerischen Energiewende-Diskurses

Beate Formowitz[1], Christian Dürnberger[2], Fabian Karsch[2], Carolin Riepl[1], Stephan Schleissing[2] und Bernhard Widmann[1]

[1] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing; [2]Institut Technik-Theologie-Naturwissenschaften (TTN)/LMU, München.
E-Mail: *beate.formowitz@tfz.bayern.de*

Einleitung

Im Zuge der Energiewende wird sich das Land verändern. Dabei findet der Ausbau von Wind-, Sonnen- und Bioenergie (Biomasse vom Feld und aus dem Wald) überwiegend im ländlichen Raum statt. Die Veränderungen des Landschaftsbildes sind schon jetzt vielerorts sichtbar, nehmen zukünftig noch zu und können natürlich auch zu Interessenskonflikten führen. In diesen Konflikten bilden sich kulturelle und ethische Aspekte der Energiewende ab, die eine unmittelbare Relevanz für die zukünftige Umsetzbarkeit des historischen Großprojekts der Energiewende aufweisen.

Daher ist das Ziel des vorliegenden gemeinschaftlichen Projekts von TFZ und TTN, eine wissenschaftlich fundierte und praxisorientierte Erarbeitung eines Leitfadens zu einer wertorientierten Kommunikation für bayerische Beratungsstellen der Energiewende. Der Leitfaden soll wesentliche ethische und soziokulturelle Aspekte umfassen und einen dialogischen Umgang für zukünftige Kommunikationsstrategien vorschlagen. Zusammenfassend soll die besondere Bedeutung der Lebenswelt „ländlicher Raum“ für die Energiewende dargestellt und Vorschläge für eine wertorientierte Kommunikation angeboten werden.

Material und Methoden

Das Projekt gliedert sich in drei große Arbeitspakete (AP 1-3). Im AP 1 fand eine sozialwissenschaftliche Erhebung der Kommunikation über die Energiewende im ländlichen Raum statt, mit Fokus auf ethische und soziokulturelle Faktoren. Dazu wurde eine Medienanalyse ausgewählter bayerischer Tageszeitungen vorgenommen und narrative Interviews mit Experten und Landwirten sowie Gruppendiskussionen zum Thema Energiewende durchgeführt.

Im AP 2 folgt die Auswertung der in AP 1 erhobenen Daten. Dabei werden die zentralen ethischen und soziokulturellen Aspekte benannt, gedeutet und verständnisorientiert sowie kontextbezogen dargestellt. Hierzu wurde die in der qualitativen Sozialforschung übliche, inhaltlich tiefer gehende Rekonstruktion von kleineren Untersuchungssampeln herangezogen, die in den Daten nach Mustern sucht, in der Absicht, Typen und Deutungsmuster zu bilden, die exemplarisch für bestimmte Sinnkonstruktionen und Aussagen stehen. Die daraus gewonnen Erkenntnisse münden in die Erstellung eines Kriterienkatalogs.

Im letzten Arbeitspaket (AP 3) wird der Kriterienkatalog am Beispiel der Kommunikationskanäle des TFZ in die Praxis überführt und Empfehlungen für eine Optimierung der Kommunikation erarbeitet. Der daraus entstehende Kommunikationsleitfaden für eine ethische und kulturelle Werte sensible Kommunikation über Energiewende im ländlichen Raum leitet die Ergebnisse des

Projekts praxisorientiert ab. Er soll eine Art Hilfestellung bedeuten, für Akteure der Energiewende und landwirtschaftliche Berater.

Erste Ergebnisse und Diskussion

Der aktuelle öffentliche Diskurs wird vor allem bestimmt durch Themen wie die Energieerzeugung zur Stromversorgung, künftige Versorgungssicherheit und damit verbundene Kosten. Dabei können konservative Lager gleichermaßen als Befürworter oder Gegner der Energiewende auftreten, wirtschaftliche Motive stehen nicht selten im Konflikt mit der Erhaltung schützenswerter Kulturlandschaften, Landwirte werden zu „Energie-Wirten“ und Pfarrer oder Lehrer zu Energie-Experten.

Aus der Untersuchung der Medien-Dokumente konnten analytisch drei Felder unterschieden werden, in denen unterschiedliche Arten von Konflikten entweder ausgetragen werden oder die mit diesen zumindest inhaltlich verknüpft sind. A) Ortsgebundene Konflikte beziehen sich auf regionale Aspekte wie Veränderungen der Kulturlandschaft, regionale „Stimmigkeit“ von Bauprojekten, identitäre Konflikte und ganz zentral auch die kommunale Wertschöpfung. B) Technologiekonflikte sind vor allem geprägt durch die in Frage gestellte Effizienz bestimmter Technologien im Bereich erneuerbare Energien und deren CO_2-Bilanz sowie die Sicherheit bzw. Risiken der neuen Technologien. C) Hingehen rückt bei den Prozesskonflikten die planerische Vorgehensweise, Projektumsetzung und politische Steuerung ins Zentrum der Diskussion. Oftmals wird die Transparenz, Information und Partizipation bei der Gestaltung vor Ort kritisch hinterfragt.

In den genannten Konfliktfeldern kommen zahlreiche Akteure zu Wort, die sehr heterogene Interessen und Ziele verfolgen können, die teilweise sogar innerhalb einer Akteursgruppe divergieren. Die Positionen bestimmenden individuellen Sets von Wertvorstellungen können ebenfalls konfligierende Werte beinhalten (z. B. Klimaschutz vs. unmittelbares Wohlbefinden) und unterschiedlichste moralische sowie vernunftbegründete Ansprüche zu Tage bringen, oder auch Inhalte, die sich um den Wert eines Guts (z. B. Erhalt der Kulturlandschaft) positionieren.

Deutungsmuster, die den bayerischen Energiewende-Diskurs bestimmen, sind u. a. „Chance für den ländlichen Raum“, „Energiewende als Risiko“ und „Energie schafft Identität“, um nur einige wenige der identifizierten Muster zu nennen. Im Deutungsmuster „Chance für den ländlichen Raum“ werden Bestrebungen abgebildet die gesamte Wertschöpfung in der Region zu halten, ebenso wie die strukturelle Aufwertung ganzer Landstriche. Zusätzlich wird hier die neue Wahrnehmung des ländlichen Raums als vielfältigen Kultur-, Industrie- und Lebensraum widergespiegelt. Das Szenario des technischen, ökonomischen und/oder ökologischen Scheiterns der Energiewende wird im Deutungsmuster „Energiewende als Risiko“ zusammengefasst, während „Energie schafft Identität“ neuartige Formen regionalen Bewusstseins und neuen sozialen Figurationen beinhaltet.

Weitere Informationen über das Projekt und dessen Verlauf finden sie unter www.tfz.bayern.de oder www.ttn-instut.de.

Danksagung

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung; Landwirtschaft und Forsten (StMELF) für die Finanzierung.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 156–157 (2013)

Ökologische Bewertung von Energiepflanzen-Anbauszenarien in drei Regionen Bayerns mit dem Modell REPRO und der Ökobilanz-Methode

Maria Bystricky[1], Harald Schmid[2], Gabriele Weber-Blaschke[1] und Kurt-Jürgen Hülsbergen[2]

[1] Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzwissenschaft, Freising; [2]Technische Universität München, Lehrstuhl für ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising.
E-Mail: *maria.bystricky@agroscope.admin.ch*

Einleitung

In vielen Ökobilanz-Studien über Anbau und Nutzung von Energiepflanzen werden die Energiepflanzen außerhalb des Zusammenhangs einer Fruchtfolge oder eines Anbausystems bewertet. Zudem beschränkt sich die Bewertung häufig auf Treibhauspotenzial und Energiebilanz. Relevante Umweltwirkungen des Pflanzenbaus, wie z.B. die Humusbilanz oder Nährstoffkreisläufe, werden meist nicht detailliert erfasst. In diesem Beitrag werden Energiepflanzen-Anbauszenarien im Zusammenhang mit der jeweiligen Anbau- und Viehhaltungsstruktur in drei Regionen Bayerns bewertet. Dafür werden zwei Bewertungsmethoden herangezogen: Das Modell REPRO, das die landwirtschaftliche Produktion bewertet, und die Ökobilanzierung, die die energetische Nutzung der Biomasse mit einschließt.

Material und Methoden

Für die Untersuchung wurden die drei Regionen „Straubinger Gäu“ (Ackerbau), „Tertiärhügelland“ (gemischt) und „Allgäu“ (Grünland/Milchvieh) ausgewählt. Diese decken so einerseits die Bandbreite der landwirtschaftlichen Produktion in Bayern ab, andererseits lassen sie sehr unterschiedliche Bioenergie-Szenarien zu. Folgende Szenarien wurden definiert:

Für das Straubinger Gäu: (1) Strohentzug für Bioethanol, (2) Erhöhung der Silomaisfläche für Biogas von 4 % auf 20 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN).

Für das Tertiärhügelland: (1) Erhöhung der Silomaisfläche von 13 % auf 20 % und der Kleegrasfläche von 4 % auf 8 % der LN, beides als Biogassubstrat, (2) Erhöhung der Kleegrasfläche von 4 % auf 18 % der LN, als Biogassubstrat zusammen mit Silomais (bei diesem aber keine Erhöhung der Anbaufläche), (3) Erhöhung der Winterrapsfläche von 7 % auf 16 % der LN für Biodiesel.

Für das Allgäu (als Extrem-Szenario): Umbruch von 4 % des Grünlandes, dort Anbau von Silomais als Biogassubstrat.

Eine genauere Beschreibung der Szenarien findet sich in Bystricky et al. (2010).

Der Anbau in diesen Szenarien wurde mit Indikatoren aus REPRO (Hülsbergen 2003) bewertet und mit der jeweiligen Ausgangs-Situation verglichen. Zudem wurden die Energiepflanzen-Kulturen aus den Szenarien herausgegriffen, um die gesamte Bioenergie-Bereitstellungskette, die sich aus dem Anbau und der Energieerzeugung aus der Biomasse zusammensetzt, mit herkömmlichen Indikatoren ökobilanziell zu bewerten. In der Ausgangs-Situation der drei Untersuchungsgebiete wird bereits eine gewisse Menge an Biogas erzeugt. Die Ökobilanz-Ergebnisse für die Bioenergie in den Szenarien wurden ebenfalls mit der jeweiligen Ausgangs-Situation verglichen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der REPRO-Indikatoren zeigen, dass die Nutzung von Stroh für Bioethanol im Straubinger Gäu als intensiver Ackerbauregion zwar eine günstige Energiebilanz aufweist, sich aber auf Humusbilanz und Treibhausgasbilanz ungünstig auswirkt. Ein verstärkter Silomaisanbau für Biogas zeigt dort ebenfalls bei der Energiebilanz eine Verbesserung, ist aber bezüglich Treibhausgasemissionen, Humusbilanz und N-Saldo ungünstig zu bewerten. Diese Auswirkungen sind im Tertiärhügelland wegen der vielfältigeren Fruchtfolge weniger stark, sodass der verstärkte Silomaisanbau hier neutral zu bewerten ist. Biogas aus Silomais von Grünlandumbruchsflächen zeigt, trotz höherer Biomasseerträge, keine Verbesserung der Energiebilanz gegenüber der Ausgangs-Situation und hat zudem auf alle anderen Indikatoren ungünstige Auswirkungen. Dagegen ist ein verstärkter Kleegrasanbau für Biogas bei allen Indikatoren neutral bis günstig zu bewerten.

Werden für die Szenarien die kompletten Bioenergie-Bereitstellungspfade ökobilanziell bewertet und mit der Bioenergieerzeugung in der jeweiligen Ausgangs-Situation verglichen, so zeigt sich ein anderes Bild: Stroh für Ethanol und Raps für Biodiesel sind bezüglich Treibhausgaseinsparungen gegenüber fossilen Energieträgern ungünstiger zu bewerten als die Ausgangs-Situation, weisen aber eine günstigere Bewertung im Bereich Nährstoffaustrag (Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial) auf. Die verschiedenen Biogas-Szenarien, auch der Grünland-Umbruch mit Silomaisanbau und ein verstärkter Kleegrasanbau, sind aufgrund der ähnlichen Art der Bioenergieerzeugung bei den meisten Indikatoren neutral gegenüber der Ausgangs-Situation zu bewerten.

Insgesamt haben bei der Bewertung des Anbaus mit REPRO das Anbausystem und die Fruchtfolge einen großen Einfluss darauf, wie stark sich ein vermehrter Energiepflanzenanbau auf verschiedene Indikatoren auswirkt. Bei der Einsparung von fossilen Energieträgern und Treibhausgasen, bezogen auf die gesamte Bioenergiekette, schwindet dieser Einfluss. Hier sind die ersetzte fossile Energie und die Effizienz der Bioenergieerzeugung entscheidend. Bei Eutrophierung und Versauerung hingegen behält der Energiepflanzenanbau eine große Bedeutung für die Bewertung. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der verstärkte Anbau von Kleegras als einziges Bioenergie-Szenario nach beiden Methoden (REPRO und Ökobilanz) überwiegend eine Verbesserung gegenüber der Ausgangs-Situation bewirkt. Die Strohverwertung und Biodiesel aus Winterraps zeigen je nach Indikator sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen, wogegen ein verstärkter Silomaisanbau, vor allem mit Grünlandumbruch, fast durchweg neutral bis ungünstig zu bewerten ist. Die Bewertung der Bioenergie-Szenarien ist größtenteils nicht gegenläufig bei REPRO und Ökobilanz; die Ökobilanz wirkt aber meistens abschwächend gegenüber REPRO.

Literatur

Bystricky, M., Schmid, H., Weber-Blaschke, G., Hülsbergen, K.-J., 2011: Vertiefende Bewertung des Energiepflanzenanbaus in Bayern durch Integration des Bilanzierungsmodells REPRO in Ökobilanzen. Abschlussbericht für das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Lehrstuhl für Holzwissenschaft/Lehrstuhl für ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München.

Hülsbergen, K.-J., 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag, Aachen.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 158–159 (2013)

Möglichkeiten der teilflächenspezifischen Grünlandbewirtschaftung (Precison Grassland Management)

Stefan Hinck[1], Norbert Emeis[1] und Klaus Mueller[1]

[1] Hochschule Osnabrück, Postfach 1940, 49009 Osnabrück; E-Mail: *hinck@hs-osnabrueck.de*

Einleitung

Für eine erfolgreiche Grünlandbewirtschaftung werden im Hinblick auf einen optimierten Beprobungsplan bzw. Düngemitteleinsatz u.a. kleinräumige Bodeninformationen benötigt. Die dafür benötigten Anwendungen des Managementsystems „Precision Farming“ lassen sich, ebenso wie im Ackerbau auch in der Grünlandbewirtschaftung erfolgreich nutzen; wobei die Verbreitung im Ackerbau wesentlich größer ist. Mit Hilfe von geoelektrischen Messungen ist es möglich, anhand der elektrischen Leitfähigkeit (EC-Werte) grundsätzlich Variationen in der Bodenart zu detektieren. Eine bodenkundliche Bohrstockkartierung ermöglicht die Bodenart anhand der Fingerprobe zu bestimmen und eine Verifizierung der Messergebnisse vorzunehmen bzw. kann eine kleinräumige Grünland-Bodenkarte erstellt werden. Die erkannten Teilflächen mit einer unterschiedlichen Bodenart werden gezielt beprobt.

Material und Methoden

Die Untersuchung erfolgte im Elbe-Weser Dreieck in der Gemarkung Ebersdorf auf der Fläche „Leischmoor“ mit einer Größe von 1,6 ha. Die Entstehung der Fläche ist eiszeitlich und holozän geprägt. Die Bodenschätzung weist überwiegend ein torfiges Substart sowie Sand aus (s. Abb. 1). Die Fläche wird als Mähweide genutzt. In der Flächenmitte verläuft ein Graben und unterteilt die Fläche in Nord- und Südhälfte. Bei der betriebsüblichen Beprobung (Beprob.-termin: 28.01.2012; Entn.-tiefe: 0 – 30 cm) wird die Fläche in Nord und Süd unterteilt. Wobei die beiden Hälften aber in einer Beprobungsganglinie über die angrenzenden Grünlandflächen integriert sind. Das geoelektrische Messsystem Veris 3100 wurde einsetzt (Einsatztermin: 21.03.2012). Die Aufarbeitung, Interpolation (Kriging-Methode) und Analyse der Messdaten erfolgte mit dem GIS-Programm OPENJump. Die Bohrstockkartierorte-Auswahl sind anhand einer Clusteranalyse der EC-Werte ermittelt worden. Die EC-Werte und die ermittelte Bodenart werden zur Generierung der kleinräumigen Grünland-Bodenkarte genutzt. Die Auswahl der Beprobungsorte orientiert sich an den ermittelten kleinräumigen Bodenarten. Die Bodenproben sind aus der Tiefe 0 – 30 cm genommen und im Labor nach VDLUFA Methode analysiert worden: Phosphor (P; CAL-Methode), Kalium (K; CAL-Methode), Magnesium (Mg; $CaCl_2$ Methode) und pH-Wert ($CaCl_2$ Methode).

Ergebnisse und Diskussion

Die EC-Werte weisen eine kleinräumigere Differenzierung der Substratart im Vergleich zur Bodenschätzung auf (s. Abb. 1). Die Bohrstockkartierung verifiziert die geoelektrischen Messergebnisse (s. Abb. 2). Die generierte kleinräumige Grünland-Bodenkarte weist deutliche Unterschiede in der räumlichen Verteilung der Substartarten im Vergleich zur Bodenschätzung auf (vgl. Abb. 1 & Abb. 3). Die Bodenanalyseergebnisse der gezielten Probenentnahme auf den erkannten Teilflächen weisen eine Differenzierung in den Nährstoffgehalten und -klassen innerhalb der Fläche (s. Abb. 3) und zum betriebsüblichen Bodenanalyseergebnis auf (vgl. Abb. 3 und Tab. 1).

Anhand der EC-Werte, einer Clusteranalyse und anschließender Bohrstockkartierung kann eine kleinräumige Grünland-Bodenkarte mit den ermittelten Boden- bzw. Substartarten generiert werden. Entsprechend können Teilflächen mit unterschiedlichen Substartarten abgegrenzt und gezielt beprobt werden. Dadurch werden u.a., wie hier gezeigt fehlerhafte Mischproben und sich damit ergebende Fehlinterpretationen vermieden. Es zeigen sich differenzierte Nährstoffgehalte auf den Teilflächen. Anhand dieser Informationen – Bodenart und Nährstoffstatus – besteht grundsätzlich die Möglichkeit in der Grünlandbewirtschaftung Düngegaben durch eine teilflächenspezifische Applikation zu optimieren. Ebenso kann eine optimierte und sehr differenzierte Kalkung anhand der vorliegenden Bodeninformationen durchgeführt werden.

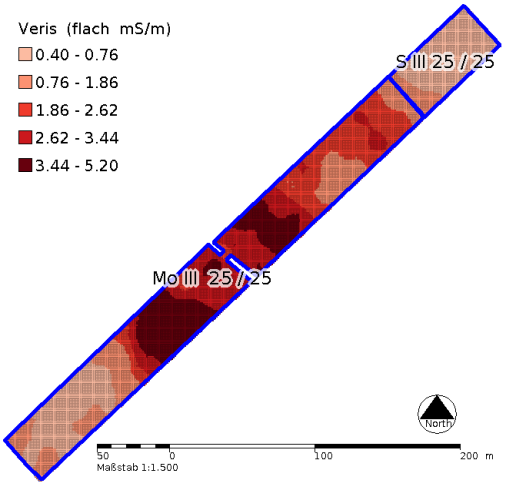


Abb. 1: *Darstellung der räumlichen Verteilung der EC-Werte (Veris; flacher Messmodus) und die Polygone der Bodenschätzung (Quelle: LBEG)*

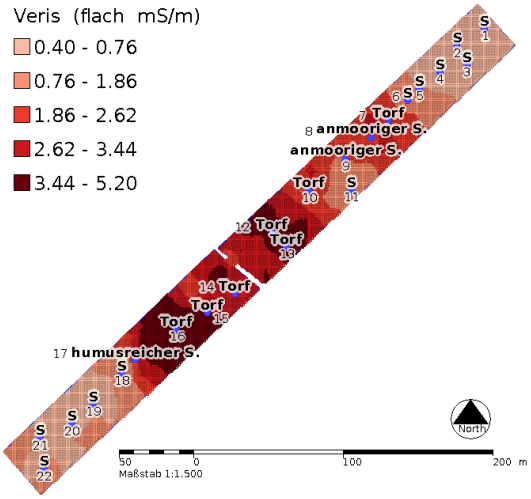


Abb. 2*: Darstellung der räumlichen Verteilung der EC-Werte (Veris; flacher Messmodus) und die ermittelte Bodenart (Fingerprobe)*

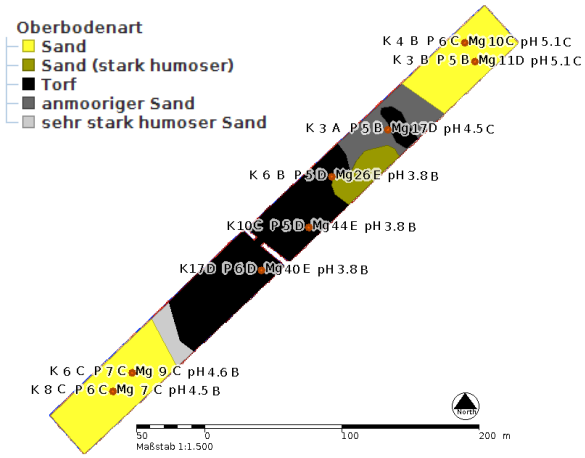


Abb. 2: *Kleinräumige Feldbodenkarte mit den Oberboden-Nährstoffgehalten K, P, Mg (mg/100 g Boden) und pH-Wert sowie deren Gehaltsklassen*

Tab. 1: *Bodenanalyseergebnisse der betriebsüblichen Beprobung für die nördliche (Nordh.) und südliche (Südh.) Hälfte für K, P, Mg (mg/100 g Boden) und pH-Wert (Wert in Klammern = Gehaltsklasse)*

	Nordh.	Südh.
Bodart.	h l'S	anmoor. S
K	9 (D)	8 (C)
P	6 (C)	5 (D)
Mg	21 (D)	11 (C)
pH	4,2 (B)	4,4 (C)

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 160–161 (2013)

Bestandestemperatur und Kohlenstoffisotopendiskriminierung als pflanzenbasierte Methoden für die Beurteilung von Trockenstress bei Winterroggen

Lorenz Kottmann[1], Klaus-Peter Wittich[2], Anette Giesemann[3] und Siegfried Schittenhelm[1]

[1]Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Julius Kühn-Institut, Braunschweig; [2]Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung, Braunschweig; [3]Thünen Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig. E-Mail: *lorenz.kottmann@jki.bund.de*

Einleitung

In Mitteleuropa kann es in Zukunft durch veränderte Niederschlagsverteilungen vermehrt zu trockenstressinduzierten Ertragsrückgängen kommen. Roggen wird davon besonders betroffen sein, da er vorwiegend auf leichten Böden mit geringem Wasserhaltevermögen angebaut wird. Im vorliegenden Versuch wurde untersucht, ob es durch Messung von Bestandestemperatur und Kohlenstoff-isotopendiskriminierung möglich ist, unter mitteleuropäischen Klimabedingungen Aussagen über den Wasserhaushalt der Pflanzen treffen zu können, und ob diese Methoden als Hilfsmerkmal in der Roggenzüchtung eingesetzt werden können.

Material und Methoden

In den Jahren 2011 und 2012 wurden in Braunschweig 16 Winterroggengenotypen unter starkem und mildem (nur 2012) Trockenstress, sowie unter bewässerten Kontrollbedingungen untersucht. Starker Trockenstress wurde in einem Folientunnel durch Ausschluss natürlicher Niederschläge ab Schossbeginn induziert. Den Pflanzen stand ab diesem Zeitpunkt nur noch die Winterbodenfeuchte zur Verfügung. Milder Trockenstress wurde in einem Rain-out Shelter durchgeführt. Die Wassergaben wurden hier so gewählt, dass die nFK zwischen 20 – 40 % lag. Die bewässerte Kontrolle auf einer benachbarten Freifläche wurde mittels Tropfbewässerung immer optimal mit Wasser versorgt (nFK > 60 %). Die Bestandestemperatur wurde im Vegetationsverlauf zu mehreren Zeitpunkten mit Hilfe der beiden Infrarotthermometer Raynger MX (Raytek) und KT17 (Heitronics) sowie der Thermokamera PM675 (FLIR Systems) gemessen. Aus der Differenz von Luft- und Bestandestemperatur wurde die „canopy temperature depression“ (CTD = T_{Luft} - $T_{Bestand}$) berechnet. Die Analyse der Kohlenstoffisotopenzusammensetzung (Verhältnis $^{13}C/^{12}C$) erfolgte an Fahnenblättern und Körnern (nur 2012), welche zum Zeitpunkt der Vollreife geerntet wurden. Hierfür wurde ein Elementanalysator (Flash EA 1112, CE Instruments), gekoppelt an ein Isotopenhäufigkeits-massenspektrometer (Delta Plus, Thermo Fischer Scientific) eingesetzt. Die Kohlenstoffisotopendiskriminierungsrate (Δ) wurde nach Farquhar et al. (1989) berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Unter starkem Trockenstress nahm der Kornertrag um 56 % (2011) und 57 % (2012) ab, unter mildem Trockenstress um 14 % (2012). Pflanzen unter starkem Trockenstress zeigten eine signifikant höhere Bestandestemperatur (geringere CTD) als Pflanzen unter bewässerten Kontrollbedingungen. Durch uneingeschränkte Transpiration und die damit einhergehende Verdunstungskühlung waren die bewässerten Bestände am kühlsten (hohe CTD). Eine gute Differenzierung zwischen

den Stressumwelten war mit allen drei Geräten möglich, trotz ihrer sehr unterschiedlichen Anschaffungskosten zwischen ca. 1.500 bis 20.000 €. In der Trockenstressumwelt gab es signifikante Korrelationen zwischen CTD und Kornertrag von maximal r = 0.76***; jedoch nur an Tagen mit hoher Globalstrahlung, hoher Temperatur und geringer Windgeschwindigkeit (Abb. 1A).
Die Kohlenstoffisotopendiskriminierung (Δ) war bei den optimal bewässerten Pflanzen am höchsten, und nahm mit zunehmendem Trockenstress signifikant ab, da mit zunehmender Trockenheit bei der Photosynthese weniger von dem schwereren ^{13}C-Isotop diskriminiert wird (Farquhar et al., 1989). Signifikante Korrelationen zwischen $\Delta_{Fahnenblatt}$ und Kornertrag traten unter starkem Trockenstress auf, diese waren jedoch mit maximal r = 0,38* schwächer ausgeprägt als die der Bestandestemperatur (Abb. 1B). Die Δ-Werte der Körner korrelierten nicht mit dem Kornertrag (Abb. 1C).

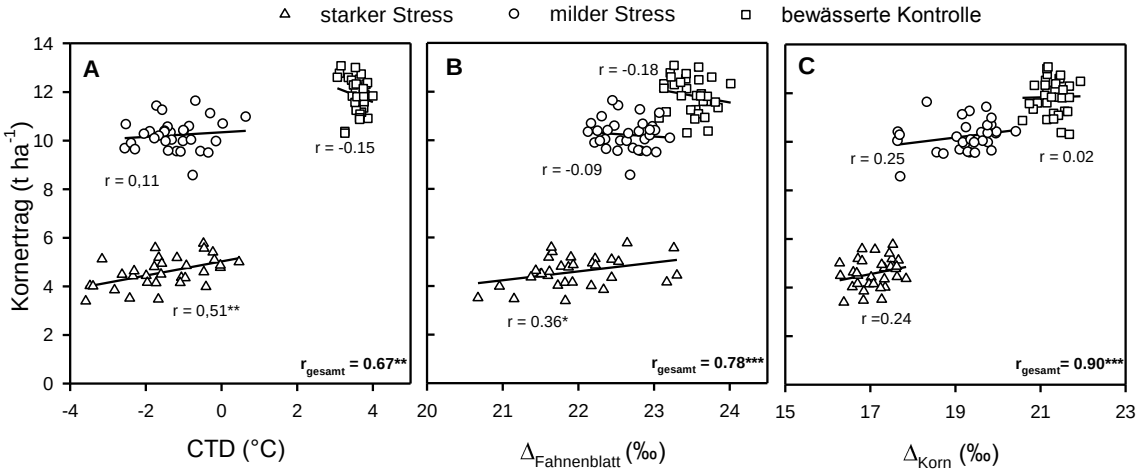


Abbildung 1. A: Beziehung zwischen Kornertrag und CTD (Messung mit dem KT17-Infrarotthermometer am 22. Mai 2012.) **B**: Beziehung zwischen Kornertrag und $\Delta_{Fahnenblatt}$ (2012). **C**: Beziehung zwischen Kornertrag und Δ_{Korn} (2012). **, ***: Signifikant für P < 0,01 und P < 0,001.

Mit beiden Methoden war eine gute Differenzierung zwischen den Stressvarianten möglich, und es konnten Aussagen über den Pflanzenwasserstatus getroffen werden. Die Bestandestemperatur lässt sich schnell und nichtdestruktiv zu verschiedenen Entwicklungsstadien bestimmen. Die Messungen sind jedoch sehr witterungsabhängig. Im Gegensatz dazu ermöglicht die Kohlenstoff-isotopendiskriminierung eine Aussage über den Pflanzenwasserstatus der gesamten Wachstumsperiode des untersuchten Pflanzenteils.
Da das verwendete Roggenmaterial eine geringe genetische Variabilität und wenig signifikante genotypische Effekte innerhalb der Umwelten zeigte, konnten über die Eignung der beiden Methoden als Hilfsmerkmal in der Pflanzenzüchtung in diesem Versuch keine abschließenden Aussagen getroffen werden.

Literatur

Farquhar, G.D.; J. R. Ehleringer and K.T. Hubick 1989: Carbon isotope discrimination and photosynthesis. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 40, 503.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 162–163 (2013)

Applying quantitative limitation analysis of photosynthesis in crop production research

Tsu-Wei Chen[1], Katrin Kahlen[2] und Hartmut Stützel[1]

[1] Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover, Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hannover; [2] Institut für Gemüsebau, Hochschule Geisenheim, Von-Lade-Straße 1, 65366 Geisenheim. E-mail: chen@gem.uni-hannover.de.

Introduction

Plant physiologists are searching for the limitations of leaf and canopy photosynthesis in order to find a way to maximize the biomass production and resource use efficiency. Based on the Farquhar, von Caemmerer & Berry model of photosynthesis (FvCB model, Fahrquhar *et al*., 1980), Grassi and Magnani (2005) developed the quantitative limitation analysis of photosynthesis (QLA), a method to quantify the effects of stomata and mesophyll conductance to CO_2, biochemical capacity, temperature and light, on limiting photosynthesis. The fact that the results of QLA are expressed in percentage of a reference photosynthesis rate (100% of photosynthesis rate, e.g. 30 µmol CO_2 m^{-2} leaf area s^{-1}) is a very appreciable attribute. For example, a 10% stomatal limitation indicates that the photosynthesis rate would be 3 µmol m^{-2} s^{-1} higher if stomata were fully opened. So far, QLA is mostly used by ecologists and rarely applied in agricultural research. Here we provide some up-to-date results as examples to show several possible applications of QLA in crop production research.

Quantifying genotypic difference in physiological limitations under stress

Abiotic stress limits plant growth and yield worldwide and maintaining leaf photosynthesis rate under stress conditions is an important trait of stress tolerance. Here we demonstrate how QLA can be used to quantitatively disentangle the contributions of stomatal closure and reduction of biochemical capacity to photosynthetic limitations under stress conditions. In a simple version of QLA, total limitation of photosynthetic (T_L) can be expressed as the sum of stomatal limitation (S_L) and biochemical limitation (S_L). Therefore, T_L under non-stressed ($T_{L,c}$) and stressed ($T_{L,s}$) plants can be described by:

$$T_{L,c} = S_{L,c} + B_{L,c} \quad (1a)$$

$$T_{L,s} = S_{L,s} + B_{L,s} \quad (1b)$$

The difference ($T_{L,s}$ - $T_{L,c}$) is the photosynthetic reduction due to the stress. In general, $S_{L,s}$,> $S_{L,c}$ due to stomata closure under stress and $B_{L,s}$,> $B_{L,c}$ due to the stress-related reduction of biochemical capacity, the differences ($S_{L,s}$ - $S_{L,c}$) and ($B_{L,s}$ - $B_{L,c}$) are the stomatal and biochemical components of photosynthetic reduction resulting from the stress. We applied this method to identify if different mechanisms of maintaining photosynthesis under salinity are used by different cucumber genotypes. In a greenhouse experiment, several cucumber genotypes were grown under 0 and 60 mM NaCl. Seven days after treatment start, ($T_{L,s}$ - $T_{L,c}$) of these genotypes was 13-20% (of a reference photosynthesis rate, 26.7µmol m^{-2} s^{-1}, Fig 1). ($T_{L,s}$ - $T_{L,c}$) in 'Bowing F1' and '508455' under 60 mM were 19%, but in 'Bowing F1,' this reduction was 15% contributed by the stomatal closure and 4% by biochemical capacity and in '508455,' the reduction of photosynthesis rate was 8% contributed by the stomatal closure and 11% by biochemical capacity. This result indicates that

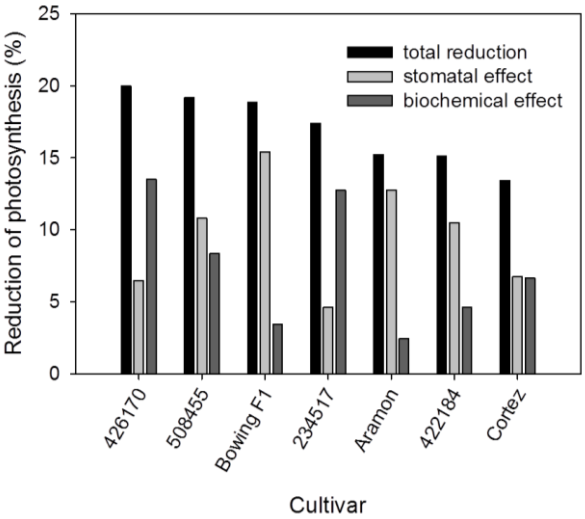


Fig. 1 The reduction of photosynthesis due to salinity stress (total reduction, $T_{L,s}$ - $T_{L,c}$, % of a reference photosynthesis rate, 26.7µmol m^{-2} s^{-1}) between cucumber genotypes. This reduction is partitioned into stomatal effect ($S_{L,s}$ - $S_{L,c}$) and biochemical effect ($B_{L,s}$ - $B_{L,c}$).

Fig. 2 Vidualization of a 3D virtual cucumber canopy with 18 plants, reconstructed by digitized data in *GroIMP*.

there are strong genotypic variations in mechanisms of maintaining photosynthesis rate under salinity stress between cucumber genotypes.

Revealing limiting factors of canopy photosynthesis

The different limitations calculated by QLA can be summed up is a very appreciable advantage. This attribute allows the computation of the photosynthetic limitation on canopy and whole plant levels by summing up the limitation of all of the leaves in a canopy or a plant. The most challenging part of this up-scaling approach is that the parameters for the analysis (light intensity, parameters in the FvBC model, stomatal and mesophyll conductance) on the leaf level are required and it is almost impossible to measure all these parameters of each leaf of a plant. However, this challenge can be solved with the help of a functional-structural plant model (FSPM), in which the plant structure and its interactions with environmental factors are described (Vos *et al*., 2010). Recently we constructed a virtual cucumber canopy (Fig. 2) and analyzed the photosynthetic limitations at different canopy parts. Our findings suggest that the middle-lower canopy might be of special importance for canopy photosynthesis.

Literatur

Farquhar, G, von Caemmerer, S, Berry, J. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C_3 species. *Planta* **149**: 78–90.

Grassi, G, Magnani, F. 2005. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. *Plant, Cell and Environment* **28**: 834–849.

Vos, J, Evers, JB, Buck-Sorlin, GH, Andrieu, B, Chelle, M, Visser, PHB de. 2010. Functional-structural plant modelling: a new versatile tool in crop science. *Journal of Experimental Botany* **61**: 2101–2115.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 164–165 (2013)

Wirkung unterschiedlicher CO_2-Konzentrationen auf den Saftfluss und das Bestandesklima von Mais bei unterschiedlicher Wasserversorgung

Remy Manderscheid, Martin Erbs und Hans-Joachim Weigel

Thünen-Institut für Biodiversität, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig. E-Mail: remy.manderscheid@ti.bund.de

Einleitung

Bei Maispflanzen ist die Photosynthese bereits bei der heutigen CO_2-Konzentration mit CO_2 gesättigt. Es ist daher zu erwarten, dass steigende atmosphärische CO_2-Konzentrationen kaum den CO_2-Gaswechsel bzw. die Photosynthese wohl aber die stomatäre Leitfähigkeit und damit den H_2O-Gaswechsel bzw. die Transpiration der Blätter beeinflussen. Ersteres haben wir im Rahmen eines zweijährigen CO_2-Anreicherungsversuchs unter Feldbedingungen nachgewiesen (Manderscheid et al., 2012). Danach haben erhöhte CO_2-Konzentrationen bei ausreichender Wasserversorgung keinen Einfluss auf das Wachstum der Maispflanzen wohl aber bei begrenztem Wasserangebot. Um den Einfluss der CO_2-Konzentration auf die Transpiration nachzuweisen und zu quantifizieren wurden Saftflussmessungen an den Maispflanzen durchgeführt.

Material und Methoden

Die Silomaissorte „Romario wurde über zwei Versuchsjahren bei unterschiedlicher atmosphärischer CO_2 (ca. 380 und 550 ppm) und unterschiedlicher Wasserversorgung angebaut (feucht und trocken). Die CO_2-Anreicherung erfolgte mit der FACE-Technik und die unterschiedliche Wasserversorgung durch den Einsatz von Rainout-Sheltern (Manderscheid et al., 2012). Ein deutlicher Trockenstress wurde erst im zweiten Versuchsjahr erzielt. Zur Messung der Transpiration der ganzen Maispflanze wurden Saftflussmanschetten von Dynamax an der Halmbasis montiert und unter Berücksichtigung der Pflanzendichte der tägliche transpiratorische Wasserverbrauch des Pflanzenbestandes während der Vegetationsperiode ermittelt. Es wurden ca. 8 Saftflussmanschetten betrieben, die im ersten Jahr an den bewässerten Pflanzen mit und ohne CO_2-Anreicherung eingesetzt wurden. Im zweiten Versuchsjahr wurde der Saftfluss vor allem an den Versuchspflanzen aus der Variante mit niedriger Bodenfeuchte bzw. Trockenstress gemessen. Dabei konnten nicht alle Varianten gleichzeitig gemessen werden. Um dennoch alle Varianten miteinander vergleichen zu können, wurde für jede eine lineare Regression zwischen potentieller Evaporation (bereitgestellt vom DWD) und Saftflussrate erstellt und Behandlungseffekte wurden anhand der Steigung der Regressionsgeraden quantifiziert. Außerdem wurde in allen vier Versuchsvarianten kontinuierlich mit Mini-Psychrometern das Bestandesklima (Lufttemperatur und Luftfeuchte) gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

Bei ausreichender Bewässerung gab es keine Unterschiede in der Blattfläche der einzelnen Pflanzen sowie im Blattflächenindex. Folglich beruhen Änderungen in der Saftflussrate allein auf Änderungen in der stomatären Leitfähigkeit. Bei guter Wasserversorgung wurde an den Pflanzen unter erhöhter CO_2-Konzentration eine Reduktion des Saftflusses um durchschnittlich ca. 20% festgestellt (Tab. 1). Bei Trockenheit wurde erwartungsgemäß eine geringere Saftflussrate gemessen. Die

aus der Regressionsanalyse ermittelten Steigungen für die Beziehungen zwischen potentieller Evaporation und Saftflussrate in den einzelnen Behandlungsvarianten sind in Tab. 2 zusammengefasst. Danach bewirkte die Trockenheit eine Halbierung des Saftflusses im Vergleich zur bewässerten Variante mit normaler CO_2-Konzentration. Bei den bewässerten Varianten wurde als Reaktion auf die CO_2-Anreicherung eine Reduktion der Steigung und damit des Saftflusses um ca. 18% beobachtet. In den trockenen Versuchsparzellen gab es keine Differenz zwischen den beiden CO_2-Varianten. In Übereinstimmung mit den Resultaten aus den Saftflussmessungen wurde in den bewässerten Versuchsflächen eine Zunahme der Oberflächentemperatur und der Lufttemperatur und eine Abnahme der Luftfeuchte des Bestandes gefunden. Die maximale Lufttemperatur im Bestand war durch den CO_2-Anstieg um bis zu 1°C höher.
Die Halbierung der Saftflussrate unter Trockenstress im Vergleich zur gut bewässerten Varianten passt zur Halbierung des saisonalen Wasserangebots in den trockenen im Vergleich zu den feuchten Versuchsparzellen (Manderscheid et al., 2012). Nach den Resultaten zum Saftfluss unter guter Wasserversorgung bewirkt der Anstieg der atmosphärischen CO_2-Konzentration im vorliegenden Feldversuch eine Reduktion des transpiratorischen Wasserverbrauchs um ca. 20%. Dies steht in Übereinstimmung mit der CO_2-bedingten Erhöhung der Wassernutzungseffizienz unter Trockenheit in ähnlichem Umfang (Manderscheid et al., 2012).

Tab. 1: Saisonale Summe des Wasserverbrauchs gemessen mit Saftflussmanschetten an Maispflanzen unter guter Wasserversorgung und unterschiedlicher CO_2-Konzentration (380, 550 ppm) über zwei Jahre.

Jahr	Messtage	Saftfluss (l m^{-2})		% CO_2-Effekt
		380 ppm	550 ppm	
2007	34	54,3	40,8	-25
2008	15	37,5	32,0	-15
gesamt	49	91,8	72,0	-20

Tab. 2: Steigung der Regressionsgeraden zwischen täglicher potentieller Evaporation und Saftflussrate für die Versuchsvarianten mit unterschiedlicher Wasser- (feucht, trocken) und CO_2-Versorgung (380 ppm, 550 ppm).

Wasserversorgung	380 ppm CO_2	550 ppm CO_2	%CO_2-Effekt
Feucht	0,531	0,438	-18%
Trocken	0,267	0,277	+4%
%-Wassereffekt	-50%	-37%	

Literatur

Manderscheid, R., Erbs., M., Weigel, H.J., 2012. Interactive effects of free-air CO_2 enrichment and drought stress on maize growth. Eur. J. Agron., doi:10.1016/j.eja.2011.12.007.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 166–167 (2013)

Diversitätsindizes 2.0 – Neue Methoden zur besseren Interpretation und Bewertung von Biodiversitätsdaten am Beispiel bayerischer Gemischtbetriebe

Wolfrum, S. [1], Siebrecht, N.[1], Kainz, M.[1], Papaja-Hülsbergen, S. [1] und Hülsbergen, K.-J.[1]

[1] Lehrstuhl für ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme der Technischen Universität München, Freising. E-Mail: *sebastian.wolfrum@tum.de*

Einleitung

Landwirtschaft und Biodiversität stehen in engem Zusammenhang. Um vorhandene Wechselwirkungen zu verstehen und optimierte Bewirtschaftungsstrategien zu entwickeln, werden Untersuchungen zu Vorkommen und Verteilung von Arten durchgeführt. Für diese Datensätze werden neben der Artenzahl häufig Diversitätsindizes berechnet. Da verschiedene Indizes (z. B. Shannon, Gini-Simpson usw.) zur Verfügung stehen, ist zu entscheiden, welcher für die Auswertung am geeignetsten ist. Ein Problem ergibt sich auch durch ungünstige mathematische Eigenschaften vieler Indizes (Jost 2008). Oft liegen nichtlineare Funktionen vor, die eine „naive“ Interpretation erschweren und zu Fehlinterpretationen führen können.
Neue statistische Verfahren, wie z. B. das von Pallmann et al. (2012) vorgestellte, vermeiden diese Probleme. Dazu werden simultan mehrere Indizes nach einer von Hill (1973) darlegten, einheitlichen mathematischen Formulierung berechnet. Diese so genannten „Hill Zahlen“ (^{q}D) beinhalten auch die allgemein gebräuchlichen Indizes. Eine „Hill Zahl“ D der Ordnung q kann dabei als häufigkeitsgewichtetes „Äquivalent“ zur Artenzahl (q=0) interpretiert werden. Im Folgenden zeigen wir Ergebnisse der Anwendung dieser Methode auf die im Rahmen des EU-Projektes BIOBIO (www.biobio-indicator.org) erfassten Biodiversitätsdaten und diskutieren das Potential für die Anwendung bei agrarökologischen Fragestellungen.

Material und Methoden

Die Aufnahmen erfolgten 2010 auf acht ökologischen und acht konventionellen, Milchvieh haltenden Gemischtbetrieben im Bayerischen Tertiärhügelland. Insgesamt wurden 129 Probeflächen eingerichtet. Regenwürmer wurden mit einer kombinierten Methode erfasst. Für die Erfassung der Spinnen wurde ein modifizierter Laubsauger verwendet. Die Details der Betriebs- und Probeflächenauswahl sowie der Erfassungsmethoden finden sich bei Dennis et al. (2012). Für die hier gezeigte Analyse wurde die Abundanz der Regenwürmer (49 Probeflächen) und die der Spinnen (48 Probeflächen) in Ackerschlägen verwendet. Die statistische Analyse erfolgte in R-2.15.2 (R Development Core Team 2012) mit der Funktion „*mcpHill()*“ aus dem R Packet „*simboot 0.2-0*“ (Scherer und Pallmann 2013).

Ergebnisse und Diskussion

Bei den Regenwürmern wurden insgesamt 9 (kon.) bzw. 8 (öko.) Arten (^{0}D) gefunden. Entsprechend wurde ein Shannon Indexwert von je 1,46 (4,3 Artäquivalente ^{1}D) und Gini-Simpson Indexwerte von 0,63 und 0,68 (2,7 bzw. 3,1 Artäquivalente ^{2}D) berechnet. Bei den Spinnen wurden insgesamt 28 (kon.) bzw. 45 (öko.) Arten (^{0}D) erfasst. Die berechneten Shannon Werte betragen 2,54 (kon.) und 2,89 (öko.), die Gini-Simpson Werte 0,89 (kon.) und 0,92 (öko.). Dies entspricht bei

Bezug auf Shannon 12,7 bzw. 18 und auf Gini-Simpson 9,2 bzw. 12,0 Artäquivalenten (^1D und ^2D).
Die für Mehrfachtests korrigierten Ergebnisse (Tab. 1) zeigen bei den Regenwürmern für alle Indizes ^qD keine signifikanten Unterschiede aufgrund des Betriebssystems. Bei den Spinnen liefern alle getesteten Indizes ^qD signifikant höhere Werte für die Diversität auf den Ökoflächen. Die p-Werte der einseitigen Tests zeigen die Tendenz, dass Unterschiede bei den Regenwürmern eher durch die in den Proben selten, bei Spinnen durch die häufig vertretenen Arten begründet sein könnten.

Tab. 1: Mehrfachtest korrigierte p-Werte (Dunnett Kontraste öko. vs. kon. / Anzahl Bootstrapdurchgänge B=5000) für Unterschiede in den „Hill Zahlen“ ^qD (Ordnung q=-1 bis q=3 / Inkrement Δq=1 und Δq=0,5) der Artengruppen Regenwürmer und Spinnen auf Ackerflächen. Kursive Werte zeigen signifikante (p<0,05) Unterschiede.

	Regenwürmer						**Spinnen**					
	2-seitig		rechtseitig		linksseitig		2-seitig		rechtseitig		linksseitig	
q	Δ_q=1	Δ_q=0,5	Δ_q=1	Δ_q=0,5	Δ_q=1	Δ_q=0,5	Δ_q=1	Δ_q=0,5	Δ_q=1	Δ_q=0,5	Δ_q=1	Δ_q=0,5
-1	0,334	0,356	0,163	0,163	0,965	0,971	*0,022*	*0,026*	*0,017*	*0,014*	1,000	0,999
-0,5		0,312		0,141		0,975		*0,014*		*0,009*		1,000
0	0,328	0,349	0,158	0,161	0,966	0,972	*0,007*	*0,008*	*0,006*	*0,006*	1,000	1,000
0,5		0,455		0,216		0,953		*0,006*		*0,003*		1,000
1	0,534	0,551	0,274	0,263	0,932	0,934	*0,004*	*0,004*	*0,002*	*0,001*	1,000	1,000
1,5		0,619		0,300		0,918		*0,003*		*0,001*		1,000
2	0,647	0,664	0,340	0,330	0,906	0,906	*0,002*	*0,002*	*0,002*	*0,001*	1,000	1,000
2,5		0,704		0,350		0,897		*0,002*		*0,001*		1,000
3	0,710	0,728	0,370	0,366	0,891	0,891	*0,002*	*0,002*	*0,002*	*0,001*	1,000	1,000

Die Berechnung der Indizes für unterschiedliche q-Werte bestätigt, dass mit den „Hill Zahlen“ die frühe Auswahl und Festlegung auf einen oder wenige Indizes vermieden werden kann. Die Auswertung erlaubt daher eine vertiefte und differenzierte Interpretation und Bewertung von Biodiversitätsdaten. Für die Bearbeitung agrarökologischer Fragen ist somit eine Anwendung der neuen Methoden zu empfehlen. Die Methodik kann auch in anderen Bereichen, wie der Bewertung der Lebensraumdiversität oder der Bestimmung von Fruchtarten- oder Sortendiversität, Anwendung finden. So wäre es z. B. möglich, die langfristige Veränderung der Anbaukonzentration von Energiepflanzen zu erfassen und zu bewerten.

Literatur

Dennis, P.; Bogers, M. M. B.; Bunce, R. G. H.; Herzog, F.; Jeanneret, P. (2012): Biodiversity in organic and low-input farming systems. Handbook for recording key indicators. Alterra Report, 2308. Wageningen.

Hill, M. O. (1973): Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. Ecology 54 (2), S. 427 -432.

Jost, L. (2006): Entropy and diversity. Oikos 113 (2), S. 363–375.

Pallmann, P.; Schaarschmidt, F.; Hothorn, L. A.; Fischer, C.; Nacke, H.; Priesnitz, K. U.; Schork, N. J. (2012): Assessing group differences in biodiversity by simultaneously testing a user-defined selection of diversity indices. Molecular Ecology Resources 12 (6), S. 1068–1078.

R Development Core Team (2012): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna.

Scherer, R.; Pallmann P. (2013): simboot: Simultaneous inference for diversity indices. R Packet Version 0.2-0.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 168–169 (2013)

Einfluss der Stickstoffversorgung auf die antioxidative Kapazität von Weizen

Feng Yan, Beate Stumpf und Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität, Schubert Straße 81, 35392 Gießen; E-Mail: *feng.yan@agrar.uni-giessen.de*

Einleitung

In den Karyopsen des Weizens (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum* L.) werden nicht nur Proteine und Kohlenhydrate, sondern auch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe wie Phenolsäuren und Flavonoide gebildet, die für eine gesunde Ernährung des Menschen von großer Bedeutung sind. Der Gehalt an phenolischen Verbindungen im Weizen kann durch die Sorte und die Wachstumsbedingungen beeinflusst werden. Bisher gab es wenige Untersuchungen über den Einfluss der Stickstoffversorgung auf den Gehalt an phenolischen Verbindungen im Weizenkorn.

In dem durchgeführten Gefäßversuch wurde der Frage nachgegangen, ob und wie der Gehalt an phenolischen Verbindungen im Weizen durch Stickstoffversorgung beeinflusst werden kann.

Material und Methoden

Ein Gefäßversuch mit Sommerweizen wurde 2012 in der Versuchsstation Rauischholzhausen der Justus-Liebig-Universität Gießen durchgeführt. Ein lehmiger Lössboden wurde mit Sand (2 kg Boden + 4 kg Sand) vermischt und in kleine Mitscherlich-Gefäße gefüllt. Der Boden wurde mit Phosphat, Kalium, Magnesium, Calcium und Wasser optimal versorgt. Die N-Düngung erfolgte nach den Düngungsstufen 0; 0,25; 0,50; 1,00; 2,00 und 3,00 g N/Gefäß (je 12 Wiederholungen). Sommerweizen (Sorte Thasos) wurde am 3. April 2012 mit einer Saatdichte von 33 Körnen/Gefäß ausgesät. Die Ernte erfolgte während der Kornfüllung zu drei Terminen: am 10. Juli (BBCH 75/77), 18. Juli (BBCH 77/83) und 26. Juli (BBCH 85). Bei der Ernte wurden Parameter für die Ertragsbildung ermittelt. Die Kornproben wurden bei 38°C getrocknet und zum Beginn der Analyse fein vermahlen. Die Extraktion der phenolischen Verbindungen und deren Quantifizierung erfolgte nach der Methode von ADOM und LIU (2002).

Ergebnisse und Diskussion

Höhere N-Düngung führte generell zu einem höheren Kornertrag bei allen drei Erntenterminen. Ein wesentlicher Effekt der höheren N-Düngung auf den Ertrag war die erhöhte Anzahl der ährentragenden Halme. Die Anzahl der ährentragenden Halme war bei den Varianten mit 2 bzw. 3 g N/Gefäß mehr als verdoppelt so hoch wie bei den Varianten mit 0,25 bzw. 0,5 g N/Gefäß. Die Tausendkornmasse (TKM) erreichte das höchste Niveau von 41 g in der N-Düngungsstufe 1 g N/Gefäß. Mit weiter steigender N-Düngung sank die TKM stark ab (33 g bzw. 31 g bei 2 bzw. 3 g N/Gefäß), da die Konkurrenz zwischen den Körnen um die Kohlenhydrate und N-Verbindungen mit steigender Anzahl des Korns steigt. Der Einfluss der N-Versorgung auf die antioxidative Kapazität von Weizen wird im Folgenden nur mit den Ergebnissen von zwei N-Düngungsstufen (0,25 bzw. 2,0 g N/Gefäß) bei der dritten Ernte dargestellt.

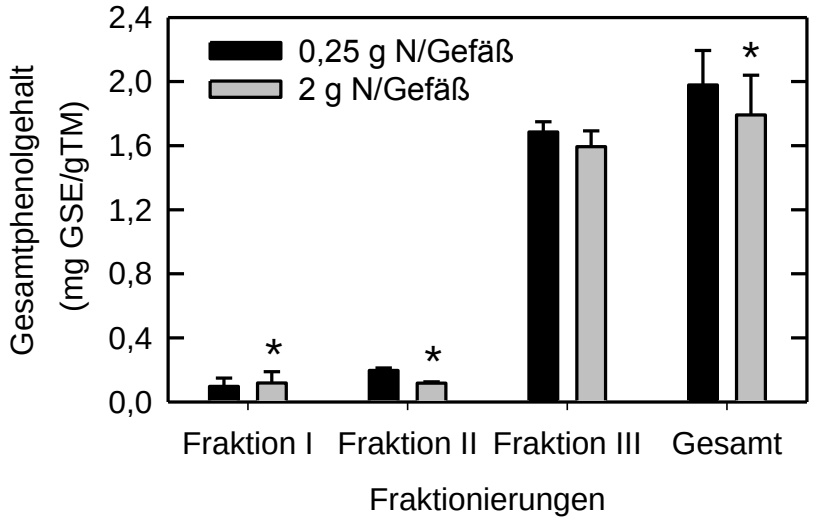


Abb. 1: Der Gehalt an Gesamtphenolen in verschiedenen Fraktionen (I, II, III und Gesamt für freie, veresterte, zellwandgebundene phenolische Verbindungen und Summe der drei Fraktionen) des Weizenkorns in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung.

Die antioxidative Kapazität des Weizenkorns ist im Wesentlichen auf den Gehalt an phenolischen Verbindungen zurückzuführen und wird in der Untersuchung durch den Gehalt an Gesamtphenolen erfasst. In der ersten Fraktion werden die löslichen phenolischen Verbindungen, wie Phenolsäuren, extrahiert. Eine leichte, aber signifikante Steigerung des Gehaltes an Gesamtphenolen wurde durch die höhere N-Düngung induziert (siehe Abb. 1). Dagegen induzierte eine höhere N-Versorgung in Fraktion II, die lösliche veresterte phenolische Verbindungen enthält, einen signifikanten Rückgang des Gehaltes an Gesamtphenolen um 40%. Veresterte phenolische Verbindungen im Weizenkorn stellen überwiegend Esterbindungen zwischen Phenolsäuren und Zuckern dar. Ein Rückgang in dieser Fraktion lässt vermuten, dass der Zuckerspiegel im Korn durch die höhere N-Versorgung reduziert wird und somit weniger Zucker für die Bildung von veresterten Phenolsäuren zur Verfügung steht. Das gleiche Bild gilt auch für die Fraktion III, die zellwandgebundenen phenolischen Säuren, obwohl der Unterschied im Gesamtphenolgehalt zwischen den beiden N-Düngungsstufen nicht signifikant war. Wenn der Gehalt von allen drei Fraktionen zusammen addiert wird, zeigt sich jedoch ein signifikant niedrigerer Gehalt an phenolischen Verbindungen bei der N-Düngung mit 2 g N/Gefäß im Vergleich zu 0,25 g N/Gefäß. Mit der Berücksichtigung der Korngröße können wir zeigen, dass der Rückgang des Gehaltes von Gesamtphenolen im Weizenkorn durch höhere N-Versorgung nicht auf einen Verdünnungseffekt zurückzuführen ist. Daraus wird der Schluss gezogen, dass die höhere N-Versorgung die Synthese von veresterten und an Zellwand gebundenen phenolischen Verbindungen im Weizenkorn reduziert und somit die antioxidative Kapazität des Weizenkorns vermindert.

Literatur

ADOM, K. K.; and LIU, R. H. (2002): Antioxidant Activity of Grains. J. Agric. Food Chem., **50**, 6182-6187

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 170–171 (2013)

Vergleich der Backweizenproduktion von fünf Anbauregionen bezüglich ausgewählter Nachhaltigkeitsindikatoren

Siebrecht, N.[1], Schmid, H. und Hülsbergen, K.-J.

[1] Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising E-Mail: *norman.siebrecht@tum.de*

Einleitung

Das Thema Nachhaltigkeit hat auch in der Landwirtschaft weite Verbreitung gefunden und umfasst verschiedenste Zugänge (Siebrecht 2010). Bezogen auf die Herstellung nachhaltig produzierter Lebensmittel wird beschrieben, dass unter den verschiedenen Lebenszyklusphasen die landwirtschaftliche Rohstoffgewinnung (des Backweizen) wesentlich für die Umweltwirkungen und die Nachhaltigkeit des Produktes Brot bzw. Backwaren ist (Biermann et al. 2010). Problematisch ist dies insbesondere für den Ressourceneinkaufs, da das Wissen über die Rohstoffproduktion in unterschiedlichen Anbauregionen und die damit verbundenen Nachhaltigkeitseffekte unzureichend ist. Gibt es Unterschiede zwischen Anbauregionen, welche Einflussgrößen sind für die Nachhaltigkeit bedeutend (Anbausystem, Standort) und welche Maßnahmen können getroffen werden, um ggf. nötige Verbesserung zu initiieren? Bezüglich dieser Fragestellungen wurde im Projekt „Analyse der ökologischen Nachhaltigkeit der Getreideproduktion in der Wertschöpfungskette Brot und Backwaren“ (gefördert durch die REWE Group und die Glockenbrotbäckerei Bergkirchen) untersucht, ob sich Anbauregionen bei der Produktion von Backweizen und den Nachhaltigkeitswirkungen unterscheiden. Aufgrund einer vorangegangen Hot Spot-Analyse (HSA) wurden die Themenfelder Ressourcen, Boden und Biodiversität schwerpunktmäßig thematisiert.

Material und Methoden

Ziel des Projektes war es, regional differenzierte Nachhaltigkeitsanalysen zur landwirtschaftlichen Produktion durchzuführen. Für die Untersuchungen wurden mit den Projektträgern 5 Getreideanbauregionen (Tertiär-Hügelland, Straubinger Gäu, Wetterau, Thüringer Becken und Marchfeld (Österreich)) definiert, die wichtigen Liefergebieten entsprechen und unterschiedliche Produktionssysteme und Standortbedingungen abbilden. In den Regionen wurden jeweils 3 regionstypische, backweizenproduzierende Landwirtschaftsbetriebe ausgewählt und bezüglich der ökologischen Nachhaltigkeit analysiert. Für die Analysen wurde ein kombiniertes Verfahren gewählt, bei dem die Bewirtschaftungsdaten modellgestützt (Modell REPRO, Hülsbergen 2009) ausgewertet und ein Messprogramm auf Testflächen etabliert wurden. Anhand der Bewirtschaftungsdaten wurden verschieden Indikatoren analysiert: die Energieeffizienz wurde anhand von betriebliche Energiebilanzen berechnet, für Aussagen zur Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit Humus– und Nährstoffbilanzen kalkuliert und um potenzielle Bodendegradation zu beurteilen, wurden die Bodenschadverdichtung und die Bodenerosion modelliert. Mit dem Messprogramm wurden Detailanalysen zur Bodenfruchtbarkeit sowie zur Biodiversität durchgeführt: Auf 6 Testflächen je Betrieb wurden Bodenproben genommen und bodenchemische (Humus– und Nährstoffgehalt), bodenphysikalische (Bodenstruktur, Trockenrohdichte usw.) und bodenbiologische (mikrobielle Biomasse) Größen ermittelt. Zur Erfassung von Einflüssen auf die Biodiversität wurden relevante Organismengruppen (Regenwürmer, Bienen, Spinnen, Vegetation)

sowie vorhandene Biotope und Landschaftsstrukturen erfasst. Insgesamt wurden für jeden einzelnen Betrieb 156 Einzelparametern bzw. -indikatoren erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse sind wie in der HSA den Themenfeldern Ressourcen, Boden und Biodiversität zugeordnet, von denen hier ausgewählte vorgestellt werden. Bezüglich der Ressourcen (Erträge, Produktionsintensität usw.) bestehen über alle Merkmale deutliche Unterschiede. Die realisierten Höchsterträge variieren zwischen 50 - 90 dt WW ha^{-1} (Marchfeld, Thüringer Becken), die Produktionsintensitäten und der Betriebsmitteleinsatz (Pflanzenschutz, Dünger usw.) sind i.d.R. an das Ertragsniveau angepasst. Obwohl die Wetterau eine vergleichsweise hohe Pflanzenschutzintensität aufweist, werden die geringsten produktbezogene Energieintensität erreicht ($\bar{x}$: 145 MJ dt^{-1} WW, Region Straubing 185 MJ dt^{-1} WW). Bei den bodenbezogenen Auswertungen wurde bei der Humusversorgung die größte Variation festgestellt. Die durch Gemischtbetriebe charakterisierte Region Bayerisches Tertiärhügelland hat bei der Humusreproduktion klare Vorteile (Humusversorgungsgrad AL $\bar{x}$: 117%); für die Betriebe im Straubinger Gäu und in Thüringen wurden ausgeglichene bis leicht negative Humusbilanzen berechnet; Betriebe im Marchfeld haben negative Humussalden (Humusversorgungsgrad AL $\bar{x}$: 66 %). Die Indikatoren zu Biodiversität weisen die größten Unterschiede zwischen einzelnen Betrieben auf. Regionsbezogen kann zusammengefasst werden, dass bzgl. der Segetalflora in der Wetterau und Straubing die geringste Artenzahlen ($\bar{x}$: 3), das Tertiärhügelland und Thüringen mittlere (6 Arten) und das Marchfeld die höchsten Artenzahlen (10 Arten) auf den Testflächen aufweisen. Bei der Organismengruppe der Regenwürmer wurden im Marchfeld lediglich 2,7 Arten, in Thüringen 3,5 Arten und in den anderen Regionen > 4 Arten gefunden. Die Ergebnisse zu den Spinnen zeigen insbesondere für das Tertiärhügelland sehr hohe Individuenzahlen (Abundanz Plot: 4,1 Individuen) und im Marchfeld die geringsten (Abundanz Plot: < 2 Individuen). Der berechnete indirekten Biodiversitätsindikator „Biodiversitätspotenzial“, ergab für Thüringen das höchste Biodiversitätspotenzial (0,89). Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Ergebnisse deutliche Unterschiede zwischen den Regionen aber vor allem auch zwischen den Betrieben aufweisen. Dies verdeutlicht den großen Einfluss der Anbausysteme und Standortbedingungen. Keine Region weist ausgeprägte Defizite auf; jede Region hat ein spezifisches Stärken-Schwächen-Profil. Dieses wird stark von den Betrieben modifiziert, speziell auf der Betriebsebene bestehen zahlreiche Möglichkeiten zur Optimierung der Nachhaltigkeit.

Literatur

Biermann, B., Liedtke, C. und Bienge K. (2010): Hot Spot-Analyse und Kurzstudie - Brot- und Backwaren. Triple Innova GmbH und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal.

Hülsbergen, K.-J. (2009): Ein Modell zur Analyse und Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebssysteme. In: Grimm, C., Hülsbergen, K. & Kuhn, H.. Schmidt, Berlin, 13 - 28.

Siebrecht, Norman (2010): Indikatorengestützte Analyse der Erosionsgefährdung und des Biodiversitätspotenzials als Grundlage des Nachhaltigkeitsmanagements landwirtschaftlicher Betriebssysteme. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 172–173 (2013)

Welche Rolle spielen die samen- und bodenbürtigen Krankheitserreger Fusarium (*Fusarium spp.*), Steinbrand (*Tilletia caries*) und Zwergsteinbrand (*Tilletia controversa*) für das Saatgut heute noch?

Benno Voit[1], Berta Killermann[1]

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Saatgutuntersuchung/Saatgutforschung, Lange Point 6, Labor 2, 85354 Freising
E-Mail: Benno.Voit@LfL.bayern.de

Einleitung

Die Prognosemodelle und Schadschwellen für einen optimalen Pflanzenschutzmitteleinsatz werden immer ausgereifter so dass anzunehmen ist, dass saatgutbürtige Krankheiten zumindest im konventionellen Landbau keine Rolle mehr spielen. Doch dem ist nicht so wie die letzten Jahre gezeigt haben.

Material und Methoden

Fusarien im Feldbestand

2012 war das Frühjahr zunächst trocken bis Anfang Mai. Dann setzten Niederschläge ein, die bis zur Ernte anhielten. Der viele Regen bot den Fusarienpilzen optimale Entwicklungsmöglichkeiten. Hinzu kommt, dass es für die Praxis, trotz aller Prognosemodelle schwierig ist den richtigen Zeitpunkt für die Behandlung zu bestimmen, insbesonders wenn mehrere Niederschlagsereignisse wie 2012 als Infektionszeitpunkt in Frage kommen. Darüber hinaus haben die Fungizide keine ausgeprägte kurative oder Dauerwirkung. Das heißt bei zu früher Spritzung reicht der Schutz zeitlich nicht aus und bei zu später Behandlung ist die Infektion bereits gesetzt und kann nicht mehr ausreichend bekämpft werden. Wie schwierig es ist den Infektionszeitpunkt zu bestimmen zeigen die Ergebnisse aus den Infektionsversuchen, wo der Infektionszeitpunkt bekannt ist und die Wirkung der Spritzung trotzdem nicht befriedigend ist. Wegen der oft unzureichenden Wirkung sowie wegen der hohen Kosten für eine zusätzliche Behandlung gegen Fusarium ist eine Spritzung nur bei sehr hohem Risiko sinnvoll.

Fusarien in der Keimprüfung

Bei der Keimprüfung von Getreide werden 4 x 100 Körner in sterilem Quarzsand oder Filterpapier bei 20 °C zum Keimen gebracht. Bei der Ernte 2012 fiel auf, dass ein deutlich höherer Anteil anomaler Keimlinge bei Roggen, Triticale und Weizen auftrat. Ursache dafür war, dass die Keimlinge mit Fusarien befallen waren. Bei besonders starkem Befall keimen die Körner überhaupt nicht und bilden während der Keimphase ein rotes Pilzmyzel. Am häufigsten kommt vor, dass die Körner zum Keimen beginnen, aber gleichzeitig mit dem Keimling wachsen auch die am Korn befindlichen Fusarienpilze. Die Pilze wachsen schneller als die Keimlinge, dadurch werden die Keimlinge braun und sterben ab.

Bei den konventionellen Vermehrungen kann Fusariumbefall in der Keimprüfung wirkungsvoll mit einer Beizung bekämpft werden. Schwieriger ist die Situation für die Ökolandwirte denn hier stehen keine hochwirksamen Beizmittel zur Verfügung. Aufgrund der gesünderen Fruchtfolge und deutlich weniger Mais sowie wegen des geringeren Stickstoffangebotes ist der Krankheitsdruck etwas geringer aber wie die Ernte 2012 zeigte nicht unproblematisch.

Brandkrankheiten

Steinbrand, Zwergsteinbrand und Flugbrand sind Krankheiten die viele nur noch aus der Schul- oder Studienzeit in Erinnerung haben. Mittlerweile treten sie wieder häufiger auf. Der Hauptgrund dafür ist, dass Ökosaatgut nicht mit chemischen Beizmitteln behandelt werden darf. Zu der Thematik Steinbrand und Zwergsteinbrand wurden im Rahmen von zwei Ökoforschungsprojekten Labor - und Feldversuche durchgeführt um das Befallsgeschehen sowohl an der Pflanze als auch das Brandsporenpotenzial im Boden genau beobachten zu können. Dabei zeigte sich, dass bei Steinbrand das Erntegut aus der Frühsaat Anfang Oktober einen viermal so hohen Befall aufwies als die Ernteware der Spätsaat Ende Oktober. Darüber hinaus konnte bei den Sorten eine unterschiedliche Anfälligkeit gegenüber Steinbrand und Zwergsteinbrand festgestellt werden.

Steinbrand bereitet den konventionellen Betrieben nur wenig Probleme, da alle Beizmittel eine Steinbrandwirkung haben. Probleme treten auf, wenn Beizmittelaufwandmengen reduziert werden oder die Beizmittelverteilung auf den Körnern sehr ungleichmäßig und ein Teil der Körner völlig ungebeizt ist.

Zwergsteinbrand gehört zu den bodenbürtigen Krankheitserregern und bleibt im Boden mehr als 10 Jahre infektionsfähig. Für eine Infektion ist ein ganz bestimmter Witterungsverlauf notwendig. Diese Situation trat 2011 ein, so dass trotz chemischer Beizung im konventionellen Landbau der Zwergsteinbrandbefall bei Weizen und Dinkel so hoch war wie nie zuvor. Ursache dafür war, dass es derzeit nur ein wirksames Beizmittel gegen Zwergsteinbrand gibt. Vielen Landwirten und Saatguthändlern war dies nicht bewusst und waren daher von dem Befall sehr überrascht.

Flugbrandbefall kommt hauptsächlich bei Winter- und Sommergerste im ökologischen Landbau vor. Wichtig ist, dass nur untersuchtes Saatgut zur Aussaat gelangt. Nicht untersuchtes Nachbausaatgut ist die häufigste Schadursache bei Flugbrand. Bei der Untersuchung hat nur der volle Untersuchungsumfang von 2000 Embryonen einen Sinn, da bei reduzierter Untersuchung die Gefahr einer Fehlinterpretation und damit das Befallsrisiko sehr hoch sind.

Ergebnisse und Diskussion

Samenbürtige Krankheiten haben trotz ständig weiterentwickelter Fungizide, Prognosemodellen und Schadschwellen auch heute noch eine Bedeutung. Je nach Witterungsverlauf treten im konventionellen Landbau Fusarien immer wieder stärker auf und führen zu einem hohen Befall am Saatgut. Durch eine ordnungsgemäße Saatgutbeizung lässt sich der Befall in der Regel gut bekämpfen. Im ökologischen Landbau kommen Steinbrand und Zwergsteinbrand bei Weizen und Dinkel und Flugbrand bei Gerste häufiger vor als Fusarien. Um eine vermarkungsfähige Ernte zu bekommen, soll im Ökolandbau nur gesundes, d. h. untersuchtes Saatgut zur Aussaat verwendet werden. Bei der Sortenwahl ist ein verstärktes Augenmerk auf die Anfälligkeit gegenüber Brandkrankheiten zu richten.

Literatur

VOIT B. und KILLERMANN B., 2011: Warum sind Steinbrand und Zwergsteinbrand derzeit nicht nur im ökologischen Getreidebau ein Problem. 62. Tagung Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 73 – 76.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 174–175 (2013)

Reifegruppenmodell für Sorghum

Karen Zeise

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing; E-Mail: *karen.zeise@tfz.bayern.de*

Einleitung

Ein erfolgreicher Sorghumanbau hierzulande steht und fällt mit der Verfügbarkeit von frühreifen Sorten, mit denen sich in der kurzen Vegetationszeit silierfähige Bestände etablieren lassen. Da jedoch der internationale Trend in Richtung Spätreife und Nutzungselastizität der Bestände durch langanhaltend hohe Verdaulichkeit geht, ist Frühreife im gegenwärtigen Sortiment entsprechend unterrepräsentiert. Eine Aufgabe des TFZ ist es, für bayerische Bedingungen geeignetes Material sicher und reproduzierbar zu identifizieren, wobei sich das eigens entwickelte Reifegruppenmodell als wertvolles Instrument bewährt hat.

Material und Methoden

Das Modell basiert auf Ernteergebnissen von 28 Sorten aus dem Sorghumscreening der Jahre 2007 bis 2010. Die ausgewählten Sorten waren idealerweise alle vier, mindestens aber 2 Prüfjahre im Sortiment vertreten. Die Versuchsflächen befanden sich in der Landschaftseinheit des Gäubodens bei Straubing auf Parabraunerde aus Löss mit einer Ackerzahl von 73 bis 76. Sorghum wurde nach Winterschwarzbrache in ein mittels Kreiselegge bereitetes Saatbett gedrillt. Die Saatstärke betrug 25 Kö./m² für *S. bicolor* bzw. 40 Kö./m² für *S. bicolor* x *S. sudanense* und *S. sudanense*. Stickstoff wurde in BBCH 13 für eine Gesamtversorgung von 150 kg N/ha verabreicht. Die Ernte fand Anfang bis Mitte Oktober vor Eintritt der ersten Nachtfröste statt. Die Validierung des Modells basierte auf den absoluten Trockensubstanzgehalten der Prüfsorten zur Ernte. Der Wärmebedarf der Reifegruppen wurde über den „Reifequotienten“, dargestellt als Verhältnis zwischen Wärmesumme und TS-Gehalt zur Ernte, ermittelt. Der Berechnung der Wärmesumme von Aussaat bis Ernte lag das Mais-Reifeprognosemodell nach AGPM mit einer auf 10 °C erhöhten Basistemperatur [1] zugrunde.

Ergebnisse und Diskussion

Die vier klar abgegrenzten Reifegruppen früh, mittelfrüh, mittelspät und spät werden durch das konkrete Abreifeverhalten der Referenzsorten Lussi, KWS Freya, Herkules und Jumbo definiert. Deren Trockensubstanzgehalte zur Ernte unterscheiden sich im Mittel der Jahre signifikant voneinander (Abb. 1). Fast alle der restlichen 24 Prüfsorten ließen sich über den Vergleich ihrer TS-Gehalte mit denen der Referenzsorten im Dunnett Test eindeutig einer der vier Reifegruppen zuordnen. In der einzeljährlichen Auswertung traten jedoch insbesondere bei neueren Sorten Überschneidungen auf, weshalb die vier Reifegruppen durch Zwischenstadien untersetzt worden sind. Die Definition „früh“, „mittelfrüh“, „mittelspät“ und „spät“ sind danach durch die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 und 7 belegt, die Zwischenstadien analog zum bekannten 9-stufigen Boniturschema durch die geraden Zahlen. In Abb. 2 sind die resultieren 8 Gruppen mit repräsentativen Sorten aus dem gegenwärtigen Marktsortiment dargestellt.

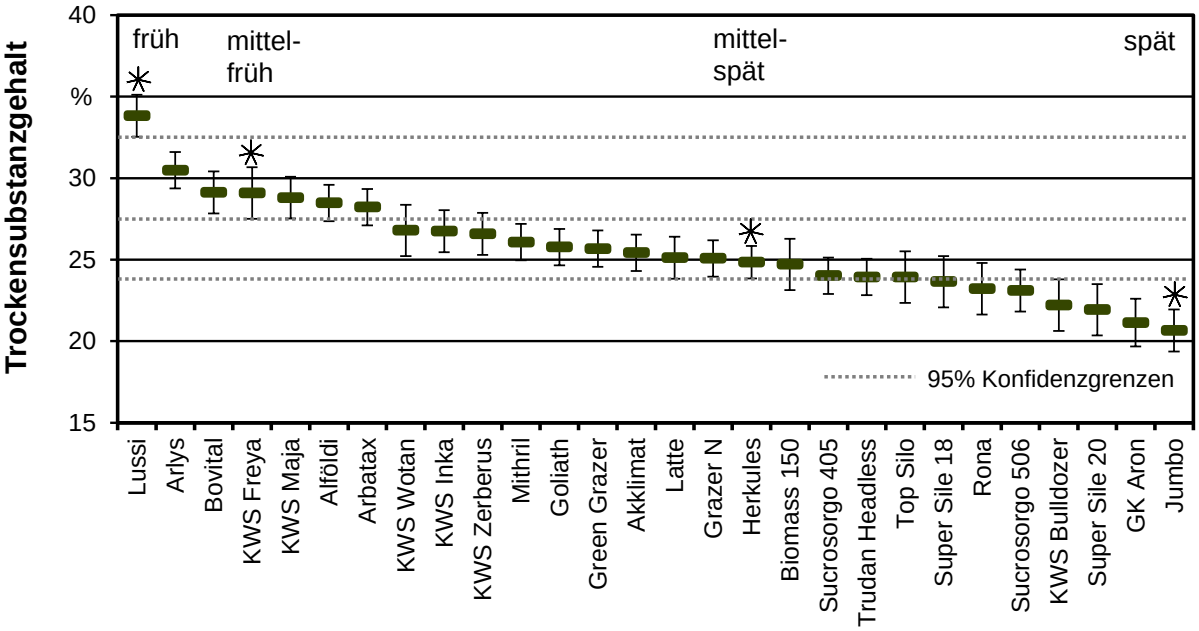


Abbildung 1: *Prüfsortiment mit Referenzsorten für früh, mittelfrüh, mittelspät und spät*

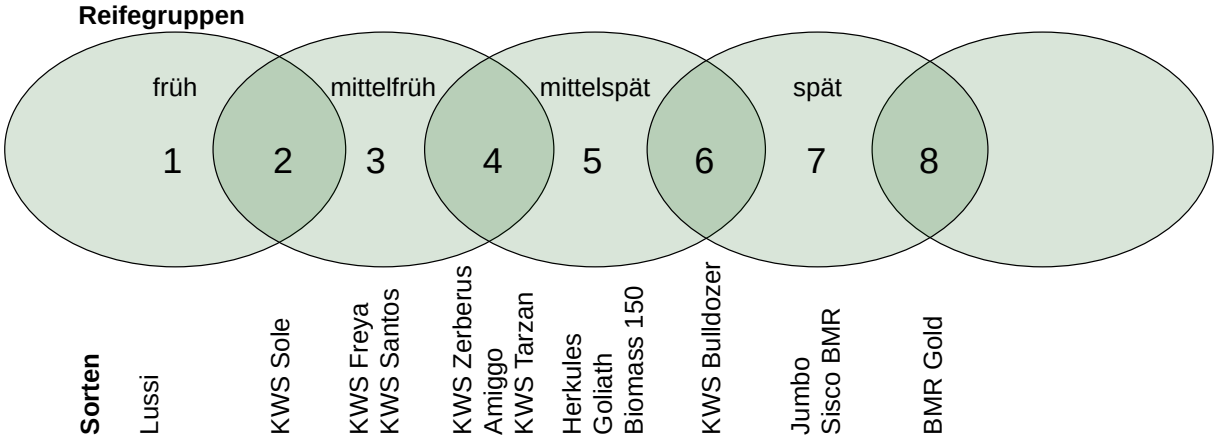


Abb. 2: *Reifegruppenmodell mit repräsentativen marktgängigen Sorten*

Über den Reifequotienten konnte der Wärmebedarf der Reifegruppen für das Erreichen der Siloreife (TS-Gehalt von mindestens 28 %) bezogen auf die Basistemperatur von 10 °C ermittelt werden. Für die Reifegruppe (RG) 1 liegt dieser < 800 °C, für RG 3 bei 800 bis 900 °C, für RG 5 bei 1000 bis 1100 °C und für RG 7 bei > 1200 °C. Die Kenntnis um den spezifischen Wärmebedarf erlaubt eine regionale Sortenempfehlung sowie eine recht genaue Reifeprognose.

Literatur

[1] GERIK, T.; BEAN, B.; VANDERLIP, R. (2003): Sorghum growth and development. Temple, TX; Amarillo, TX, USA: The Texas A & M University System; Texas Cooperative Extension, Nr. B-6137 7-03, 8 Seiten

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 176–177 (2013)

Relationship between the trichome morphology and essential oil composition of four oregano subspecies (*Origanum vulgare* spp.)

Marzieh Shafiee-Hajiabad[1], Johannes Novak[2], Bernd Honermeier [1]

[1] Institute of Agronomy and plant breeding, Justus-Liebig-university Gießen, Gießen. Germany
[2] Institute for Applied Botany, University of Veterinary Medicine, Wien, Austria
Marzieh.shafiee-hajiabad@agrar.uni-giessen.de

Introduction

Origanum vulgare sp. is a medicinal plant belonging to the Lamiaceae family. The main medicinal effect of oregano's herb is due to the phenolic compounds and due to its essential oil located in the leaves. The essential oil composition and concentration in different *O. vulgare*'s subspecies is very variable. Glandular trichomes as the biological factories for sustainable secretion of essential oil have an important role in essential oil variation of oregano's subspecies. Two different types of glandular trichomes, peltate and capitate glandular trichomes, are reported on the areal surface of oregano's subspecies.

Material and Methods

In 2012 a pot experiment with oregano was carried out in the research station of Rauschholzhausen (JLU Gießen). Four different oregano subspecies were investigated: (1) *Origanum vulgare* L. ssp. *vulgare*, (2) *Origanum vulgare* L. ssp. hirtum (Link) letswaart, (3) *Origanum vulgare* L. ssp. *viride* and (4) *Origanum vulgare* L. ssp. *viride* (x *O. majorana*). From oregano plants the third leaf from the top was taken and analyzed regarding their glandular trichomes and essential oil. The size and distribution of the trichomes were investigated by using SEM (scanning electron microscopy). Essential oil composition and concentration were analyzed after solvent extraction by GC-MS. To standardize results all investigations were made at the third leaf from the top.

Results and discussion

Peltate glandular trichomes and small capitate glandular trichomes were the most dominant trichomes on the adaxial side of the leaves in all subspecies. The density and the size of glandular trichomes differed between subspecies (Fig. 1). In essential oil analysis, 40 compounds were identified. First results showed that the composition of the essential oil varied in different subspecies. It seems that there is a relationship between essential oil composition and quantity of each subspecies and the trichome density and size on its leaf surface.

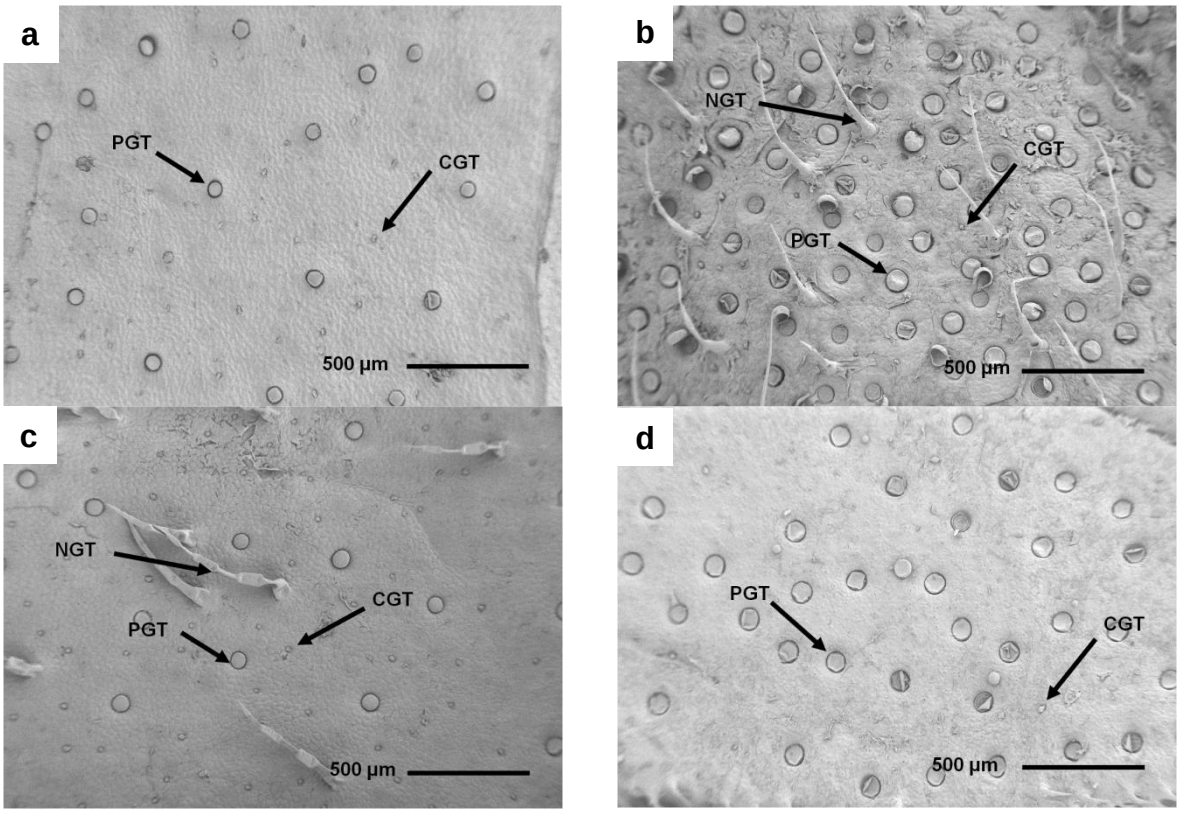


Fig 1. Distribution of trichomes on adaxial sides of oregano leaves,
a) *Origanum vulgare* L. ssp. *vulgare* b) *Origanum vulgare* L. ssp. hirtum (Link) letswaart c) *Origanum vulgare* L. ssp. *viride* d) *Origanum vulgare* L. ssp. *viride* (x *O. majorana*)
(SEM × 50), PGT: peltate glandular trichome; CGT: capitate glandular trichome; NGT: non glandular trichome

Literature

Johnson, C.B.; A. Kazantzis, M. Skoula, U. Mitteregger and J. Novak 2004: Seasonal, Populational and Ontogenic Variation in the Volatile Oil Content and Composition of Individuals of *Origanum vulgare* subsp. *hirtum*, Assessed by GC Headspace Analysis and by SPME Sampling of Individual Oil Glands. Phytochem. Anal. 15: 286–292.

Kofidis, G.; A.M. Bosabalidis, and M. Moustakas 2003: Contemporary seasonal and altitudinal variations of leaf structural features in oregano (*Origanum vulgare* L.). Ann. Bot. 92: 635-645.

Werker, E.; E. Putiesky, and U. Ravid 1989: The Essential Oils and Glandular Trichome in Different Chemotypes of *Origanum vulgare* L. Annals of Botany. 55:793-801.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 178–179 (2013)

Nacherntemanagement in Bewirtschaftungssystemen der konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat unter besonderer Berücksichtigung großer Ernterestmengen

Paul Schattschneider[1], Joachim Brunotte[2], Frank Ellmer[3], Bernd Honermeier[4], Harald Laser[1], Bernhard C. Schäfer[1]

[1] Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest; [2]Thünen-Institut, Institut für Agrartechnologie, Braunschweig; [3]Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Berlin; [4]Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Gießen. E-Mail: *schattschneider.paul@fh-swf.de*

Einleitung

Innovative Bodenbewirtschaftungssysteme mit möglichst geringer Bodeneingriffsintensität und konstanter Bodenbedeckung stoßen auf produktiven Standorten mit großen Mengen an Ernterückständen der Vorfrucht oft an Grenzen. Daher kommt dem Nacherntemanagement in Bewirtschaftungssystemen der konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat eine tragende Rolle zu. Sein Gelingen entscheidet oftmals darüber, ob Bodenbewirtschaftungsverfahren mit geringer Eingriffsintensität in das Bodengefüge nachhaltig in bestehende Betriebsstrukturen integriert werden können. Zur Erarbeitung von Lösungsansätzen für diesen Sachverhalt wurde in zweijährigen Feldversuchen am Standort Soest der Frage nach der optimalen Intensität der Strohzerkleinerung sowie der adäquaten Ablage von Stickstoff nachgegangen.

Material und Methoden

Die Feldversuche (zweifaktorielle Streifenanlagen, vier Wiederholungen) wurden in den Jahren 2011 bis 2013 auf einem tiefgründigen Pseudogley im Naturraum Soester Börde als Mulchsaatversuch ohne Lockerung (Bodenbearbeitung bis max. 10 cm) und Direktsaatversuch (Cross Slot-Technik) mit Gelbsenf (*Sinapis alba* L.) nach Vorfrucht Winterweizen durchgeführt. Die Getreidebestände wurden im Hochschnittverfahren (ca. 50 cm Stoppelhöhe) gedroschen. Das Weizenstroh wurde abgefahren bzw. unterschiedlich stark mit einem Strohmulcher (Y-Messer mit Gegenschneide) zerkleinert (extensiv und intensiv). Die N-Düngung wurde im Mulchsaatversuch (MS) zwischen 0 und 80 kg N ha^{-1} variiert. Im Direktsaatversuch (DS) erfolgte neben der Variation zwischen 0 und 80 kg N ha^{-1} zusätzlich eine unterschiedliche Platzierung der Düngermenge (Unterfußdüngung, Düsenapplikation, Kombination aus Unterfußdüngung und Düsenapplikation). Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden N-Dünger mit identischen N-Formen verwendet. Für die Unterfußdüngung wurden Kalkammonsalpeter und Harnstoff dem N-Formenverhältnis von Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung entsprechend gemischt. Die Kernbeerntung der Parzellen (94,5 m^2) wurde mit einem Futterpflanzenvollernter an zwei Terminen durchgeführt. Die Ernteproben wurden auf C, N und S untersucht (CNS-Elementaranalyse, Hochtemperaturverbrennung nach Dumas). Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit PROC UNIVARIATE und PROC MIXED in SAS 9.3.

Ergebnisse und Diskussion

Für beide Prüffaktoren konnten sowohl im MS als auch DS für die Biomasseerträge und weitere Parameter (nicht dargestellt) signifikante Hauptwirkungen nachgewiesen werden (Abb. 1).

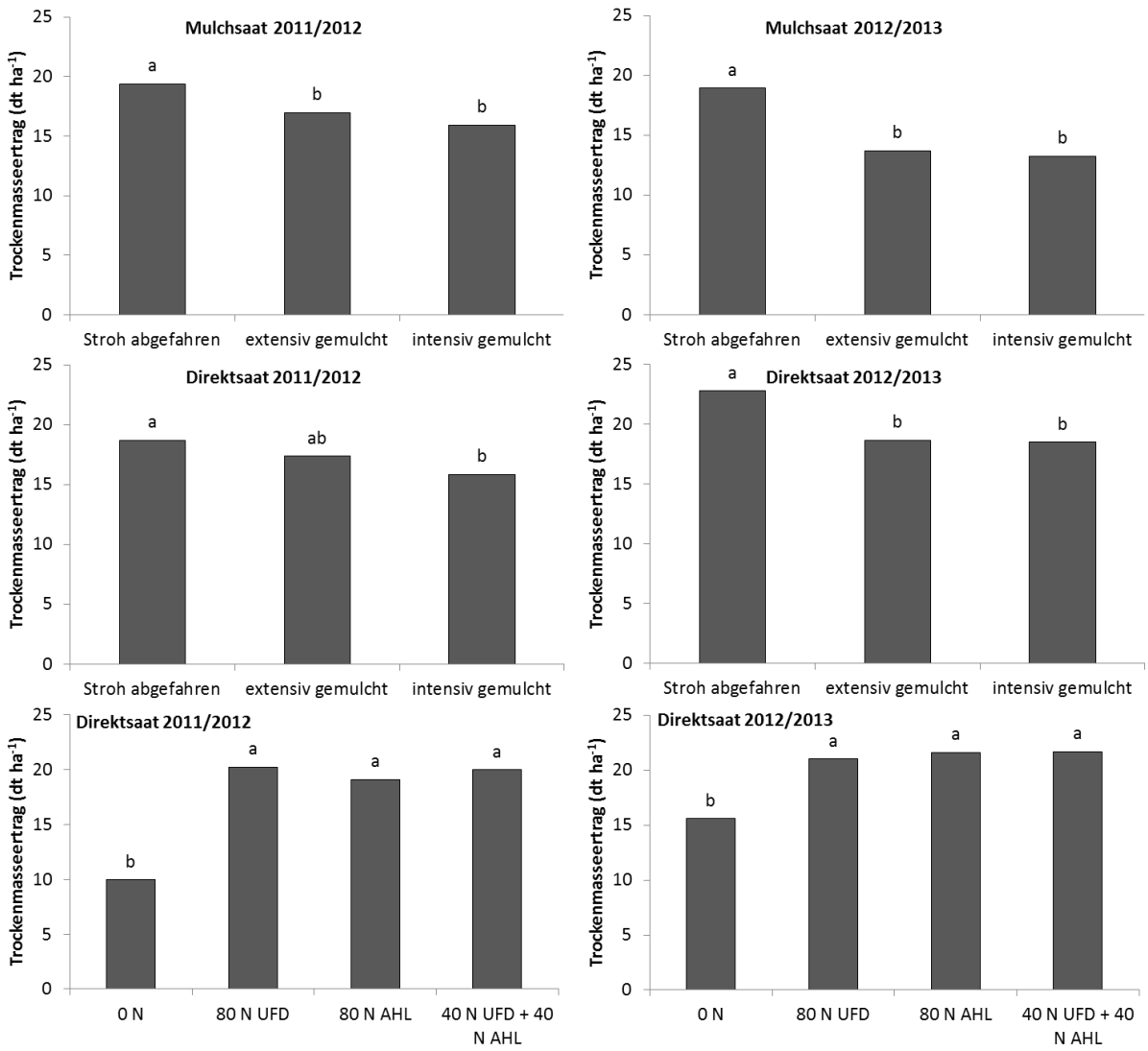


Abb. 1: Biomasseerträge von Gelbsenf (*Sinapis alba* L.) in Abhängigkeit von Bodenbewirtschaftungssystem, Strohmanagement und N-Düngung (Mittelwert, UFD: Unterfußdüngung, AHL: Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet (Tukey α=0,05).

Die Strohabfuhr bewirkte mit Ausnahme der extensiven Zerkleinerung im DS im Jahr 2011/2012 einen signifikant höheren Biomasseertrag gegenüber dem Verbleib der Erntereste auf der Fläche. Die Varianten extensiv und intensiv gemulcht unterschieden sich bei den Naturalerträgen nicht signifikant voneinander. Die unterschiedliche Platzierung der N-Düngermenge im DS führte in beiden Versuchsjahren zu keiner signifikanten Beeinflussung der Trockenmasseerträge.

Danksagung
Das Projekt wird durch die BLE mit Mitteln des BMELV und des MKULNV finanziell unterstützt.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 180–181 (2013)

Agroforstsysteme in Südbrandenburg – Effekte auf Mikroklima und Wasserqualität

Christian Böhm[1], Michael Kanzler[1] und Dirk Freese[1]

[1] Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus. E-Mail: *boehmc@tu-cottbus.de*

Einleitung

Der Agrarholzanbau stellt allgemein eine sehr extensive Form der landwirtschaftlichen Flächennutzung dar. So können beispielsweise die Winderosion oder der Stoffaustrag in das Grundwasser durch den Anbau von Bäumen auf ackerbaulich genutzten Standorten deutlich reduziert werden. Durch die Kombination von Bäumen und konventionellen Ackerfrüchten (Agroforstwirtschaft) können auch angrenzende Feldfruchtbereiche und somit der gesamte Ackerschlag von diesen positiven Effekten des Agrarholzanbaus profitieren. Im Rahmen dieser Studie wurde beispielhaft untersucht, ob und inwieweit der streifenförmige Anbau (Alley-Cropping = AC) von im Kurzumtrieb bewirtschaftetem Agrarholz einerseits zu einer Verbesserung des Windschutzes und andererseits zu einer Erhöhung der Grundwasserqualität beitragen kann.

Material und Methoden

Die Untersuchungen fanden auf einem ca. 40 ha großen Ackerschlag nahe Forst/Lausitz (Südbrandenburg) statt. Im Frühjahr 2010 wurden hier Agrarholzstreifen aus Pappel und Robinie angelegt. Diese weisen eine Breite von jeweils 10 m auf und sind 24, 48 oder 96 m voneinander entfernt. Die Messung der Windgeschwindigkeit erfolgte kontinuierlich mittels Anemometern (Meßintervall: 10 min, Meßhöhe: 1 m), jeweils in der Mitte eines 24, 48 und 96 m breiten Ackerstreifens (AS-24m---Mitte, AS-48m---Mitte, AS-96m---Mitte). Als Referenz wurde ein benachbarter Ackerschlag ohne Bäume herangezogen. Die Beprobung des Grundwassers erfolgte 14-tägig sowohl auf dem Referenzackerschlag als auch in der Mitte eines 96 m breiten Ackerstreifens des AC-Systems in fest installierten Pegelrohren. Analog hierzu wurden ebenfalls jeweils in der Mitte eines Pappel- und eines Robinienstreifens Grundwasserproben entnommen. Die Bestimmung des Nitratstickstoffs (NO_3^--N) erfolgte mittels Ionenchromatographie.

Ergebnisse und Diskussion

Die Agrarholzstreifen führten trotz ihrer geringen Höhe (Ø im Meßzeitraum: 3,15 m) zu einer deutlichen Reduzierung der Windgeschwindigkeit. Die Windschutzwirkung nahm mit abnehmender Ackerstreifenbreite sowohl im belaubten als auch im unbelaubten Zustand deutlich zu (Abb. 1). Bei einer Ackerstreifenbreite von 24 m konnte die Windgeschwindigkeit unabhängig der Jahreszeit um ca. 49 % (bezogen auf die Referenzfläche) vermindert werden. Bei Ackerstreifenbreiten von 96 m hing die Reduktion der Windgeschwindigkeit hingegen stärker von der Jahreszeit ab. So war hier die windschützende Wirkung der Agrarholzstreifen im Winter relativ höher als während der Sommermonate, wobei Windspitzen am deutlichsten reduziert wurden (Abb. 1). Dies zeigt, dass sich mit AC-Systemen – gerade in Zeitabschnitten mit hohem Winderosionspotential (starke Winde, fehlende Bodenbedeckung) – auch bei größeren Ackerstreifenbreiten eine bedeutsame Windschutzwirkung erzielen läßt.

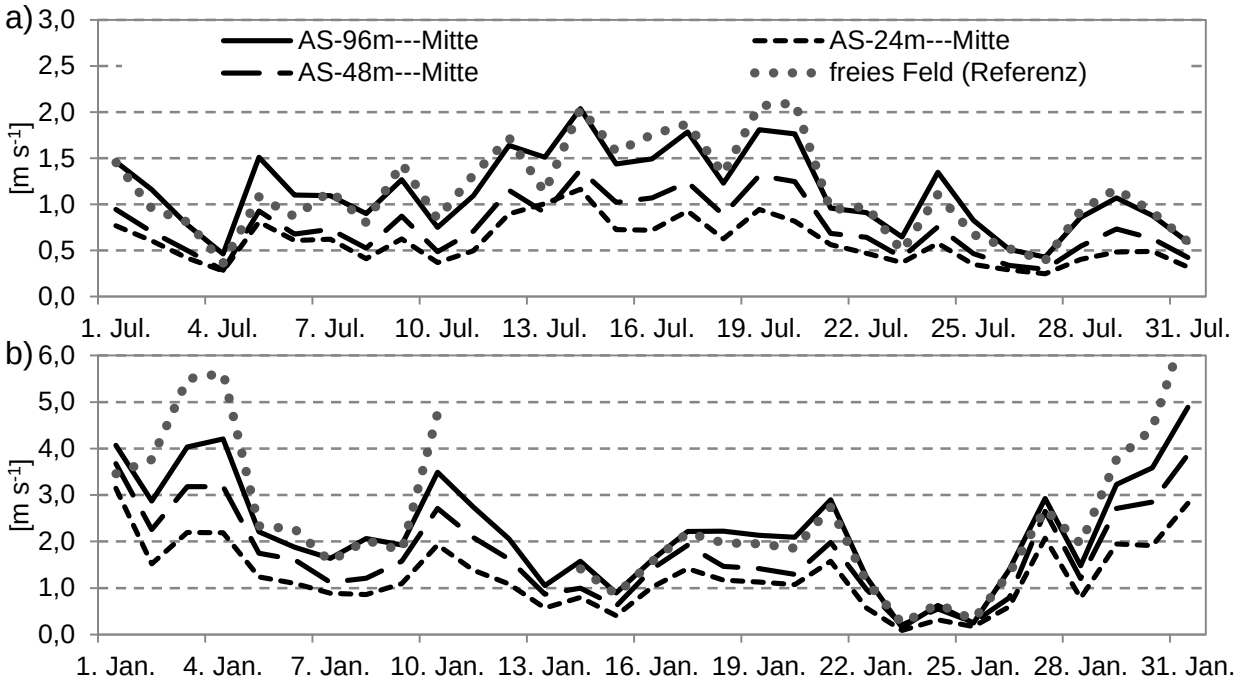


Abbildung 1: Windgeschwindigkeit (Tagesmittelwerte) in Abhängigkeit der Ackerstreifenbreite eines Alley-Cropping-Systems in Südbrandenburg; Meßzeitraum: a) Juli 2012, b) Januar 2013

Obwohl die Breite der Agrarholzstreifen nur wenige Meter betrug, waren die NO_3^--N-Konzentrationen des Grundwassers unter Pappel und Robinie erheblich niedriger als unter konventioneller Ackerbewirtschaftung, wo die Werte zum Teil deutlich über dem Trinkwassergrenzwert von 11,3 mg NO_3^--N l^{-1} lagen (Abb. 2). Die bezüglich der Baumarten auftretenden Differenzen waren dagegen vergleichsweise gering und lassen sich mit dem höheren Stickstoffnachlieferungspotential der N_2-fixierenden Robinie begründen. Insgesamt zeigen die Daten, dass die Qualität des Grundwassers von Ackerstandorten selbst durch den kleinflächigen Anbau von Agrarholz erheblich verbessert werden kann. Inwieweit die Baumstreifen eine Art Filterfunktion übernehmen können, die zur Verbesserung der Grundwasserqualität auf dem gesamten Ackerschlag beiträgt, bleibt jedoch zu klären.

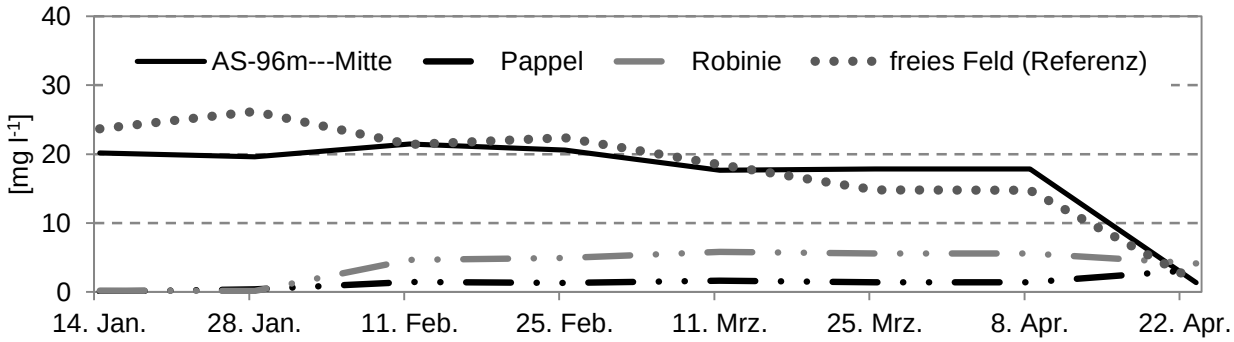


Abbildung 2: NO_3^--N-Konzentration des Grundwassers unter Pappel- und Robinienstreifen sowie unter konventioneller Ackerbewirtschaftung bei einem Alley-Cropping-System in Südbrandenburg; Meßzeitraum: Januar bis April 2013

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 182–183 (2013)

Agroforstsysteme als Kompensationsmaßnahmen – Ergebnisse aus drei Jahren Praxisforschung im Bundesverbundprojekt ELKE

Jörg Böhmer[1] und Frank Wagener[1]

[1] Institut für angewandtes Stoffstrommanagement/Umwelt-Campus Birkenfeld, Hochschule Trier.
E-Mail: *j.boehmer@umwelt-campus.de*

Einleitung

Der potenzielle gesellschaftliche Nutzen von Agroforstsystemen ist in Fachkreisen weitgehend unumstritten. Es werden Leistungen für die Strukturvielfalt in der Landschaft (im Sinn der „Differenzierten Landnutzung“ nach Haber 1972), zum Biotopverbund oder für den Gewässerschutz beschrieben (Wagener 2013a). Auf der betrieblichen Ebene gelten Erkenntnisse z.B. zur Erhöhung der Flächenproduktivität oder der Wassernutzungseffizienz standortabhängig als gesichert (vgl. u.a. Dupraz et al. 2005, Bemmann & Knust 2010). Allerdings findet eine Umsetzung von Agroforstsystemen in der Praxis in Deutschland nicht nennenswert statt.

Vordringliche Aufgabe aktueller Forschungsarbeiten sollte daher die Frage sein, unter welchen Bedingungen und in welchem Maße diese gesellschaftlichen und betrieblichen Leistungen erzielt werden können. Aus Sicht der Betriebe geht es ferner darum, mögliche positive gesellschaftliche und betriebliche Synergieeffekte in Wert zu setzen. Um diese Entwicklung zu unterstützen, gilt es mehr Praxisbeispiele zu schaffen, damit standörtliche, räumliche und klimatische Unterschiede abgebildet und beforscht werden können. Zudem müssen verschiedene rechtliche Hemmnisse bzgl. der Baumartenauswahl (KN-Code), der Ernte im Uferbereich von Gewässern (Wasserhaushaltsgesetz) und beim Flächenantrag beseitigt werden.

Im Bundesverbundprojekt ELKE wird untersucht, inwiefern sich vielfältige, extensive Anbausysteme zur Erzeugung nachwachsender Rohstoffe als Kompensationsmaßnahmen eignen. Die Erschließung neuer Optionen für den Naturschutz wird also gegenüber dem Verlust landwirtschaftlicher Nutzfläche für den Betrieb mit einer Wertschöpfungskomponente verbunden (Wagener 2013b).

Material und Methoden

Im Zuge des Projektes wurden vier Modellstandorte (Allendorf, Hessen; Marpingen, Saarland; Freising/Scheyern, Bayern; Spelle, Niedersachsen) bundesweit mit über 100 Hektar Praxisflächen aufgebaut, die von 2010 bis 2012 einem umfassenden pflanzenbaulichen, ökonomischen und ökologischen Untersuchungsprogramm unterzogen wurden. An den Standorten Marpingen und Scheyern wurden zusammen mit anderen Anbausystemen vor allem die Agroforstflächen intensiv erforscht.

Während die pflanzenbaulichen Forschungsarbeiten auf die Auswahl, Erprobung und Optimierung der angebauten Kulturen abzielten, widmeten sich die Forschungsbereiche „Boden/Wasser/Klima“ und „Feldbiologie“ der funktionalen Bewertung der Anbausysteme auf Landschaftsebene anhand von Humus- und Nährstoffhaushalt, C-Sequestrierung und Bodenfunktionen, Flora/Vegetation, Arthropoden- und Vogelfauna. Abgerundet wurde die praktische Begleitung der Modellprojekte durch rechtliche Stellungnahmen, u.a. zur Ausgestaltung der Bundeskompensationsverordnung (BKompV, aktuell liegt der Kabinettsentwurf vor), und einer begleitenden Erarbeitung eines Zertifizierungssystems.

Ergebnisse und Diskussion

Die bisherigen Projektarbeiten zeigen zum aktuellen Stand der noch laufenden Auswertungen (Juni 2013) bereits, dass insbesondere Agroforstsysteme für die Umsetzung von Kompensationsmaßnahmen gute Möglichkeiten bieten. Am Beispiel der Agroforstflächen am Standort Scheyern (Bayern) konnte gezeigt werden, dass diese eine sehr gute Nährstoffnutzungseffizienz und Energiebilanz aufweisen (Lin H.-C. 2013 i.V.). Am Standort Marpingen wurde nachgewiesen, dass schon in den ersten Jahren der Etablierung schnellwachsender Baumarten eine Stabilisierung der Kohlenstoffvorräte im Boden stattfindet (Rehbein K. et al. 2013 i.V.).

Untersuchungen von Glemnitz et al. (2013) zeigen, dass Agroforstsysteme über eine hohe Dynamik und abgrenzbare Habitatqualitäten verfügen, die zu einer neuen, anderen Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften und höheren Artenzahlen als in den Referenzbiotopen (Acker, Grünland, Säume, Hecken, Waldränder und Wald) führen. Während sich die Vegetation von anfänglich hohen Anteilen an Ackerarten in Richtung zu Grünland oder Saumbiotopen entwickelt (Glemnitz et al. 2013), fanden Platen und Konrad (ebenda) heraus, dass sich die Zusammensetzung von Laufkäfer- und Spinnenzönosen analog zur Beschattung der über mehrere Jahre aufwachsenden Bäume zwischen Offenland- und Waldarten verschiebt. Krechel (ebenda) stellte fest, dass die Agrarholzstreifen in offenen Landschaftsausschnitten für Vogelarten, die auf strukturierte Habitate angewiesen sind, positive Effekte mit sich bringen und von diesen mitunter auch als Bruthabitat genutzt werden.

Die Ergebnisse aus den Untersuchungsprogrammen insgesamt belegen eindeutig die Potenziale von Agroforstsystemen mit Energieholzstreifen als Kompensationsmaßnahmen sowie für den Einsatz im Greening der GAP oder als Agrar-Umwelt-Maßnahmen. Für deren breite praktische Einführung bedarf es nunmehr der Schaffung weiterer sichtbarer Praxisbeispiele.

Literatur

Bemmann A., Knust C. (Hrsg., 2010): AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin.

Haber W. (1972): Grundzüge einer ökologischen Theorie der Landnutzungsplanung. In: Innere Kolonisation 24, Bonn, 294-298.

Dupraz C., Burgess P., Gavaland A., Graves A., Herzog F., Incoll L.D., Jackson N., Keesman K., Lawson G., Lecomte I., Liagre F., Mantzanas K., Mayus M., Moreno G., Palma J., Papanastasis V., Paris P., Pilbeam D.J., Reisner Y., Van Noordwijk M., Vincent G., Werf van der W. (2005): Silvoarable Agroforestry For Europe (SAFE) – SAFE Final Report, Synthesis of the SAFE project (August 2001 – January 2005).

Glemnitz M., Platen R., Krechel R., Konrad J., Wagener F. (2013): Can short-rotation coppice strips compensate structural deficts in agrarian landscapes? In: Aspects of Applied Biology 118, Environmental management on farmland, 153-161.

Wagener F. (2013a): Kultur für unsere Landschaften - Kombination von Biomasse und Gewässerschutz. In: AMZ 85 – Argumente und Materialien zum Zeitgeschehen: Energie aus Biomasse – Ethik und Praxis, Hanns-Seidel-Stiftung e.V. (Hrsg.), München, 29-38.

Wagener F. (2013b i.D.): Bioenergie als Chance nutzen – mehr Naturschutz durch dezentrale Landnutzungsstrategien entwickeln (Bundesverbundprojekt ELKE). In: Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege, Bd. 59 Jahrbuch zum 31. DNT 2012, Bundesverband Beruflicher Naturschutz e.V. (Hrsg.), Bonn.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 184–185 (2013)

Ertragsentwicklung während der Etablierung eines Agroforstsystems aus Grünland und Weiden zur Erzeugung biogener Festbrennstoffe

M. Ehret[1], L. Hartmann[2], R. Graß[1], N. Lamersdorf[2], M. Wachendorf[1]

[1]Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel, Witzenhausen;
[2]Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zonen, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
E-Mail: *m.ehret@uni-kassel.de; lhartma2@gwdg.de*

Einleitung

Die Bereitstellung biogener Energieträger durch Agroforstsysteme erzeugt aktuelles Interesse in der Land- und Forstwirtschaft, allerdings ist in Deutschland die Bereitschaft zur praktischen Umsetzung immer noch begrenzt. Eingehende Kenntnisse über Ertragsleistungen, Effizienz, ökologische und sozio-ökonomische Auswirkungen sind notwendig, um die Bereitschaft zur Umsetzung zu begünstigen. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundprojektes BEST „Bioenergie-Regionen stärken“ wurde im Jahr 2011 ein Agroforstsystem aus Weiden im Kurzumtrieb und Grünland angelegt, um dessen Potential zur energetischen Verwertung zu untersuchen. Der Beitrag liefert erste Ergebnisse des Projektes und diskutiert Aspekte der Bestandesetablierung, Sortenwahl und Pflege.

Material und Methoden

Das Agroforstsystem von 0,7 ha wurde im März 2011 auf einem Ackerstandort in Südniedersachsen (Pseudogley/Braunerde; mittlere Jahrestemperatur 9,2°C; Jahresniederschlag 642 mm) nach einer umgebrochenen Wintergerste etabliert. Vor der Anlage des Agroforstsystems wurde eine mehrmalige Bodenbearbeitung in Form von Grubbern und Eggen durchgeführt. Die Energieholzstreifen (Breite 7,5 m) wurden alternierend mit Grünlandstreifen (Breite 9 m) im Feldstreifenanbau („alley cropping“) angelegt. In den Energieholzstreifen wurde der Klon *Salix viminalis* ‘Tordis’ im Doppelreihenverband (0,75/1,5/0,75 m) mit einer Dichte von 12.000 Stecklingen pro ha angepflanzt, Herbizide und Dünger wurden nicht verabreicht. Im ersten und zweiten Standjahr wurde mehrmals eine mechanische Beikrautregulierung durchgeführt. Zur Ermittlung der jährlichen holzigen Biomasseproduktion wurden 2011 und 2012 die Parameter Anwuchsrate, Höhe, Brusthöhen- und Wurzelhalsdurchmesser sowie die Anzahl der Seitentriebe erfasst. Zusätzlich wurde eine Teilernte im Winter 2013 durchgeführt, um eine allometrische Funktion zur Bestimmung der Trockenmasseerträge pro Hektar aufzustellen (Röhle und Skibbe 2012). In den Grünlandstreifen wurden eine Weißkleegras- und eine diversitätsorientierte Mischung mit 32 Arten als Großteilstücke im Rahmen einer Split-Plot Anlage mit drei Wiederholungen angesät. Die Kleinteilstücke umfassen zwei Düngungs- (0 und 100 kg N ha^{-1}) und Nutzungsstufen (2- und 3-Schnittnutzung). Ertragsdaten wurden 2011 und 2012 entlang eines Gradienten im Grünland erhoben. Es wurden drei verschiedene Konversionstechniken für Grünlandbiomasse geprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigten, dass die erfolgreiche Etablierung eines Agroforstsystems nur dann ohne Einsatz von Herbiziden möglich ist, wenn eine sorgfältige Saatbettvorbereitung und termingerechte, mechanische Beikrautregulierung durchgeführt wird. Auch die Wahl der Vorkulturen kann einen Einfluss auf die Etablierung haben (Spangenberg und Hein 2012). Basierend auf Ergebnissen des PROLOC-Projektes (Amthauer et al. 2009) erfolgte eine standortspezifische Sortenwahl (Weidenklons 'Tordis'; Anwuchserfolg 95%). Der Doppelreihenverband innerhalb der Energieholzstreifen erscheint aufgrund der intensiven Pflegemaßnahmen während der Etablierungsphase nicht geeignet. Auf der Versuchsfläche trat verstärkt Nagetierbefall auf, weshalb bei der Anlage von Agroforstsystemen von Beginn an auf die Anlockung von Predatoren zu achten ist (z.B. Sitzstangen für Greifvögel, Mauswieselnistkästen). Abb. 1 vergleicht die Ertragsentwicklung der Anbausysteme Grünland (GL) und Kurzumtriebsplantage (KUP) mit dem Agroforstsystem aus Grünland und Weiden (AF), wie sie für den Zeitraum der initialen Rotationsperiode erfasst (Jahr 1 und 2) bzw. berechnet (Jahr 3 und 4) wurden.

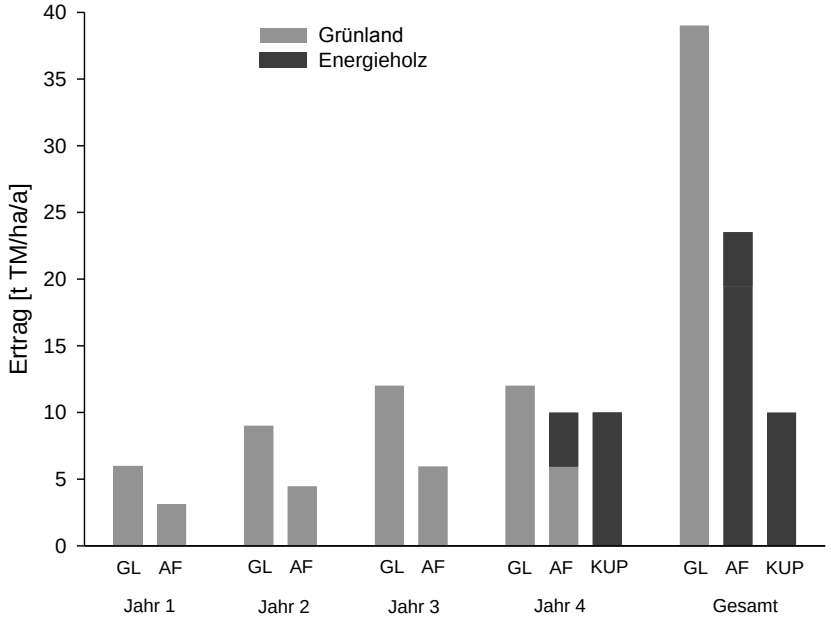


Abb. 1 Trockenmasseerträge eines Agroforstsystems aus Grünland (Mittel aller Varianten) und Weiden während der Etablierungsphase einer Rotationsperiode am Standort Reiffenhausen

Literatur

Amthauer Gallardo D., Hofmann M., Siebert C., Wachendorf M. (2009): Verbundvorhaben ProLoc - Erste Ergebnisse zu Überlebensraten im Anwuchsjahr. In: Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Bd.21, 21-22.

Röhle H, Skibbe K. (2012) Ertragsschätzung in Kurzumtriebsplantagen aus Pappel und Weide. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (ed) Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung, Göttingen, 105–116.

Spangenberg G und Hein Sebastian (2011): Kurzumtriebsplantagen: Herbizidfreie Begründung von Kurzumtriebsflächen. In: Der Wald - Allgemeine Forst Zeitschrift für Wald und Forstwirtschaft. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Ausgabe 10, 18-20.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 186–187 (2013)

Hutwaldbeweidung mit Schweinen

Hans Huss[1] und Bernd Stimm[2]

[1] Eichelschwein GmbH, Freising; [2] Lehrstuhl für Waldbau, TU München, Freising.
E-Mail: *info@eichelschwein.de*

Einleitung

Bis vor ca. 200 Jahren wurden Wälder als Weide für Hausschweine intensiv genutzt. Sie bieten ein großes Angebot an energiereichem Futter wie Eicheln und Bucheckern. Durch diese Waldnutzung entstanden eigene Waldformen und damit neue Ökosysteme – der Hute- und der Mittelwald. Die Einführung intensiver Mastverfahren in Stallhaltung verdrängte sowohl alte Schweinerassen als auch diese traditionelle Haltungsform. In diesem Projekt wurden alte Schweinerassen zur Produktion von hochwertigem Schweinefleisch in Eichenwäldern eingesetzt. Das Vorhaben dient der Entwicklung und Erprobung von geeigneten agro-forstlichen bzw. silvopastoralen Nutztier-Haltungssystemen und von speziellen Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Erhaltung genetischer Ressourcen.

Material und Methoden

Auf einer rund 18 ha großen Waldfläche wurden erstmalig seit Verschwinden der Waldweide in Deutschland wieder Hausschweine in einen Eichenwald eingetrieben. Dabei wurden alte, gefährdete Rassen wie das Schwäbisch-Hällische Landschwein eingesetzt. Zusätzlich wird der Einfluss der Waldweide auf die Verjüngung der Eichen und die Fauna untersucht.

Abbildung 7: ***Eichelmastschwein, Foto: Hans-H. Huss***

Ergebnisse und Diskussion

Erste Ergebnisse dieses Pilotprojektes zeigen, dass eine Weidehaltung mit alten Schweinerassen möglich und wirtschaftlich ist. Durch die Mast der Schweine mit Eicheln entsteht ein qualitativ hochwertiger Schinken mit spezieller Geschmacksnote, der sich gut vermarkten lässt. Als positiver Nebeneffekt dieser Nischennutzung erweist sich der damit verbundene Erhalt der vom Aussterben bedrohten Haustierrassen und der selten gewordenen Waldformationen, wie Mittel- und Hutewälder. Zusätzlich hat die Wühltätigkeit der Schweine und dadurch das Entstehen von Rohbodenstandorten Effekte auf die Verjüngung der Wälder und das Tierartenspektrum (Insekten, Spinnen, Amphibien).

Die Schweinemast im Wald bringt demnach nicht nur ein ganz hervorragendes Lebensmittel-Produkt hervor, sondern leistet auch einen Beitrag zur Sicherung der biologischen Vielfalt.

Literatur

Hofmann, S.; Ludwig, M.; Huss, H.-H.; Stimm, B.; Mosandl, R. (2009): Prognose der Eichenmast aus der Luft. AFZ – Der Wald, H. 18, 972-973.

Huss, H.-H.; Stimm, B.; Mosandl, R., 2011: Mit Eicheln gemästete Schweine schmecken besonders gut. In: BLE (Hrsg.), 2011: Tagungsband Infotage Biologische Vielfalt 2010, S. 47-60.

Huss, H.-H., 2006: Die besten Schinken wachsen unter Eichen. In: LWF aktuell 55/2006, S. 20-21

Huss, H.-H. 2009: Die Wiederbelebung der artgerechten Haltung von Schweinen im Wald. In: ProVieh-Magazin 4/2009, S. 20-2

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 188–189 (2013)

Einflüsse auf Ertrag und Erntequalität von Ackerfrüchten in Agroforstsystemen

Jung, L.S., Bärwolff, M., Schmidt, C. und Vetter, A.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena bzw. Dornburg-Camburg.
E-Mail: *linda.jung@tll.thueringen.de*

Einleitung

Agroforstsysteme (AFS) sind durch den gleichzeitigen Anbau von Gehölzen und einjährigen Kulturen auf einer Fläche gekennzeichnet. Eine moderne Spezialform stellt der streifenförmige Anbau schnellwüchsiger Bäume wie Pappeln oder Weiden im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Ackerflächen dar. Wie von Hecken bekannt, wirken Gehölzstreifen als Windschutz und können durch ein kühleres und feuchteres Mikroklima die Wirkung extremer Wetterlagen wie Hitze oder Trockenheit auf die Ackerkultur ausgleichen. Als Resultat werden stabilere und höhere Ernteerträge und –qualitäten erwartet. Andererseits sind negative Effekte möglich, da ein feuchteres Mikroklima Pilzkrankheiten begünstigen kann, und die Gehölze Konkurrenten um Nährstoffe und Wasser darstellen. Eine Untersuchung dieser Fragestellungen erfolgt im Rahmen des Verbundprojekts AgroForstEnergie.

Material und Methoden

Die Untersuchungsfläche befindet sich in Dornburg, Thüringen. Anfang 2007 wurde auf einem 50 ha Schlag ein Agroforstsystem mit sieben Pappelstreifen (A-F) in unterschiedlichen Abständen zueinander und zwei verschiedenen Pflanzdichten und Umtriebszeiten angelegt (für Details, s. Artikel „Einflüsse auf die Erntequalität von Ackerfrüchten in Agroforstsystemen“, Abb. 1 in diesem Tagungsband). Die Streifen A-C wurden Anfang 2011 erstmalig beerntet. Die Probenahme des Ernteguts zur Analyse der Qualitätsparameter, sowie die Erfassung von Pilzkrankheiten erfolgten in einem quer zu den Gehölzstreifen liegenden Transekt. Details hierzu im o.g. Artikel und Abb. 1 darin. Des Weiteren wurden zur Charakterisierung der Ackerkultur Daten zur Bestandesdichte (Anzahl ährentragender Halme je laufendem m) erhoben. Die Ertragserfassung fand bei der Ernte mittels GPS ausgestatteter Mähdrescher statt. Aus diesen Daten wurden im Programm ArcGIS 9.2 Ertragskarten für den Schlag erstellt.

Ergebnisse und Diskussion

Ein Einfluss der Gehölzstreifen auf die Ackerkultur wurde für Pilzkrankheiten in Sommergerste nachgewiesen, sowie für einige Qualitätsparameter des Ernteguts, s. dazu o.g. Artikel. Auch für die Bestandesdichte wurde ein Zusammenhang mit dem Abstand zum Gehölzstreifen deutlich, allerdings erst ab 2012 (Abb. 1; 2011 wurde keine Bestandesdichte erfasst): In Gehölzstreifennähe waren die Bestände lückiger, v.a. auf der windabgewandten Seite (für Hauptwindrichtung West), wurden jedoch mit steigender Entfernung vom Gehölzstreifen dichter. Die Reduktion der Bestandesdichte war bei den bisher unbeernteten und Ende 2012 ca. 8 m hohen Pappelstreifen D-F stärker ausgeprägt als bei den 2011 beernteten Streifen A-C mit einer Höhe von etwa 5 m (Abb. 1). Ein ähnliches Bild zeigte sich für Winterraps 2012/13.

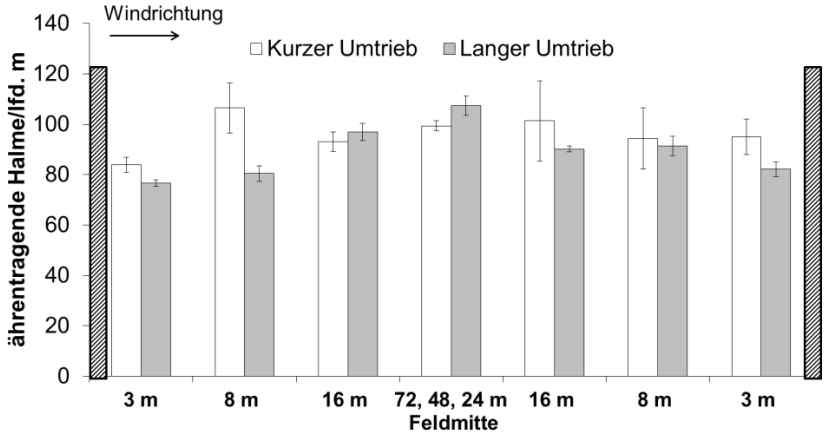


Abb. 1: Bestandesdichte bei Sommergerste 2012 in Abhängigkeit vom Abstand zum Gehölzstreifen und der Umtriebszeit im Agroforstsystem Dornburg. Schwarze schraffierte Balken = Gehölzstreifen.

Bis einschließlich 2009 war keinerlei Einfluss der Gehölzstreifen auf die räumliche Ertragsverteilung der Ackerkultur erkennbar (Abb. 2). Ein diesbezügliches Muster trat erstmalig im Winterweizen 2010 auf, welches für Sommergerste 2011 verstärkt hervortrat (Abb. 2). Charakteristisch waren niedrigere Erträge im Nahbereich der Gehölzstreifen sowie höhere Erträge im Bereich zwischen den Streifen. Dieser Effekt trat besonders deutlich in der westlichen Schlaghälfte auf, obwohl die drei westlichen Gehölzstreifen dort (Streifen A-C) Anfang 2011 beerntet wurden und Ende 2011 mit ca. 3,2 m Höhe deutlich niedriger waren, als die vier östlich davon liegenden Gehölzstreifen mit 6,6 m Höhe. Hierfür sind vermutlich die stark heterogenen Bodenverhältnisse des Schlages verantwortlich, die sich in der ausgeprägten räumlichen Variabilität der Ertragshöhe widerspiegeln.

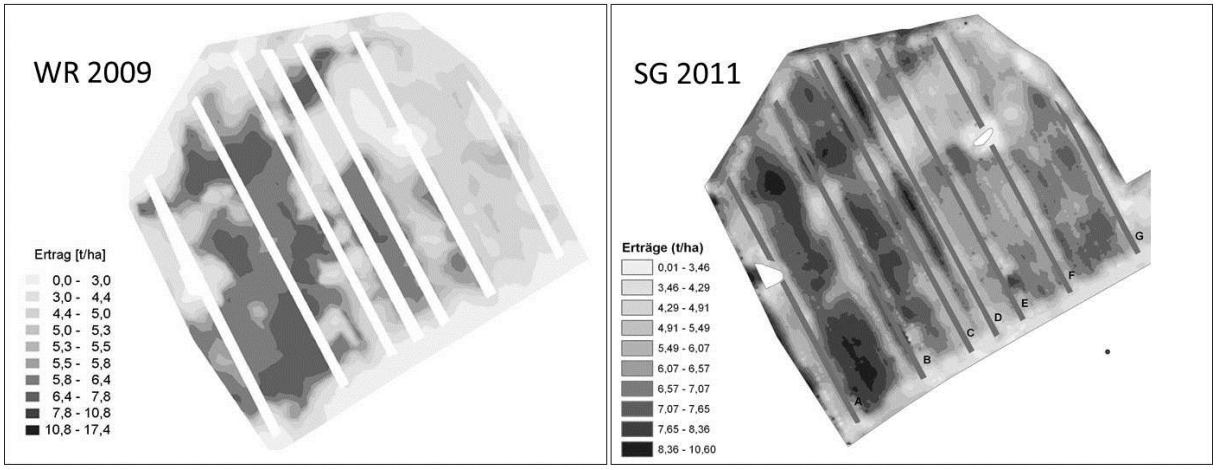


Abb. 2: Ertragsverteilung von Winterraps (WR) und Sommergerste (SG) im AFS Dornburg. Je dunkler der Bereich, desto höher der Ertrag. Grafiken: C. Schmidt.

Bisherige Ergebnisse zeigen dass die Gehölzstreifen die Erträge z.T. negativ (Randbereich) als auch positiv (Zwischenbereich) beeinflussen. Auswirkungen auf die Qualitätsparameter liegen bisher nur in geringem Maße vor. Weitere Untersuchungen in dem noch sehr jungen AFS sind nötig, um positive und negative Einflüsse zu bilanzieren und den Nettonutzen des AFS abzuschätzen.

SRC-alley cropping: An integrative measure to sustain biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes?

Daniel Masur[1], Felix Hirschberg[1], Justine Lamerre[2], Jens Dauber[1]

[1] Thünen-Institut für Biodiversität, Braunschweig; [2]Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig. E-Mail: *justine.lamerre@jki.bund.de*

Einleitung

Agroforestry systems are currently discussed with respect to their potential as integrative biodiversity conservation measure in agriculture (Jose et al. 2012; Tsonkova et al. 2012). An open question is whether agroforestry, as a cultivated habitat, should be eligible as ecological focus area within the greening of the EU common agricultural policy. One type of agroforestry in Europe is alley cropping for the combined production of food and energy with strips of short rotation coppice (SRC; mainly of fast growing poplar; FNR 2012). So far little is known about the importance of those systems for the effective support of biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes (Jose et al. 2004).

Material und Methoden

To increase our understanding of the functionality of SRC-alley cropping, we have examined the spatio-temporal exchange of ground dwelling arthropods between strips of SRC-poplar and strips of food crops in autumn and spring (2012/13) using directional pitfall-traps. In addition, we have compared the arthropod communities overwintering in soils of the alley cropping system to those of seminatural habitats (e.g. hedgerows, grassy fieldbanks) and conventional agricultural fields by taking soil samples in winter 2012. Collected specimens were sorted to relevant functional groups. For soil samples biomass of individuals was measured.

Ergebnisse und Diskussion

Ground dwelling arthropods showed a clear movement from food crop strips towards SRC-poplar strips in late autumn and early winter, indicating an exchange so far known for seminatural habitats. The abundance of arthropods in the soil of hedgerows and SRC-poplar strips were at comparable levels. Abundance of arthropods overwintering in crop fields integrated in the agroforestry system was significantly higher than on control fields. This indicates that SRC-alley cropping provides suitable hibernation-sites for arthropods. A comparison of the functional composition of the arthropod community will have to show whether SRC-alley cropping rather supports agents delivering ecosystem servies than those delivering dis-services.

Literatur

FNR (Hrsg.; 2012) Energieholz aus der Landwirtschaft. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prüzen: 56 S.

Jose S (2012) Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. Agroforestry Systems 85: 1-8.

Jose S, Gillespie AR, Pallardy SG (2004) Interspecific interactions in temperate agroforestry. Agroforestry Systems 61: 237–255.

Tsonkova P, Böhm C, Quinkenstein A, Freese D (2012) Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: a review. Agroforestry Systems 85: 133-152.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 191–192 (2013)

Einfluss von Leguminosen in Maisfruchtfolgen auf die Sickerwassermenge und den Nitrataustrag anhand von Lysimeteruntersuchungen

Nadine Tauchnitz[1], Joachim Bischoff[1], Matthias Schrödter[1], Holger Rupp[2] und Ralph Meissner[2]

[1] Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg; [2]Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH-UFZ, Falkenberg. E-Mail: *joachim.bischoff@llfg.mlu.sachsen-anhalt.de*

Einleitung

Zur umweltverträglichen Gestaltung des Maisanbaus mit dem Ziel der Verbesserung von Bodenstruktur, Nährstoffeffizienz sowie Erosionsschutz werden legume Zwischenfrüchte (ZF) in die Fruchtfolgen integriert. Neben den positiven Effekten besteht beim Leguminosenanbau aufgrund der symbiontischen N_2-Fixierung aus der Luft ein schwer kalkulierbares Nitrataustragsrisiko. Zudem kann der zusätzliche Wasserverbrauch zu einem Wassermangel bei den folgenden Hauptfrüchten führen. Ziel des Projektes ist die Untersuchung des Einflusses von legumen ZF auf die Sickerwassermenge und den Nitrataustrag in Lysimetern.

Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurden nicht wägbare Gravitationslysimeter (Oberfläche: 1 m², Tiefe: 1,25 m) der Lysimeterstation Falkenberg (Landkreis Stendal, Altmark) des UFZ genutzt. Folgende Bewirtschaftungsvarianten wurden untersucht: Schwarzbrache (SB), mehrjähriges Luzernegras (LG), abfrierende Zwischenfrüchte ($ZF_{abfr.}$) und umgebrochene ZF ($ZF_{Umbr.}$) sowie konventionelle Bewirtschaftung ohne ZF (Konv.). Das Sickerwasser wurde über ein Dränrohr abgeleitet und in Kanistern gesammelt. Die Sickerwassermengen wurden in monatlichen Abständen manuell ermittelt. Die Nitrat(NO_3^-)-Konzentrationen der Sickerwasser-Sammelproben wurden ebenfalls monatlich bestimmt (ionenchromatographisch DIN EN ISO 10304-1). Zudem wurden die Erträge (FM, TM) sowie die N-Entzüge des Pflanzenbewuchses der einzelnen Lysimeter erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Die im Untersuchungszeitraum (2009 bis 2012) erfassten Sickerwasser(SW)-Mengen und NO_3^--Austräge sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

Die mittleren Sickerwassermengen nahmen in der Reihenfolge LG< $ZF_{Umbr.}$ < Konv.< $ZF_{abfr.}$< SB zu. In den Varianten SB und Konv. wurden die höchsten NO_3^--Konzentrationen von im Mittel 312 und 308 mg/l ermittelt (Tab. 1), die im Vergleich zu anderen Lysimeteruntersuchungen im mitteldeutschen Raum (z. B. Haferkorn, 2011; Heyn, 2011; Knoblauch, 2011) als sehr hoch einzuschätzen sind. Demgegenüber zeigte die Variante LG mit durchschnittlich 62 mg/l die niedrigsten mittleren NO_3^--Gehalte als auch die niedrigsten NO_3-N-Frachten (16 kg/ha*a) von allen Varianten.

Tab. 1: Mittlere Sickerwasser(SW)-Mengen, NO_3^--Konzentrationen, NO_3-N-Frachten im SW und N-Salden

Varianten	SW (mm/a)	NO_3^- (mg/l)	NO_3-N-Fracht (kg/ha*a)	N-Saldo (kg/ha*a)
SB	322	312	264	-
LG	131	62	16	-60
$ZF_{abfr.}$	175	158	70	-15
$ZF_{Umbr.}$	163	163	69	-68
Konv.	173	308	117	+39

Bei den Varianten $ZF_{abfr.}$ und $ZF_{Umbr.}$ konnten keine signifikanten Unterschiede der NO_3^--Konzentrationen im SW als auch der NO_3-N-Austräge und damit kein Effekt der Bodenbearbeitung nachgewiesen werden.

Fazit

Bisherige Untersuchungsergebnisse zeigen, dass der Anbau von Leguminosen in Haupt- und ZF-Stellung in Maisfruchtfolgen nicht zu erhöhten Nitrat (NO_3^-)-Austrägen im Sickerwasser führte. Um den Einfluss legumer Zwischenfrüchte auf die Wasserverfügbarkeit für die folgenden Hauptfrüchte einschätzen zu können, ist eine Fortsetzung der Untersuchungen erforderlich.

Literatur

Haferkorn, U., 2011: Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung (Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis). VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 67, 323-330, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Heyn, J., 2011: Bewirtschaftungsmodelle im Vergleich- Ergebnisse aus 15 Versuchsjahren in der Lysimeteranlage Kassel-Teilaspekte: Produktivität, Wasser- und Sticksoff-Haushalt. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 67, 331-339, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Knoblauch, S., 2011: Langzeituntersuchungen zur N-Auswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Böden im Thüringer Becken unter der Bedingung empfehlungskonformer und praxisüblicher Bewirtschaftung. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 67, 306-314, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 193–194 (2013)

Vergleich verschiedener Wuchstypen von Sommererbsen unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus

Urbatzka, P.[1], Salzeder, G.[2], Rehm, A.[1]

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, Lange Point 12, 85354 Freising. E-Mail: *peer.urbatzka@lfl.bayern.de*
[2] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 8, 85354 Freising

Einleitung

Im ökologischen Landbau ist der Anbau von semi-leafless Sommerkörnererbsen (*Pisum sativum* L.) in Reinsaat wegen eines geringen Potenzials zur Beikrautunterdrückung und spezifischer Pilzkrankheiten problematisch. Daher werden in der Praxis des ökologischen Landbaus neben dem Gemengeanbau mit Getreide, alternativ vermehrt Grünfuttererbsen zur Körnernutzung angebaut (Urbatzka 2012). Aus diesem Grund wurden verschiedene Wuchstypen von Sommererbsen auf ihre Anbaueignung für den ökologischen Landbau geprüft.

Material und Methoden

Die Feldversuche wurden 2010 in Hohenkammer (Braunerde, sL, 54 Bodenpunkte) sowie 2011 und 2012 in Viehhausen (Braunerde, sL, 68 bzw. 65 Bodenpunkte) angelegt. Beide Standorte befinden sich im Landkreis Freising in Oberbayern. Als Körnererbsen wurden die Sorten Alvesta (nur 2010 + 2012) und Respect, als Grünfuttererbsen Arvika, Livioletta (nur 2010) bzw. Florida (nur 2012) je in Reinsaat verglichen. Arvika und Livioletta sind buntblühend, Florida ist ebenso wie die Körnertypen weißblühend. Die Saatstärke betrug 80 kf. Körner m^{-2}.
Die Massenbildung in der Jugendentwicklung, die Lagerneigung, auftretende Krankheiten, die Pflanzenlänge und die TKM wurden nach den Richtlinien des Bundessortenamtes (2000) bonitiert, der Beikrautbesatz visuell erhoben. Vorfrucht war ein Sommergetreide bzw. Mais, als Vorvorfrucht wurde ein Wintergetreide angebaut. Die Beikrautregulierung erfolgte ein- bis zweimal mit einem Striegel im BBCH 11 bis 14. Gedroschen wurde auf einer Fläche von 21 m² mit einem Parzellenmähdrescher von Wintersteiger. Versuchsanlage war eine Blockanlage (N = 4). Die statistische Auswertung erfolgte mit SAS 9.2.

Ergebnisse und Diskussion

Die Körnererbsen erzielten in allen drei Jahren einen signifikant höheren Ertrag als die Grünfuttererbsen (Abb. 1). Bei Respect lag der Ertrag im Durchschnitt der drei Jahre um 48 % höher als bei Arvika. Urbatzka et al. (2010) berichteten dagegen beim Vergleich einer Körnererbse und eines Grünfuttertyps von einem vergleichbaren Kornertrag aufgrund einer hohen Verunkrautung. In allen Jahren war die mechanische Beikrautregulierung in den LfL-Versuchen erfolgreich. Lediglich in 2012 konnten auf einem geringen Gesamtniveau zwischen den Erbsen Unterschiede bonitiert werden: bei Arvika wurde wahrscheinlich aufgrund einer signifikant größeren Pflanzenlänge und einer größeren Massenbildung in der Jugendentwicklung ein geringerer Beikrautbesatz v.a. mit Kamille im Vergleich zu Respect festgestellt (Tab. 1).
Andererseits wurde bei Respect aufgrund der geringeren Pflanzenlänge eine deutlich bessere Standfestigkeit nach der Blüte und vor der Ernte bestimmt (Tab. 1). Der Rohproteingehalt fiel wiederum bei Arvika signifikant höher als bei Respect aus (Tab.

1). Der Drusch bei Arvika verzögerte sich im Vergleich zu Respect im Durchschnitt um neun Tage (Daten nicht dargestellt). An Krankheiten trat in 2011 und 2012 Botrytis cinerea auf: der höchste Befall war in beiden Jahren bei der Sorte Respect festzustellen (Tab. 1). Die anderen drei Sorten mit verschiedenen Blütenfarben wiesen dagegen in 2012 mit der Note „eins“ ein gleiches Befallsniveau auf.
Aus der Untersuchung ist zu folgern, dass Grünfuttererbsen als Sommerung in Reinsaat bei erfolgreicher Beikrautregulierung keine Alternative zu Sommerkörnererbsen im ökologischen Landbau darstellen.

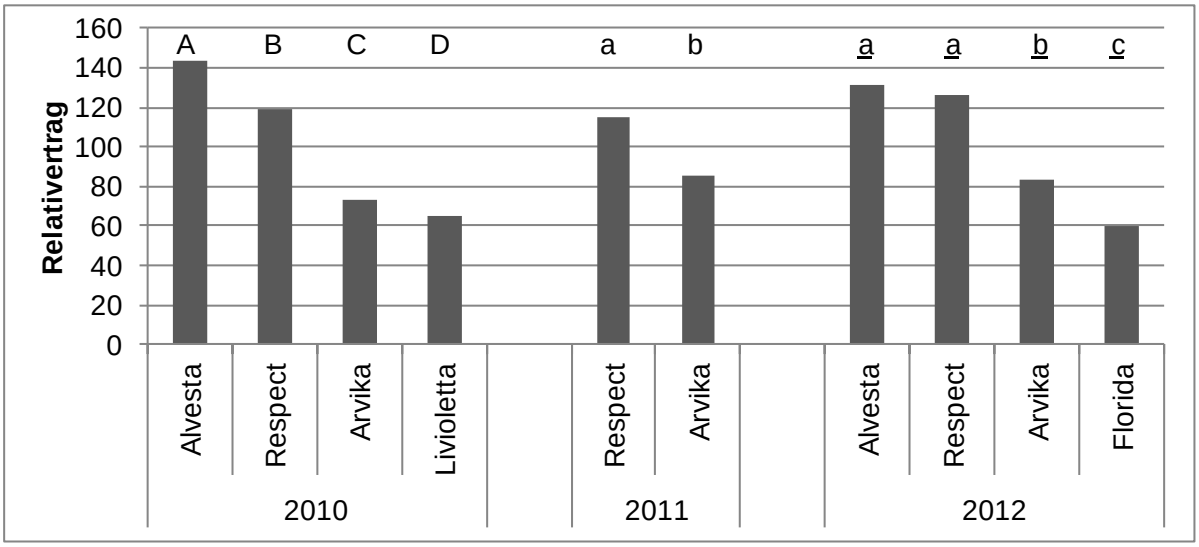


Abb. 1: Kornertrag in Abhängigkeit der Sorte; verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, SNK-Test); Hohenkammer (2010) bzw. Viehhausen (2011, 2012); 100 % entsprechen 39,1, 40,3 bzw. 38,5 dt/ha (86 % TS) in 2010, 2011 bzw. 2012

Tab. 1: Bonituren, Pflanzenlänge, TKM und RP-Gehalt in Abhängigkeit der Sorte

	Massen bildung [1,2]	**Lager nach Blüte [1,3]**	**Lager vor Ernte [1]**	**Botrytis cinerea [1,4]**	**Beikraut-besatz vor Ernte [1,5]**	**Pflanzen-länge vor Ernte (cm)**	**TKM (g)**	**RP-Gehalt (% TM)**
Respect	6,8	1,9	4,2	3,4	3,0	127 a	234 a	21,7 a
Arvika	8,3	6,9	8,2	1,0	1,0	228 b	136 b	24,7 b

Mittel der Jahre 2010 bis 2012, [1] Noten von 1-9, wobei 1 = geringe Ausprägung, [2] BBCH 51, [3] ohne 2012, [4] ohne 2010, BBCH 79, [5] nur 2012; verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p < 0,05$, Tukey-Test)

Literatur

Bundessortenamt (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Landbuch Verlag, Hannover.

Urbatzka P., Haase, T., Graß, R., Schüler, C., Heß, J. (2010): Zur Eignung verschiedener Sommererbsengenotypen in Rein- und Gemengesaat mit Getreide für den Ökologischen Landbau. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 22, 181-182.

Urbatzka, P. (2012): Anbau verschiedener Winter- und Sommererbsentypen in Rein- und Gemengesaat unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus. Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein, Fachtagung Biologischer Ackerbau, 1-10, ISBN: 978-3-902559-82-1.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 195–196 (2013)

Analyse der Artanteile in Wurzelproben aus Erbsen-Hafer-Gemengen in zwei Jahren mit sehr unterschiedlicher Witterung

Kerttu Valtanen, Nicole Legner, Catharina Meinen und Rolf Rauber

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Göttingen; Mail: *kerttu.valtanen*@agr.uni-goettingen.*de*

Einleitung

Abhängig von Aussaatstärke und Anbaumuster werden in Erbsen-Hafer-Gemengen häufig höhere oberirdische Biomassen und Kornerträge als in den Reinsaaten nachgewiesen. Ein Grund für die höheren Erträge bei Erbsen und Hafer in Gemengen ist die komplementäre Ressourcennutzung. Bisher sind die in Gemengen ablaufenden unterirdischen Prozesse weitgehend unbekannt. Eine Schwierigkeit bei der Untersuchung von Wurzeln ist die Trennung der Wurzeln nach Arten. Die FTIR-Spektroskopie bietet eine Möglichkeit, Artanteile in Wurzelproben aus Gemengen zu bestimmen.

Material und Methoden

Im Jahr 2002 mit kühl-feuchter Witterung und im trocken-warmen Jahr 2003 wurde ein Feldversuch mit Erbsen und Hafer in Reinsaaten und in vielen, sehr unterschiedlich gestalteten additiven und substitutiven Gemengen angebaut (Neumann et al. 2007, Neumann et al. 2009). Die Wurzelproben wurden zwischen Blüte und Reife auf den Saatreihen bis 50 cm Tiefe entnommen, bei 60° C getrocknet und gemahlen.

Die Artanteile in Wurzelproben aus den Erbse-Hafer-Gemengen wurden mit Hilfe der Fourier-Transform-Infrarot (FTIR) Spektroskopie gemessen. Auf der Basis von Wurzelmischungen aus den beiden Reinsaaten wurden mit der Software OPUS (Version 7.0, Bruker Optik GmbH, Billerica Mass., USA) Modelle erstellt und validiert. Dafür wurden aus den Wurzelproben der Reinsaaten eine Kalibrierungs- und Validierungsreihe mit bekannten Artanteilen in 5 % Schritten (5 % Erbse und 95 % Hafer, 10 % Erbse und 90 % Hafer, usw.) erstellt.

Die besten drei kreuzvalidierten Modelle (Modell 2, 3, und 4) waren sich in der Modellqualität sehr ähnlich. Alle Modelle hatten ein hohes Bestimmtheitsmaß (R^2) von > 0,96 %. Die Kreuzvalidierungswerte (RMSECV) bewegten sich zwischen 5,23 und 5,82. Zur Vorhersage der Artanteile in den Wurzelproben der Gemenge wurde das Modell mit der höchsten Qualität ausgewählt (Abb. 1).

Ergebnisse und Diskussion

Das Modell 4 zeigte den geringsten Kreuzvalidierungswert (RMSECV) von 5,23 und das höchste Bestimmtheitsmaß (R^2) von 96,99 (Tab. 1). Die externe Validierung wies einen relativ geringen mittleren Vorhersagefehler (8,98) und mit r = 0,82 einen hohen Korrelationskoeffizienten auf.

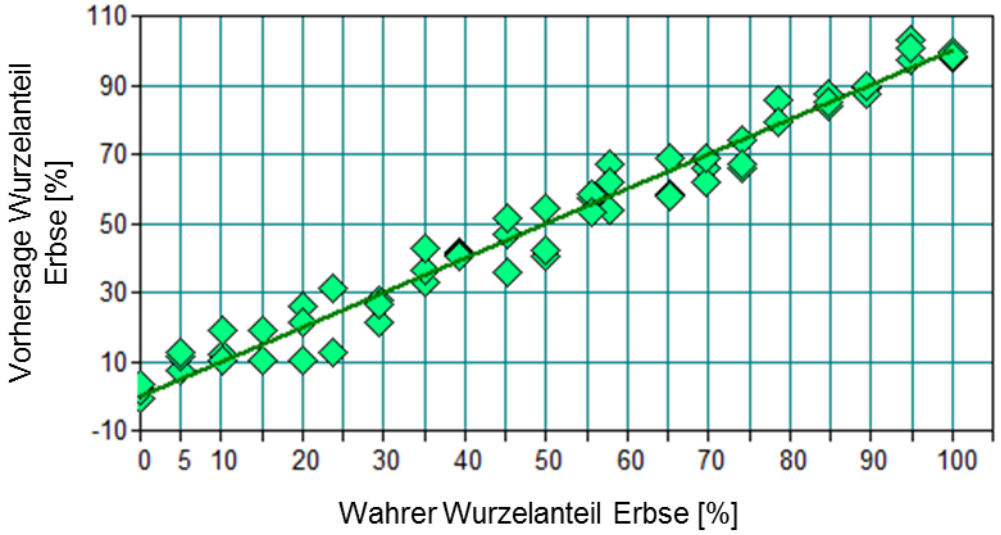


Abb. 1: Die Kreuzvalidierung von Artenanteilen der Erbse mit Modell 4

Das Modell 4 wurde zur Berechnung von Wurzelproben aus Erbsen-Hafer Gemengen mit unbekannten Artenanteilen ausgewählt. Mit Hilfe dieses Modells werden die Wurzelanteile mit dem oberirdischen Sprossertrag bei der Reife verglichen. Weiterhin wird der Einfluss der Witterung auf das Verhältnis Erbsen/Hafer im Wurzelraum in den sehr unterschiedlichen Jahren 2002 und 2003 untersucht.

Tab. 1: Kalibrierungs-, Validierungs- und externe Validierungs-Parameter des FTIR-Modells 4 für Erbse und Hafer

Kalibrierung			Validierung				externe Validierung			
n	R^2	RMSEE	R^2	RMSECV	Bias	RPD	r	RMSEP	RPD	Bias
21	98,8	3,51	97,0	5,23	± 0,25	5,77	0,82	8,98	3,38	± 2,76

R^2: Bestimmtheitsmaß. RMSEE: die Wurzel des mittleren Fehlerquadrats der Vorhersage. RMSECV: die Wurzel des mittleren Fehlerquadrats der Kreuzvalidierung. RPD: das Verhältnis von Standard-abweichung zu Standardfehler. r: Korrelationskoeffizient. RMSEP: der mittlere Vorhersagefehler. Die benutzten Parameter für Spektren (n=63): min-max Normierung und für die Modell berücksichtigte Wellenzahl-Bereiche 3997-3272 cm^{-1} und 1821-374 cm^{-1}

Literatur

Neumann, A., K. Schmidtke & R. Rauber, 2007: Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. Field Crops Research 100, 285–293.

Neumann, A., J. Werner & R. Rauber, 2009: Evaluation of yield-density relationships and optimization of intercrop compositions of field-grown pea-oat intercrops using the replacement series and the response surface design. Field Crops Research 114: 286-294.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 197–198 (2013)

Ermittlung des ober- und unterirdischen Biomasseertrages verschiedener Wuchstypen von Erbsen in einem Gefäßversuch

Bauer, A.[1], Ebertseder, T.[1], Jacob, I.[2], Urbatzka, P.[2]

[1] Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Am Hofgarten 4, 85354 Freising.
E-Mail: *andreas1.bauer@student.hswt.de*
[2] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, Lange Point 12, 85354 Freising. E-Mail: *peer.urbatzka@lfl.bayern.de*

Einleitung

Der Anbau von Körnererbsen ist vor allem im ökologischen Landbau von großer Bedeutung. Während normalblättrige Grünnutzungstypen konventionell im Zwischenfruchtanbau eingesetzt werden, finden sie ökologisch auch als Körnererbsen Verwendung (Urbatzka 2012). Hintergrund hierfür ist sowohl die geringere Konkurrenzkraft der halbblattlosen Wuchstypen gegenüber Beikräutern als auch das Auftreten spezifischer Pilzkrankheiten aufgrund eines häufig erhöhten Anteils von Leguminosen in der Fruchtfolge. Ziel des Versuches war es, verschiedene Wuchstypen von Erbsen hinsichtlich ihrer ober- und unterirdischen Biomasse zu vergleichen.

Material und Methoden

Insgesamt wurden sechs Erbsensorten (*Pisum sativum* L.) auf ihren Biomasseertrag untersucht. Als Körnererbsen wurden Alvesta und Respect (beide halbblattlos) sowie die normalblättrige Sorte Protecta geprüft. Arvika, Livioletta und die Wintererbse Assas wurden als Vertreter der normalblättrigen Grünnutzungstypen untersucht. Als Substrat diente eine Mischung aus Anzuchterde und Quarzsand. Es wurden sechs Samen jeder Sorte pro Gefäß (3 l) in fünf Wiederholungen als einfaktorielle Blockanlage ausgesät. Im Gewächshaus herrschte eine Durchschnittstemperatur von 15 °C. Die Bewässerung der Gefäße erfolgte nach Bedarf. 47 Tage nach der Aussaat wurden die Pflanzen im BBCH 39 geerntet und die Trockenmasse nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz bestimmt. Nach Auswaschen des Wurzelmaterials konnte die Bestimmung der Wurzeltrockenmasse analog erfolgen. Ferner wurde der Quotient aus oberirdischer und unterirdischer Biomasse berechnet. Die Varianzanalyse und der Tukey-Test wurden mit dem Programm Minitab (Version 16) durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Zwischen den normalblättrigen und den halbblattlosen Sorten konnten signifikante Unterschiede hinsichtlich der ober- und unterirdischen Biomasse festgestellt werden. Erwartungsgemäß wiesen alle Grünfuttertypen aber auch die normalblättrige Körnererbse Protecta einen höheren ober- und unterirdischen Biomasseertrag als die beiden halbblattlosen Erbsen auf (Abb.1). Eine größere Pflanzenlänge von Protecta wurde auch in den Landessortenversuchen ökologischer Landbau im Vergleich zu Respect und Alvesta festgestellt (Urbatzka et al. 2013). Für Protecta wurde ferner ein vergleichbarer ober- und unterirdischer Biomasseertrag wie bei den Grünfuttertypen bestimmt (Abb.1). Dagegen erzielte die Wintererbse Assas im Vergleich zu den Sommererbsen Arvika und Livioletta einen geringeren oberirdischen, aber vergleichbaren unterirdischen Biomasseertrag. Der Unterschied in der oberirdischen Biomasse könnte auf ein divergentes Wachstum in der Anfangsentwicklung von Winter- und Sommererbsen zurückzuführen sein (Quendt 2012).

Der Quotient aus oberirdischer und unterirdischer Biomasse war bei der Sorte Respect mit 6,8 signifikant und bei Alvesta mit 5,8 tendenziell weiter als bei allen normalblättrigen Erbsen mit einem mittleren Quotienten von etwa 5. Im Widerspruch zu Iwama und Yamaguchi (1996) könnte daher dieser Quotient in Abhängigkeit des Blatttyps oder der Sorte bei Erbsen verschieden sein. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf.

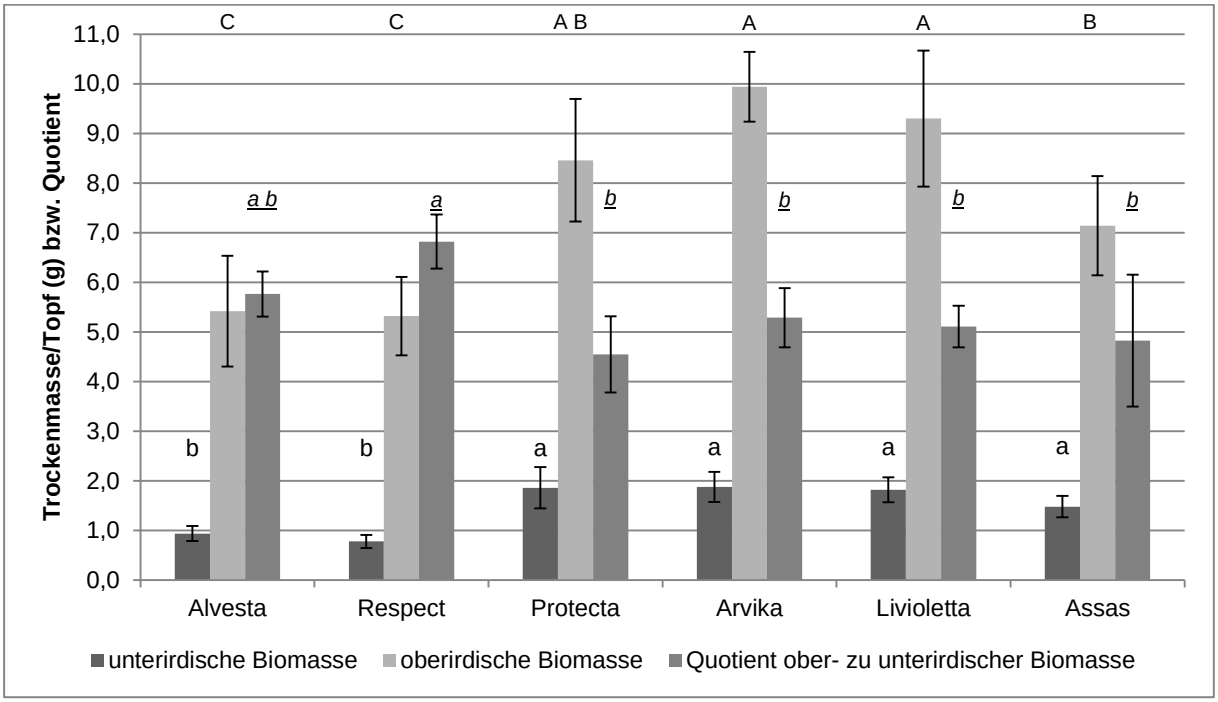


Abb. 1: Ober- und unterirdische Biomasseerträge sowie der Quotient aus ober- und unterirdischer Biomasse. Mittelwerte, die keinen gemeinsamen Gruppierungsbuchstaben haben, unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = Standardabweichung

Normalblättrige Erbsen können somit in Übereinstimmung z. B. zu Urbatzka (2012) als konkurrenzkräftiger gegenüber Beikräutern eingeschätzt werden als halbblattlose Wuchstypen. Zusätzlich könnten normalblättrige Erbsen aufgrund der höheren ober- und unterirdischen Biomasseerträge eine höhere N-Vorfruchtwirkung aufweisen. Daher ist es nötig, die Gesamtleistung (Kornertrag + Vorfruchtwirkung) von normalblättrigen Grünfutter- und Körnererbsen im System ökologischer Landbau im Vergleich zu halbblattlosen Erbsen zu bewerten.

Literatur

Iwama, K., Yamaguchi, J. (1996): Difference in root system developement among crop species and genotypes. In: Dynamics of roots and nitrogen in cropping systems of the semi-arid-tropics. Ito, O., Johansen, J. J. Adu_Gyamfi, K., Katayama, J.V.D.K., Kumar, Rao and Rego, T.J. (Ed.). Japan International Research Center for Agricultural Science, Japan, 173-184

Quendt, U. (2012): Wintererbsen im Gemenge. Bioland-Fachmagazin für den biologischen Landbau 7, 20-21

Urbatzka, P. (2012): Anbau verschiedener Winter- und Sommererbsentypen in Rein- und Gemengesaat unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus. Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein, Fachtagung Biologischer Ackerbau, 1-10, ISBN: 978-3-902559-82-1

Urbatzka, P., Rehm, A., Schmidt M. (2013): Versuchsergebnisse aus Bayern, Ökologischer Landbau, Sortenversuche zu Futtererbsen, Abschlussbericht 2012. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, URL: http://www.isip.de/

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 199–200 (2013)

Überwinterung, Ertrag und Ertragsstruktur von Winter-Ackerbohnen im Marchfeld

Katja V. Ziegler[1], Reinhard Neugschwandtner[1], Hans-Peter Kaul[1]

[1] Abteilung Pflanzenbau, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln, E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at

Einleitung

Körnerleguminosen (ohne Soja) wurden in Österreich im Jahr 2011 auf 22.722 ha (das sind 1,7 % der Ackerfläche) angebaut. Sommer-Ackerbohnen wurden dabei auf 6.028 ha mit einem durchschnittlichen Ertrag von 2,92 t ha^{-1} kultiviert (BMLFUW, 2012). Winter-Ackerbohnen spielen in Österreich in der agrarischen Praxis aufgrund der nicht ausreichenden Winterhärte, die zu Ertragsunsicherheiten führt, keine Rolle. Der Anbau beschränkt sich zur Zeit auf Versuche der Universität für Bodenkultur sowie der Bioforschung Austria und ein Zuchtprogramm der Saatzucht Gleisdorf.

Aufgrund der im Wandel begriffenen klimatischen Gegebenheiten, die im Osten Österreichs mit ausgeprägten Frühjahrs- und Sommertrockenheiten einher zu gehen scheinen, macht es Sinn, sich auch bei Körnerleguminosen mit dem Anbau von Winterungen zu beschäftigen, die in diesen klimatischen Szenarien Vorteile gegenüber Sommerungen bieten können. Aus diesem Grund wurde ein Sortiment von verschiedenen Sorten an Winter-Ackerbohnen aus mehreren europäischen Ländern in der Saison 2010/11 im Marchfeld, der im Osten Wiens gelegenen, bedeutenden österreichischen Ackerbauregion, geprüft.

Material und Methoden

Der Versuch wurde an der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf (538 mm durchschnittlicher Jahresniederschlag, 10,6°C durchschnittliche Jahrestemperatur, Tschernosem, schluffiger Lehm) durchgeführt. Zur Prüfung kam ein Sortiment an Winter-Ackerbohnen bestehend aus gängigen Sorten aus verschiedenen europäischen Ländern: Arthur und Sultan (GB), Diva, Diver und Gladice (F), Hiverna (D), Husky (D, Zulassung in GB), Alameda (E). Zum Vergleich wurde die Sommer-Ackerbohne Alexia (Österreich) gesät. Die Aussaat erfolgte mit 25 Körnern m^{-2} am 14.10.2010 (Winter-Ackerbohnen) bzw. am 22.3.2011 (Alexia), die Ernte am 12.7.2011.

Im Dezember 2010 traten mehrere Tage durchgehend Minustemperaturen mit einer Tiefsttemperatur von -14,7˚C am 19.12.2010 bei fehlender Schneedecke auf. Die Überwinterungsrate wurde am 20.4.2011 erhoben. Die Niederschläge während der Vegetationsperiode lagen in den einzelnen Monaten (März bis Juli 2011) jeweils unter dem langjährigen Mittel. Ab Mitte Juni 2011 kam es zu einer starken Mischinfektion der Ackerbohnen durch Ackerbohnenrost (*Uromyces viciae-fabae*), Brennflecken (*Ascochyta*-Komplex) und *Fusarium* spp., die – gemeinsam mit den trockenen Bedingungen – zu einer raschen Abreife der Bestände führte.

Ergebnisse und Diskussion

Überwinterung, Ertrag und Ertragsstruktur der Winter-Ackerbohnen sowie der Sommer-Ackerbohne Alexia sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Ergebnisse der Sorten Alameda, Diver und Sultan werden aufgrund der äußerst geringen Überwinterung (0, 2 bzw. 8 %) nicht gezeigt. Die beste Überwinterung zeigten Hiverna und Diva mit 79 bzw. 76 %.

Die höchste Pflanzendichte und Triebdichte wies die Sommer-Ackerbohne Alexia vor Hiverna auf. Die Triebdichte nahm generell mit der Pflanzendichte zu. Die Sommer-Ackerbohne Alexia hatte tendenziell eine geringe Triebbildung Pflanze^{-1}, zum einen, da mit zunehmender Pflanzendichte eine eingeschränkte Triebbildung erfolgt, zum andern beschreiben Link et al. (2010) für Winter-Ackerbohnen eine höhere Triebbildung Pflanze^{-1} im Vergleich zu Sommer-Ackerbohnen.
Die Sommer-Ackerbohne Alexia hatte die höchste oberirdische Biomasse, gefolgt von den gut über den Winter gekommenen Sorten Diva und Hiverna. Der Kornertrag schwankte zwischen 138 (Gladice) und 244 (Diva) g m^{-2} (n.s.). Den höchsten Ertrag hatte Diva vor Alexia. Entgegen den Ergebnissen von Gasim und Link (2007) und Sass (2009) konnte kein Ertragsvorteil von Winter-Ackerbohnen im Vergleich zur Sommer-Ackerbohne beobachtet werden. Erkennbar ist jedoch, dass die Winter-Ackerbohnen trotz teilweise starker Auswinterungsschäden ertraglich zum Teil mit der Sommer-Ackerbohne mithalten konnten.
Der Ernteindex lag zwischen 32 und 56 % (der Blattabwurf der Ackerbohnen hatte zur Ernte bereits eingesetzt). Das Tausendkorngewicht (TKG) der Winter-Ackerbohnen war höher als jenes der Sommer-Ackerbohne Alexia, wobei anzumerken ist, dass das TKG im Vergleich zum verwendeten Saatgut aufgrund der raschen trockenheits- und krankheitsbedingten Abreife niedrig ausfiel.

Tabelle 1: Überwinterung, Ertrag- und Ertragsstruktur von Winter-Ackerbohnen und der Sommer-Ackerbohne Alexia (SNK, $p<0,05$, n=4)

Sorte	Über-winterung (%)	Pflanzen-dichte (m^{-2})	Trieb-dichte (g m^{-2})	Triebe (Pflanze^{-1})	Oberird. Biomasse (g m^{-2})	Korn-ertrag (g m^{-2})	Ernte-Index (%)	TKG (g)
Arthur	34^{c}	7^{cd}	26^{b}	3,0^{a}	386^{ab}	139^{a}	37^{b}	359^{a}
Diva	76^{a}	14^{bc}	31^{b}	2,2^{b}	438^{ab}	244^{a}	56^{a}	338^{ab}
Gladice	33^{c}	6^{d}	13^{c}	2,1^{b}	258^{b}	138^{a}	54^{a}	374^{a}
Hiverna	79^{a}	18^{b}	44^{a}	2,5^{ab}	463^{ab}	147^{a}	32^{b}	294^{b}
Husky	53^{b}	10^{cd}	23^{b}	2,2^{b}	338^{ab}	166^{a}	49^{a}	367^{a}
Alexia	-	25^{a}	46^{a}	1,8^{b}	551^{a}	211^{a}	39^{b}	204^{c}

Literatur

BMLFUW, 2012. Grüner Bericht 2012. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Wien.

Gasim, S., Link, W., 2007. Agronomic performance and the effect of self-fertilization on German winter faba beans. Journal of Central European Agriculture 8 (1), 121–128.

Link, W., Balko, C., Stoddard, F.L., 2010. Winter hardiness in faba bean: Physiology and breeding. Field Crops Research 115 (3), 287–296.

Sass, O., 2009. Marktsituation und züchterische Aktivitäten bei Ackerbohnen und Körnererbsen in der EU. Journal für Kulturpflanzen 61 (9), 306–308.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 201–202 (2013)

N-Aufnahme und N-Fixierungsleistung von Winter-Ackerbohnen

Katja V. Ziegler[1], Reinhard Neugschwandtner[1], Hans-Peter Kaul[1]

[1] Abteilung Pflanzenbau, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln, E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at

Einleitung

Körnerleguminosen (ohne Soja) wurden in Österreich im Jahr 2011 auf 22.722 ha (das sind 1,7 % der Ackerfläche) angebaut. Sommer-Ackerbohnen wurden dabei auf 6.028 ha mit einem durchschnittlichen Ertrag von 2,92 t ha^{-1} kultiviert (BMLFUW, 2012). Winter-Ackerbohnen spielen in Österreich in der agrarischen Praxis aufgrund der nicht ausreichenden Winterhärte, die zu Ertragsunsicherheiten führt, keine Rolle. Der Anbau beschränkt sich zur Zeit auf Versuche der Universität für Bodenkultur sowie der Bioforschung Austria und ein Zuchtprogramm der Saatzucht Gleisdorf.
Aufgrund der im Wandel begriffenen klimatischen Gegebenheiten, die im Osten Österreichs mit ausgeprägten Frühjahrs- und Sommertrockenheiten einher zu gehen scheinen, macht es Sinn, sich auch bei Körnerleguminosen mit dem Anbau von Winterungen zu beschäftigen, die in diesen klimatischen Szenarien Vorteile gegenüber Sommerungen bieten können. Aus diesem Grund wurde ein Sortiment von verschiedenen Sorten an Winter-Ackerbohnen aus mehreren europäischen Ländern in der Saison 2010/11 im Marchfeld, der im Osten Wiens gelegenen, bedeutenden österreichischen Ackerbauregion, geprüft.

Material und Methoden

Der Versuch wurde an der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf (538 mm durchschnittlicher Jahresniederschlag, 10,6°C durchschnittliche Jahrestemperatur, Tschernosem, schluffiger Lehm) durchgeführt. Zur Prüfung kam ein Sortiment an Winter-Ackerbohnen bestehend aus gängigen Sorten aus verschiedenen europäischen Ländern: Arthur (GB), Diva und Gladice (F), Hiverna (D), Husky (D, Zulassung in GB). Zum Vergleich wurde die Sommer-Ackerbohne Alexia (Österreich) gesät. Die Aussaat erfolgte mit 25 Körnern m^{-2} am 14.10.2010 (Winter-Ackerbohnen) bzw. am 22.3.2011 (Alexia), die Ernte am 12.7.2011.
Im Dezember 2010 traten mehrere Tage durchgehend Minustemperaturen mit einer Tiefsttemperatur von -14,7˚C am 19.12.2010 bei fehlender Schneedecke auf. Die Niederschläge während der Vegetationsperiode lagen in den einzelnen Monaten (März bis Juli 2011) jeweils unter dem langjährigen Mittel. Ab Mitte Juni 2011 kam es zu einer starken Mischinfektion der Ackerbohnen durch Ackerbohnenrost (*Uromyces viciae-fabae*), Brennflecken (*Ascochyta*-Komplex) und *Fusarium* spp., die – gemeinsam mit den trockenen Bedingungen – zu einer raschen Abreife der Bestände führte. Zur Erfassung des mineralischen Stickstoffgehaltes wurden zur Ernte Bodenproben in einer Tiefe von 0-90 cm genommen und photometrisch analysiert (Kuderna et al., 1993). Der Stickstoffgehalt von Korn, Hülsenwänden und Stroh wurde mittels eines CNS-Analysers (DUMAS-Verfahren) gemessen. Zur Ermittlung der N_2-Fixierungsleistung kam die erweiterte Differenzmethode nach Stülpnagel (1982) zur Anwendung, wobei als Referenzpflanze Weizen (Xenos) diente.

Ergebnisse und Diskussion

Die Überwinterung der Winter-Ackerbohnen lag zwischen 34 % (Arthur) und 79 % (Hiverna), die zu einer deutlich geringeren Pflanzendichte im Vergleich zur Sommer-

Ackerbohne Alexia führte (siehe Ziegler et al., 2013). Die Kornerträge der Ackerbohnen lagen zwischen 138 und 244 g m^{-2}, die Ernteindices zwischen 32 und 56 % (der Blattabwurf der Ackerbohnen hatte zur Ernte bereits eingesetzt). Bei den N-Gehalten im Korn wurden keine Unterschiede zwischen den Sorten festgestellt (wie auch bei den Gehalten der Hülsenwände und des Strohs, Daten nicht gezeigt). Der N-Ertrag des Korns lag zwischen 6,3 und 11,9 g m^{-2}, der N-Ertrag der oberirdischen Biomasse zwischen 8,7 und 14,9 g m^{-2}. Hinsichtlich der N-Erträge konnten die Winter-Ackerbohnen trotz zum Teil geringer Überwinterung und geringen Korn-Erträgen den Winterweizen zum Teil deutlich übertreffen. Die Gehalte an mineralisierbarem Nitrat-Stickstoff im Boden zur Ernte lagen zwischen 3,8 und 6,7 g m^{-2} und somit deutlich über jenem bei Weizen (1,8 g m^{-2}). Die N-Fixierungsleistung lag zwischen 4,1 und 10,7 g N m^{-2} (Tab. 1).
Den Winter-Ackerbohnen gelang es bei den N-Erträgen und der N-Fixierungsleistung trotz zum Teil geringer Überwinterung vergleichbare Ergebnisse wie die Sommer-Ackerbohne zu erreichen.

Tabelle 1: Ernte- und Stickstoffertrag der Winter-Ackerbohnen, der Sommer-Ackerbohne Alexia und des Winterweizens (Xenos) sowie mineralisierbarer Nitrat-Stickstoff im Boden und N-Fixierungsleistung der Ackerbohnen (SNK, $p<0,05$, n=4)

	Korn-Ertrag	Ernte-Index	Stickstoff				NO_3-N	N_{fix}
			Korn-Gehalt	Korn-Ertrag	Ertrag – Ob. Biomasse	Ernte-Index		
	(g m^{-2})	(%)	(%)	(g m^{-2})	(g m^{-2})	(%)	(g m^{-2})	(g m^{-2})
Sorte								
Arthur	139^a	37^b	$4,5^a$	$6,3^a$	$10,8^a$	59^{bc}	$4,8^a$	$4,9^a$
Diva	244^a	56^a	$4,7^a$	$11,5^a$	$14,6^a$	79^a	$6,7^a$	$10,7^a$
Gladice	138^a	54^a	$4,7^a$	$6,6^a$	$8,7^a$	75^{ab}	$6,7^a$	$4,8^a$
Hiverna	147^a	32^b	$4,6^a$	$6,8^a$	$12,9^a$	51^c	$4,2^a$	$6,5^a$
Husky	166^a	49^a	$4,6^a$	$7,6^a$	$10,4^a$	72^{ab}	$4,3^a$	$4,1^a$
Alexia	211^a	39^b	$4,3^a$	$9,1^a$	$14,9^a$	61^{bc}	$3,8^a$	$8,0^a$
Xenos	381	44	1,6	6,3	8,8	86	1,8	-

Literatur

Kuderna, M., Pötsch, E., Blum, W.E.H, 1993. Zur Wahl des Extraktionsmittels bei der N_{min}-Bestimmung. Die Bodenkultur 44, 7–14.

Stülpnagel, R., 1982. Schätzung der von Ackerbohnen symbiotisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 150, 446–458.

Ziegler, K.V., Neugschwandtner, R., Kaul, H.-P., 2013. Überwinterung, Ertrag und Ertragsstruktur von Winter-Ackerbohnen im Marchfeld. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 25 (dieser Band).

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 203–204 (2013)

Biomasseproduktion und Wurzelbildung von Luzerne-Klee-Grasmischungen auf unterschiedlich texturierten Böden

L. Chmelíková [1, 2], H. Schmid [1], M. Hejcman[2], K.-J. Hülsbergen[1]

[1] Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising; [2]Lehrstuhl für Ökologie, Tschechische landwirtschaftliche Universität Prag, Prag. E-Mail: *lucie.chmelikova@mytum.de*

Einleitung

Die Wurzelausprägung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen ist genetisch determiniert, wird aber auch durch Anbau- und Standortbedingungen deutlich geprägt. Zu den entscheidenden Standorteinflüssen gehört die Bodentextur; sie bestimmt u.a. die Penetrationsfähigkeit der Wurzeln. Die Durchwurzelungsintensität ist von der Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzen abhängig (Neukirchen et al. 1999).
Luzerne-Klee-Gras (LKG) ist in ökologischen Fruchtfolgen sehr bedeutsam, vor allem aufgrund der symbiotischen Stickstoffbindung und der Humusakkumulation. Die C- und N-Bindung von LKG ist abhängig von der Bestandszusammensetzung, der Wurzelmenge und -architektur (Braun et al. 2010). Insbesondere die Durchwurzelungsintensität ist entscheidend für die Humusanreicherung in unterschiedlichen Bodenschichten. Sie hat auch erheblichen Einfluss auf das Ertragsbildungspotenzial der Pflanzen (Lamb et al. 2000). Aus diesen Gründen sind die Kenntnisse der Beziehungen von unter- und oberirdischer Biomasse in unterschiedlich texturierten Böden wichtig.

Material und Methoden

Im Jahr 2011 wurde die Durchwurzelungsintensität von LKG auf Versuchsflächen auf drei Standorten (V1, S1 und S2) mit unterschiedlicher Bodentextur untersucht (Standort V1: Sand 25%, Schluff 58%, Ton 17%; Standort S1: 37% Sand, 45% Schluff; Standort S2: Sand 43%, Schluff 41%, Ton 16%). Die Parzellen befanden sich in Versuchs- und Praxisbetrieben im Raum Freising (48° 24′ N, 11° 45′ O). Zu drei Ernteterminen (Mai, Juli und August) wurden die Erträge erfasst. Für die Ertragsbestimmung wurden 20 m^2 je Wiederholung geerntet.
Die Profilwandmethode erlaubt es, die Wurzeln im Begegnungsraum Wurzel-Boden intensiv zu untersuchen (Köpke 1979) und die Durchwurzelungsintensität zu bestimmen. Auf jedem Standort wurde diese Methode in zweifacher Wiederholung zum 2. bzw. 3. Erntetermin angewandt (bis 2 m Tiefe).

Ergebnisse und Diskussion

Der Gesamtertrag betrug 10,2-11,9 t TM ha^{-1} (Tab. 1). Auf den sandigeren Standorten (S1, S2) war der Ertrag geringer als auf dem Standort V1.
Die Wurzellängendichte von LKG nimmt mit der Bodentiefe ab (Abb.1). In der Krume (0-30 cm) wurden 71,7-81,1% der Wurzellänge auf allen Standorten beobachtet.

Tabelle 1: Erträge (t TM ha^{-1}) im Jahr 2011 auf den Standorten

	V1	S1	S2	p
Mai	$5,2^{a}$	$5,7^{a}$	$5,4^{a}$	*
Juli	$4,8^{b}$	$2,9^{a}$	$2,5^{a}$	***
August	$1,9^{ab}$	$2,4^{a}$	$2,3^{a}$	***
Gesamtertrag	$11,9^{a}$	$11,0^{ab}$	$10,2^{ab}$	**

Diese Ergebnisse sind im Einklang mit der Untersuchung von Xu et al. (2007), in der 94% der Wurzelbiomasse in den obersten 40 cm gemessen wurden. Auf den sandigeren Standorten wurde eine niedrigere Gesamtwurzellängendichte ermittelt. Auf allen Standorten wurden 97,1-100% der Wurzellänge bis 1 m Tiefe beobachtet. Nur auf S1 und S2 kamen 0,5-2,9% der Wurzeln in 1-2 m Tiefe vor.
Es wurde eine positive Korrelation zwischen der Wurzellängendichte und dem Ertrag festgestellt. Ein Zusammenhang zwischen Wurzellängendichte und Ertrag wurde auch von Meek et al. (1988) festgestellt, wobei die Ertragsminderung bei niedriger Wurzellängendichte bis zu 10% betrug. Um eine klare Aussage über die ober- und unterirdische Biomassebildung treffen zu können, sind weitere Messungen und Wiederholungen der Profilwände zu den gleichen Ernteterminen nötig.

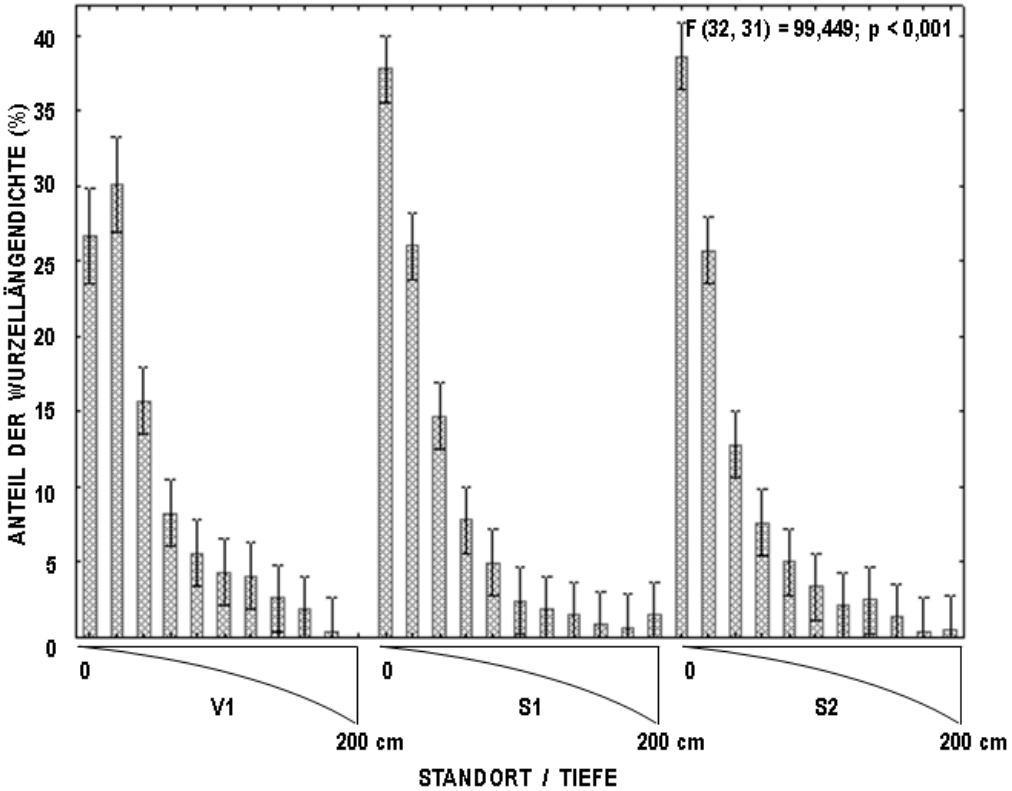


Abbildung 1: One Way-ANOVA - der prozentuelle Anteil der Wurzellängendichte in Abhängigkeit von der Tiefe (Messungen in 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 50-60 cm, 60-70 cm, 70-80 cm, 80-90 cm, 90-100 cm und 100-200 cm Tiefe).

Literatur

Braun M, Schmid H, Grundler T, Hülsbergen KJ (2010) Root and-shoot growth and yield of different grass–clover mixtures. Plant Biosyst 144: 414–419

Köpke U (1979) Ein Vergleich von Feldmethoden zur Bestimmung des Wurzelwachstums landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen

Lamb JFS, Johnson LD, Barnes DK, Marquez–Ortiz JJ (2000) A method to characterize root morphology traits in alfalfa. Can J Plant Sci 80: 97–104

Meek BD, Rechel AE, Carter LM, DeTar WR (1988) Soil compaction and its effect on alfalfa in zone production systems. Soil Science Society of America Journal 52: 232–236

Neukirchen D, Himken M, Lammel J, Czypionka-Krause U, Olfs HW (1999) Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established *Miscanthus* crop. Eur J Agron 11: 301–309

Xu B, Shan L, Li F, Jiang J (2007) Seasonal and spatial root biomass and water use efficiency of four forage legumes in semiarid northwest China. African J Plant Sci Biotech 6: 2708–2714

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 205–206 (2013)

Keimfähigkeit, Triebkraft und Feldaufgang bei Sojabohnen (*Glycine max*)

Benno Voit[1], Berta Killermann[1]

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Saatgutuntersuchung/Saatgutforschung, Lange Point 6, Labor 2, 85354 Freising
E-Mail: Benno.Voit@LfL.bayern.de

Einleitung

Der Sojabohnenanbau in Bayern bewegt sich mit ca. 3000 ha noch auf niedrigem Niveau. Dies liegt unter anderem daran, dass die Sojabohne als Kurztagspflanze sehr hohe Wärmeansprüche hat und die Landwirte befürchten, dass die Sojabohnen nicht reif werden. Die Probleme können aber bereits im Frühjahr beginnen. Nicht in jedem Frühjahr liegen die Bodentemperaturen bei 15 °C und darüber, die für einen problemlosen Feldaufgang notwendig sind. In Jahren mit kaltem oder nasskaltem Frühjahr werden daher besondere Ansprüche an die Saatgutqualität gestellt. Das heißt Saatgut mit einer hohen Triebkraft ist notwendig. Für den Anbauer stellt sich bei der Berechnung der Aussaatmenge die Frage, ob als Berechnungsgrundlage die Keimfähigkeit oder die Triebkraft verwendet werden soll. Um die Frage beantworten zu können wurden Labor- und Feldversuche durchgeführt.

Material und Methoden

Keimfähigkeit

Im Saatgutlabor wird die Keimfähigkeit im sterilen Quarzsand bei 25 °C unter standardisierten Bedingungen festgestellt. Die gesetzlich vorgeschriebene Mindestkeimfähigkeit bei Sojabohnen beträgt 80 %.

Triebkraft

Die Triebkraftprüfung ist bei Sojabohnen gesetzlich nicht vorgeschrieben. Es ist jedoch ein großes Risiko das Auflaufverhalten bei kalten oder nasskalten Bedingungen nicht zu kennen. Für Sojabohnen gibt es eine validierte Triebkraftmethode, den sogenannten ISTA Leitfähigkeitstest (ISTA 2012). Der größte Nachteil dieser Methode ist, dass das Ergebnis in µS cm^{-1} g^{-1} dargestellt wird und nicht in Keimprozent und daher für die Berechnung der Aussaatmenge nicht herangezogen werden kann. Als Methode für die Bestimmung der Triebkraft wurde die Kalttestprüfung für Mais verwendet (ISTA 1995). Anstelle in Erdrollen wurden die Körner in großen Schalen, die mit Ackererde gefüllt waren, zum Keimen gebracht. Eine Woche bei 10 °C, die zweite Woche bei 25 °C. Da Triebkraftversuche für sich allein nicht ausreichend sind, wurden parallel dazu Feldversuche durchgeführt um zu sehen, wie hoch der tatsächliche Feldaufgang ist.

Feldversuche

Der Standort Oberhummel lag im Isartal in der Nähe von Freising. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt knapp 8 °C und die Niederschlagsmenge liegt bei 800 mm. Ausgesät wurden 70 Körner/m² bei einer Parzellengröße von 10 m² und jeweils 4 Wiederholungen.

Ergebnisse und Diskussion

In den Versuchen wurden 2 Sorten mit jeweils 3 unterschiedlichen Saatgutqualitäten geprüft. Sorte A, eine sehr frühe Sorte mit 3 Saatgutpartien, die eine Keimfähigkeit zwischen 78 und 92 % aufwiesen. Die Sorte B, etwas später abreifend, mit ebenfalls 3 Saatgutpartien mit Keimfähigkeiten zwischen 79 und 93 %. Bei der Sorte 1 lagen die Triebkraftwerte nach dem Kalttestverfahren von Mais um ca. 6 % unter den Keimfähigkeitswerten (Tab. 1). Die Differenz zur Keimfähigkeit war bei der Sorte 2 mit ca. 10 % größer als bei der Sorte 1. Erstaunlich war, dass die Differenz zur Keimfähigkeit bei allen Saatgutqualitäten in etwa gleich war. Insbesondere hätte man von der schlechteren Saatgutqualität deutlich niedrigere Triebkraftwerte erwartet.

Tab. 1: Keimfähigkeit, Triebkraft und Feldaufgang von 2 Sojabohnensorten mit jeweils 3 unterschiedlichen Saatgutqualitäten

Saatgut		Keimfähig-keit (%)	Trieb-kraft (%)	Feld-aufgang (%)	Keimfähig-keit (%)	Trieb-kraft (%)	Feld-aufgang (%)
Sorte / Qualität		2011			2012		
A	hoch	92	86	90	90	86	81
A	mittel	83	78	76	88	80	72
A	niedrig	78	71	69	82	76	80
B	hoch	93	83	84	85	69	78
B	mittel	86	77	80	85	69	66
B	niedrig	79	66	70	81	69	73

Die Aussaat 2011 und 2012 erfolgte zwischen 15. und 20. April. Anfang Mai waren die Sojabohnen aufgelaufen und der Feldaufgang wurde ermittelt. Der Feldaufgang lag in beiden Jahren deutlich näher an den Triebkraftwerten als an der Keimfähigkeit.

Zusammenfassung

Die Triebkraftmethode von Mais scheint nach ersten Versuchen auf Sojabohnen übertragbar zu sein. Mit der Triebkraftuntersuchung lassen sich schwache Saatgutpartien erkennen. Der Feldaufgang liegt deutlich näher an den Triebkraftwerten als an den Keimfähigkeitswerten, sodass es zweckmäßig ist, bei der Berechnung der Aussaatmenge auf die Triebkraftwerte zurückzugreifen.

Literatur

ISTA (International Seed Testing Association), 2012: International Rules for Seed Testing (Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut). Zürich, Schweiz.

ISTA (International Seed Testing Association), 1995: Handbook of Vigour Test Methods. Zürich, Schweiz.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 207–208 (2013)

Übersicht der Ertrags- und Qualitätsergebnisse der Sortenversuche mit Sojabohnen im Rahmen des BÖLN-Projekts 'Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland...' im Jahr 2012

Recknagel, J. [1], Nußbaumer, H. [2], Wilbois, K.[3]

[1] Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)/ Deutscher Sojaförderring, 79379 Müllheim; [2]LTZ Augustenberg/SG Ökolandbau, Müllheim; [3]FiBL Deutschland e.V., Frankfurt
E-Mail: *juergen.recknagel@ltz.bwl.de*

Einleitung

Der Anbau von Sojabohnen in Deutschland konzentrierte sich bislang aus klimatischen und logistischen Gründen im Wesentlichen auf Baden-Württemberg und Bayern. Dort trägt er seit mehr als zehn Jahren zur Bereicherung von Fruchtfolgen um eine Körnerleguminose mit hohem Vorfruchtwert bei und erzeugt hochwertiges Eiweiß für die Herstellung von Lebens- und Futtermitteln. In ökologisch wirtschaftenden Betrieben mit niedrigem Viehbesatz stellt er eine hochattraktive Marktfrucht dar. Seit 2009 kam es zu einem markanten Anstieg der Anbauflächen von zuvor knapp 1.000 ha auf rund 5.000 ha. Inzwischen besteht auch in weniger begünstigten Regionen Interesse an dieser Kultur, nicht zuletzt dank verschiedener Eiweißinitiativen auf politischer Ebene. Die Wärmeansprüche der Sojabohne werden theoretisch auch in nördlicheren Gebieten Deutschlands erfüllt, nämlich überall dort, wo auch mittelfrüher Körnermais ab K 240-250 noch zur Erntereife gelangt. Im Rahmen des BÖLN-Projekts ‚Ausweitung des Sojabohnenanbaus in Deutschland durch züchterische Anpassung sowie pflanzenbauliche und verarbeitungstechnische Optimierung‘ werden in den Jahren 2011-2013 die meisten der in der EU verfügbaren Sojasorten der frühen und sehr frühen Reifegruppen an rund 30 Orten auf ihre Anbaueignung geprüft. Das Poster präsentiert die Ergebnisse des zweiten Versuchsjahrs 2012.

Material und Methoden

Im Rahmen des BÖLN-Projekts wurden 2012 die Ergebnisse von Exaktversuchen an 36 Orten in 10 Bundesländern mit über 50 in der EU vertriebsfähigen Sojasorten der Reifegruppen früh (00) und sehr früh (000) ausgewertet. Zur Einstufung dieser Versuchsstandorte nach dem für Sojabohnen nutzbaren Wärmeangebot wurde auf Grundlage der Wetterdaten der letzten 8 Jahre (Tagesmaxima und – minima) mittels der kanadischen Methode der Crop Heat Units (CHU) (Bootsma & Brown, 1995) das jeweilige Wärmeangebot ermittelt. Das CHU-System berücksichtigt im Gegensatz zu der sonst gebräuchlichen Wärmesumme auf Basis 6°C auch die für Soja u.U. kritischen Nachttemperaturen und reduziert das Gewicht der Maximaltemperaturen von Hitzetagen bis hin zu negativen Werten. Der Auswertungszeitraum wurde auf den für den Anbau von Sojabohnen relativ sicher nutzbaren Vegetationszeitraum vom 01. Mai bis 30. September beschränkt. Für die wärmsten Gebiete wurde die Auswertung auch für eine 4 Wochen längere Vegetationszeit durchgeführt, da dort oft schon Mitte April gesät und noch bis Mitte Oktober geerntet werden kann.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Wärmesummenbildung nach CHU für die Monate Mai bis September bestätigten die Einteilung der Versuchsorte in die 3 Wärmekategorien warm, mittel und kühl, welche sich im Mittel um jeweils ca. 200°C unterscheiden. Gegenüber 2011 sind die Wärmesummen etwas niedriger und liegen nur knapp über

dem achtjährigen Mittel von 3.188° für die wärmere, 2.946° für die mittlere und 2.757° für die kühlere Region. Erweitert man den Betrachtungszeitraum um jeweils zwei Wochen vor dem 01.05. und nach dem 30.09., so erhöht sich die Wärmesumme im Mittel der Jahre ebenfalls um 200°C. Da in ungünstigen Jahren die Wärmesummen an den kühleren der untersuchten Versuchsstandorte auf knapp 2300°, in der mittleren Kategorie auf 2600° und in den günstigsten Lagen auf etwa 2900° abfallen können, sollte sich die Sortenwahl im Interesse der Anbausicherheit nach den Wärmesummen des kürzeren Vegetationszeitraums richten, so dass die zwei Wochen davor und danach als Sicherheitspuffer für Jahre mit ungünstigem Witterungsverlauf dienen können. Bei der Auswertung nach Gruppen wird ersichtlich, dass die wärmste Kategorie nur Standorte im Oberrheingebiet umfasst. Standorte mit mittlerem und geringerem Wärmeangebot finden sich dagegen in allen Bundesländern. Interessanterweise liegt der kühlste Standort in einem der größten Anbaugebiete Bayerns.

Der Witterungsverlauf des Jahres 2012 war für die Sojabohne überwiegend günstig, auch wenn das Frühjahr, wie bereits 2011, in vielen Gebieten sehr trocken war. Bei günstiger Niederschlagsverteilung und mittlerem bzw. hohem Wärmeangebot wurden Erträge zwischen 40 und 50 dt/ha geerntet, unter ungünstigen Bedingungen dagegen lediglich 13-20 dt/ha. Das Ertragsmittel der in allen 3 Regionen geprüften Sorten lag 2012 bei 31,1 dt/ha bei 86% TM (2011 = 34,1 dt/ha). Die Standortmittel der Wärmeklassen ‚warm', ‚mittel' und ‚kühl' unterschieden sich mit 36,8 dt/ha, 33,9 dt/ha und 25,6 dt/ha deutlicher als im Vorjahr, wo die ‚warme' und ‚mittlere' Region praktisch gleichauf lagen. Die Relativerträge der in allen 3 Regionen geprüften Einzelsorten reichten von 73 – 121%. In den kühleren Gebieten war die Abreife der 00-Sorten nicht gewährleistet. An einem Standort konnte aus technisch bedingten Gründen nicht geerntet werden. Der Rohproteingehalt betrug im Mittel der in allen Regionen geprüften Sorten 41,4% i.d. TM (2012 = 42,4%). Die Extremwerte reichten bei diesen Sorten von 38,3 bis 46,1% RP i.d. TM bzw. von 36,1 bis 45,7% bei den Standortmitteln.

Für abgesicherte Aussagen zur Anbauwürdigkeit von Sojabohnen in den verschiedenen Teilen Deutschlands sind zumindest noch die Ergebnisse der kommenden Ernte abzuwarten. Der bisherige Witterungsverlauf des Jahres 2013 deutet auf eher geringere Wärmesummen und meist höhere Niederschläge hin, welche die Aussaat teilweise um mehrere Wochen verzögerten, so dass tendenziell mit schlechteren Ergebnissen als in den beiden Vorjahren zu rechnen ist. Eine umfassende Auswertung der dreijährigen Ergebnisse soll bis Ende 2013 vorliegen.

Literatur

BÖLN-Sojaprojekt: www.sojainfo.de

Brown, D.M. and Bootsma, A. 1993. Crop heat units for corn and other warm - season crops in Ontario. Ont. Ministry Agric. & Food Factsheet No. 93-119, Agdex 111/31, 4 pp. Recknagel, J. , H. Nußbaumer, K. Wilbois: Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland - Erste Ergebnisse eines BÖLN-Projekts, Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24:, 335-336 (2012)

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 209–210 (2013)

Anbaueignung von Sojabohnen unter Berücksichtigung der Ertragsstruktur und wertgebender Inhaltsstoffe für den norddeutschen Raum

Frank Höppner[1] und Gerhard Rühl[1]

[1] Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig.
E-Mail: frank.hoeppner@jki.bund.de

Einleitung

Soja wird in großem Umfang für den Futter- und Nahrungsmittelmarkt importiert und ist überwiegend gentechnisch verändert (GV). Es besteht Bedarf an GV-freier Soja aus regionalem Anbau. Insbesondere für ökologisch wirtschaftende Betriebe ist sie u. a. wegen kürzerer Anbaupausen gegenüber anderen Körnerleguminosen bedeutsam. Aufgrund des hohen Wärmebedarfs dieser Kulturart ist der Anbau zurzeit vorwiegend auf Süddeutschland konzentriert. Züchterisch wird an der Entwicklung frühreifender Sorten gearbeitet. Die Anbaufläche ist in Deutschland im Jahr 2012 auf rund 5000 ha angewachsen (Sojaförderring 2013). Mit einer weiteren Zunahme der Anbaufläche ist zu rechnen. Durch den Einsatz von sehr frühreifenden Sorten könnte auch eine stärkere Ausweitung in den norddeutschen Raum möglich werden.

Material und Methoden

Um die Anbaueignung von Sojabohnen zu prüfen, wurden im Jahr 2012 ausschließlich sehr frühreifende "000"-Sorten (Sultana, Protina, Petrina, Merlin, Gallec Cordoba und Aligator) unter konventionellen Bedingungen in Braunschweig-Völkenrode angebaut. Die Aussaat erfolgte mit einer Wintersteiger Parzellen-Drillmaschine am 8. Mai auf einem gepflügten anlehmigem Sand in einer randomisierten Blockanlage in vierfacher Wiederholung (Aussaatstärke: 65 Körner/m² unter Berücksichtigung der Keimfähigkeit, Reihenweite: 25 cm). Das Saatgut wurde unmittelbar vor der Aussaat mit dem Präparat "HiStick" geimpft. Nach der Aussaat wurde die Fläche während der Keimungsphase mit einem Vlies abgedeckt und danach mit einem 2 m hohen Zaun eingezäunt, um die Sojabohnensaat einerseits vor Vögeln bzw. anderseits vor einem möglichen Wildverbiss zu schützen. Herbizidmaßnahmen gegen Unkräuter und Ungräser wurden zur Aussaat im Vorauflauf und während der Jugendentwicklung (13.6.) durchgeführt. Nach Erreichen der Dreschfähigkeit wurden die Pflanzen am 2. Oktober geerntet. Während der Anbauperiode der Sojabohnen lag die durchschnittliche Tagesmitteltemperatur bei 16,2 °C und insgesamt fielen 263 mm Niederschläge. Nach einer längeren Trockenperiode im August wurde der Pflanzenbestand in der letzten Augustwoche mit 30 mm bewässert.

Ergebnisse und Diskussion

Aufgrund verhältnismäßig hoher Temperaturen nach der Aussaat erfolgte eine relativ rasche und einheitliche Keimung der Saat, die nach knapp 14 Tagen abgeschlossen war. Danach entwickelten sich die Pflanzen weiterhin recht gut und es bildete sich ein gleichmäßiger Bestand, auch wenn nicht alle Saat entsprechend der Drillmenge aufgelaufen war (Tab.1). Merlin erreichte mit 52 Pfl./ m² das beste Keimergebnis von 80%, Protina mit 29 Pfl./m² mit Abstand das schlechteste Keimergebnis (45%). Der Reihenschluss wurde Anfang Juli erreicht. Die Blühperiode begann am 2. Juli.

Lediglich bei Petrina konnten die Blüten erst ab dem 4. Juli beobachtet werden. Nach dem Ende der Massenbildung erzielten die Sorten Wuchshöhen zwischen 70 (Sultana) und 90 cm (Aligator, Tab.1). Da die Sojabohne nur ein relativ geringes Unkrautunterdrückungsvermögen besitzt, könnten langstrohige Sorten besser das Unkraut kontrollieren. Krankheiten und Schädlinge spielten keine beachtenswerte Rolle.

Tab. 1: Ertrags-, Pflanzenstruktur- und Korninhaltsstoffparameter verschiedener Sojabohnensorten (α = 0,05, Tuckey-Test)

Sorten	Pfl. je m²	Wuchs-höhe (cm)	Hülsen je Pfl.	Korn je Pfl.	Ertrag[1] Korn (dt/ha)	TKG (g)	Protein (% in TM)	Ertrag Protein (dt/ha)	Öl (% in TM)
Sultana	42 abc	70 b	19 a	24,9 ab	19,4 a	183,9 abc	40,4 ab	7,8 a	23,1 a
Protina	29 c	83 ab	18 a	25,9 a	13,8 a	168,6 bc	42,5 a	5,8 a	22,8 a
Petrina	49 ab	80 ab	11 b	15,7 b	16,9 a	195,1 ab	40,5 ab	6,8 a	22,7 a
Merlin	52 a	84 a	15 ab	20,0 ab	18,4 a	151,6 c	40,4 ab	7,4 a	22,2 a
Gallec	48 ab	82 ab	15 ab	19,6 ab	17,9 a	180,2 abc	39,8 ab	7,1 a	22,7 a
Cordoba	38 bc	79 ab	15 ab	25,2 ab	17,1 a	201,3 ab	37,2 b	6,4 a	23,1 a
Aligator	41 abc	90 a	14 ab	17,7 ab	16,1 a	205,6 a	37,9 b	6,1 a	22,7 a

[1]Trockenmasse 100%

Die intensive Phase der Abreife aller Sorten setzte ab der 2. Septemberhälfte ein. Bis zum Dreschtermin am 2. Oktober waren die Pflanzen bräunlich verfärbt und die Laubblätter abgefallen. Nur bei Petrina konnten trotz brauner Hülsen noch vereinzelt Blätter an den Pflanzen und teilweise gelbgrünliche Stängel beobachtet werden.
Zwischen den Sorten gab es Unterschiede beim Hülsenansatz (Tab. 1). Während bei Sultana mit 19/Pfl. die meisten Hülsen gezählt wurden, setzte Petrina die geringste Anzahl mit nur 11/Pfl. an. Je mehr Hülsen eine Pflanze angesetzt hatte, umso höhere Körnerzahlen wurden gebildet. Durch eine höhere Massenbildung des Einzelkorns konnte dieses hinsichtlich der Kornertragsauswirkungen teilweise kompensiert werden. Somit war bei den Kornerträgen, die zwischen 13,8 und 19,4 dt/ha lagen, kein signifikanter Sorteneinfluss feststellbar (Tab.1). Tendenziell erzielte Sultana gefolgt von Merlin den höchsten Ertrag. An einem noch etwas weiter nördlich gelegenen Versuchsort mit ähnlichen Standortgegebenheiten fiel insbesondere Merlin im Mittel mehrerer Jahre ebenfalls positiv auf (Mücke et al., 2013). Hohe Proteingehalte von mindestens 40% werden sowohl in der Futtermittel- als auch Lebensmittelindustrie erwartet. Protina schnitt hier mit 42,5%, wie auch von Mücke et al. (2013) festgestellt, am besten ab. Die Ölgehalte variierten dagegen kaum. Gegenüber der Sortenrangierung des Kornertrages wurde durch Einbeziehung der Qualitätsparameter keine wesentliche Veränderung der Rangfolge herbeigeführt.

Literatur

Sojaförderring (2013): http://www.sojafoerderring.de/ geprüft 4.6.2013

Mücke, M., Seidel, K und A. Meyercordt, 2013. Ergebnisse Öko-Sojabohnenversuche LWK Nds 2009-2012, http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/346/article/21030.html, geprüft 5.6.2013

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 211–212 (2013)

Ertragsleistung von frühreifen Sojasorten in Abhängigkeit vom Saatzeitpunkt unter besonderer Berücksichtigung der ukrainischen Sorte Annushka

Björn Stauß[1], Thomas Häußermann[1], Jürgen Recknagel[2], Carola Pekrun[1]

[1] Institut für Angewandte Agrarforschung, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, 72622 Nürtingen [2]Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg - Außenstelle Müllheim; E-Mail: *carola.pekrun@hfwu.de*

Einleitung

Sojabohnen werden als Blattfrucht in Körnermaisregionen zunehmend interessant. Überall dort, wo gute Vermarktungsmöglichkeiten bestehen oder wo Maisfruchtfolgen aufgelockert werden müssen, z.B. aufgrund des Befalls mit Maiswurzelbohrer, denken Landwirte über den Anbau der Soja nach. Für die südwestdeutschen Verhältnisse sind sehr frühe Sorten der Reifegruppe 000 relevant. Sie kommen im September-Oktober zur Reife und erzielen zwischen 30 und 35 dt ha^{-1} Kornertrag. Die Saat sollte ab Bodentemperaturen von 10 ^{o}C erfolgen (IMGRABEN & RECKNAGEL, 2013). Theoretisch müssten frühere Saatzeitpunkte zu höheren Erträgen und auch zu einer früheren Abreife führen.

Ziel des vorliegenden Versuchs war es, den Einfluss der Saatzeit auf die Ertragsbildung von Sojabohnen zu prüfen. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf eine ukrainische Sorte gelegt, die ein hohes Ertragspotential besitzen soll, aufgrund ihrer Tageslängenreaktion jedoch eine Saat nach dem 10. Mai erfordert.

Material und Methoden

Auf dem Versuchsbetrieb Hofgut Tachenhausen der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (20 km südlich von Stuttgart, Parabraunerde aus Löss, 10 ^{o}C, 830 mm) wurde 2012 eine zweifaktorielle Blockanlage mit den Faktoren Saatzeit und Sorte angelegt (4 Wiederholungen):

1. Faktor Saatzeit: Früh (28.04.2012), Mittel (09.05.2012) und Spät (21.05.2012)
2. Faktor Sorte: Annushka, Merlin, Lissabon, Sultana

Alle vier Sojasorten sind in die Kategorie 000 (früh) einzuordnen. Für die ukrainische Sorte Annushka besteht von Seiten des Züchters die Empfehlung, die Saat erst nach dem 10. Mai vorzunehmen.

Das Saatgut wurde jeweils direkt vor der Aussaat mit HiStick (Impfsubstrat) geimpft und mit einer Zielbestandesdichte von 65 Pflanzen m^{-2} mit einer Parzellendrillmaschine auf 31 cm Reihenabstand ausgesät. Die Unkrautkontrolle erfolgte mechanisch. Geerntet wurden die Parzellen mit einem Parzellenmähdrescher am 18.10.2012.

Ergebnisse und Diskussion

Der Kornertrag wurde durch den Aussaattermin nicht signifikant beeinflusst. Frühere Aussaaten führten tendenziell zu höheren Erträgen (Tab. 1). Zwischen den Sorten bestand ein deutlicher Unterschied. Die Sorte Annushka wies um 10 dt ha^{-1} geringere Kornerträge auf als die drei angepassten OOO-Sorten Merlin, Sultana und Lissabon. Die Kornfeuchte lag zum Druschtermin am 18.10.2012 bei allen Varianten auf demselben Niveau mit Werten zwischen 15,1 und 16,0 %. Im Laufe der Abreife war allerdings zu erkennen, dass die Bestände in den früher gesäten Parzellen früher abreiften (Tab. 2). Dies betraf nicht nur die Abreife des Korns, sondern auch

die Abreife des Strohs (nicht dargestellt). Lager trat umso stärker auf, je später die Saat erfolgt war (Tab. 3). Der Proteingehalt lag in den später gesäten Parzellen jeweils höher als in den früher gesäten Parzellen. Eine gegenläufige Tendenz wurde beim Ölgehalt festgestellt (nicht dargestellt).

Insgesamt kann somit aufgrund dieser einjährigen Ergebnisse festgestellt werden, dass eine frühe Saat mehr Vor- als Nachteile mit sich zu bringen scheint. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Abreife im Herbst wichtig, da späte Druschtermine die Gefahr der unzureichenden Abtrocknung mit sich bringen.

Tab. 1: Kornertrag in (dt ha^{-1} bei 86 % TS), in Abhängigkeit von Sorte und Saatzeit. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede bei $p < 0,05$ (Scheffé-Test), Standardabweichung in Klammern.

	Saatzeit			Ø Sorte
	28.04.2012	09.05.2012	21.05.2012	
Annushka	21,5 (3,15)	21,5 (3,58)	22,2 (1,59)	21,7 (2,64) **b**
Merlin	32,3 (3,25)	33,5 (2,98)	32,0 (2,06)	32,7 (2,68) **a**
Sultana	33,4 (2,96)	31,8 (4,76)	27,3 (3,86)	30,8 (4,47) **a**
Lissabon	33,6 (3,56)	32,8 (6,72)	33,7 (1,88)	33,4 (4,27) **a**
Ø Saatzeit	30,2 (5,96)	29,9 (6,58)	28,2 (5,19)	

Tab.2: Kornreife der Sojabohnen (Boniturwerte: 6= Korn leicht eindrückbar, 9=Korn ist vollreif), erhoben am 7.9.2012. in Klammern die Standardabweichung. Früh gesäte Parzellen in BBCH 90, mittlere in BBCH 85, späte in BBCH 82.

	Saatzeit			Ø Sorte
	28.04.2012	09.05.2012	21.05.2012	
Annushka	8,3 (0,50)	7,3 (0,50)	7,3 (0,50)	7,6 (0,70)
Merlin	7,5 (0,58)	7,3 (0,50)	7,3 (0,96)	7,3 (0,65)
Sultana	8,3 (0,50)	7,3 (0,50)	4,5 (1,00)	6,7 (1,78)
Lissabon	7,5 (0,58)	7,5 (0,58)	4,8 (0,96)	6,6 (1,50)
Ø Saatzeit	7,9 (0,62)	7,3 (0,48)	5,9 (1,57)	

Tab. 3: Lager am 7.9.2012 (Boniturnote 1=kein Lager, 9=Lager der gesamten Fläche), in Klammern die Standardabweichung.

	Saatzeit			Ø Sorte
	früh	mittel	spät	
Annushka	3,0 (0,82)	3,3 (0,50)	4,5 (1,00)	3,6 (1,00)
Merlin	1,5 (0,58)	3,3 (1,26)	4,0 (0,82)	2,9 (1,38)
Sultana	2,0 (0,00)	3,8 (0,50)	5,0 (0,82)	3,6 (1,38)
Lissabon	2,0 (0,00)	3,8 (0,50)	4,8 (1,26)	3,5 (1,38)
Ø Saatzeit	2,1 (0,72)	3,5 (0,73)	4,6 (0,96)	

Literatur

Imgraben, H. und J. Recknagel, 2013: Anbauanleitung für Sojabohnen. http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 213–214 (2013)

Bedeutung des Linsenanbaus für die Artenvielfalt – Auswirkungen auf Unkräuter und Feldvögel

Carola Pekrun[1], Alexander Koch[2], Markus Röhl[2], Jürgen Deuschle[3], Carolin Zimmermann[1], Roman Lenz[2] und Konrad Reidl[2]

[1] Institut für Angewandte Agrarforschung und [2]Institut für Landschaft und Umwelt, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, 72622 Nürtingen; [3]Tier und Landschaftsökologie, 73257 Köngen, E-Mail: *carola.pekrun@hfwu.de*

Einleitung

Die Linse (*Lens culinaris*) erlebt in einigen Anbaugebieten eine kleine Renaissance. Vor allem in ökologisch wirtschaftenden Betrieben stellt sie eine wichtige ökonomische Stütze dar. Der Linsenanbau hat jedoch nicht nur eine ökonomische Relevanz. Er könnte auch ökosystemare Dienstleistungen erbringen. Die Pflanze ist konkurrenzschwach und sehr wenig standfest. Sie benötigt eine Stützfrucht, welche sehr dünn gesät werden muss. Da Linsen i.d.R. auf sehr mageren Standorten angebaut werden, wo potentiell gefährdete Pflanzenarten im Samenvorrat vorhanden sind (KÜBLER-THOMAS, 1989), müsste der Linsenanbau zur Förderung dieser Arten beitragen. Ähnliches ist bei bodenbrütenden Feldvögeln zu erwarten, die lockere Bestände benötigen, um erfolgreich zu brüten.

Ziel des im Folgenden beschriebenen Projekts war es, die ökologischen Auswirkungen des Linsenanbaus auf die beiden Artengruppen zu prüfen.

Material und Methoden

Zur Erfassung der Unkräuter wurden 77 ha (2011) bzw. 83 ha (2012) Ackerflächen der ökologischen Erzeugergemeinschaft „Alb-Leisa“ (Schwäbische Alb) kartiert. Davon wurden in 2011 36 ha und in 2012 38 ha mit Linsen eingesät. Zum Vergleich wurde auf einem Teil der Fläche die Stützfrucht ohne Linsen, aber mit normaler Aussaatstärke ausgesät. Außerdem wurden zu Vergleichszwecken Getreide- und Kleegras-Schläge der EZG untersucht. Die Flächen wurden zwischen Anfang Juni und Ende Juli begangen. Hierbei wurden die Schläge umrundet und zweimal durchquert und alle Arten sowie die Dominanz der Ackerunkräuter bestimmt.

Zur Erfassung der Feldvögel wurden jeweils Punkt-Stopp-Zählungen auf Mais-, Raps-, Getreide- und Linsenschlägen durchgeführt. Hierbei wurden die Untersuchungsflächen an fünf Terminen von einem festen Punkt aus für jeweils 10 Minuten beobachtet und alle wahrgenommenen Vögel notiert, die in ihrem Verhalten einen Bezug zur untersuchten Fläche aufwiesen. Die Beobachtungen erfolgten am 17.04., 10.05., 01.06., 03.07. und am 23.07.2012.

Ergebnisse und Diskussion

Grundsätzlich wiesen die Äcker vergleichsweise hohe Artenzahlen der Ackerbegleitflora auf. Dies ist sicherlich mit dem Naturraum sowie der jahrelangen ökologischen Bewirtschaftung verbunden. So wurden in den Linsenäckern zwischen 44 und 70 Unkrautarten gefunden, im Mittel 54 (Tab. 1). In den Vergleichsflächen mit der in voller Aussaatstärke angebauten Stützfrucht waren es 39, auf den Getreideflächen 46 und auf den Kleegrasflächen 36 Arten. Von insgesamt 184 vorkommenden Arten besaßen 80 in den Linsenkulturen eine gleiche oder höhere Stetigkeit als in den Vergleichskulturen. Hierunter waren tendenziell mehr gefährdete Unkrautarten (nicht dargestellt). Auch der Unkrautdeckungsgrad wies in den

Linsenäckern mit durchschnittlich 27,1 % im Vergleich zu 13,7 % in den Getreideäckern höhere Werte auf.

Ein ähnlicher Sachverhalt war bei den Bodenbrütern festzustellen. Insgesamt wurden auch hier für heutige Verhältnisse hohe Artenzahlen festgestellt. Der Linsenanbau schien sich zusätzlich positiv auf die Populationen auszuwirken, wie in Abb. 1 beispielhaft für die Feldlerche dargestellt.

Tab. 1: Durchschnittliche Artenzahl der Ackerbegleitflora in den Schlägen.

Kultur	Gesamtfläche (ha)	Anzahl Schläge 2011	Anzahl Schläge 2012	Durchschnittliche Artenzahl 2011	Durchschnittliche Artenzahl 2012	Gesamtdurchschnitt Artenzahl
Linse	73,73	16	10	53	55	54
Stützfruchtreinsaat	2,82	7	0	39	-	39
Getreide	47,40	8	11	44	48	46
Kleegras-Gemenge	21,68	4	7	26	45	36

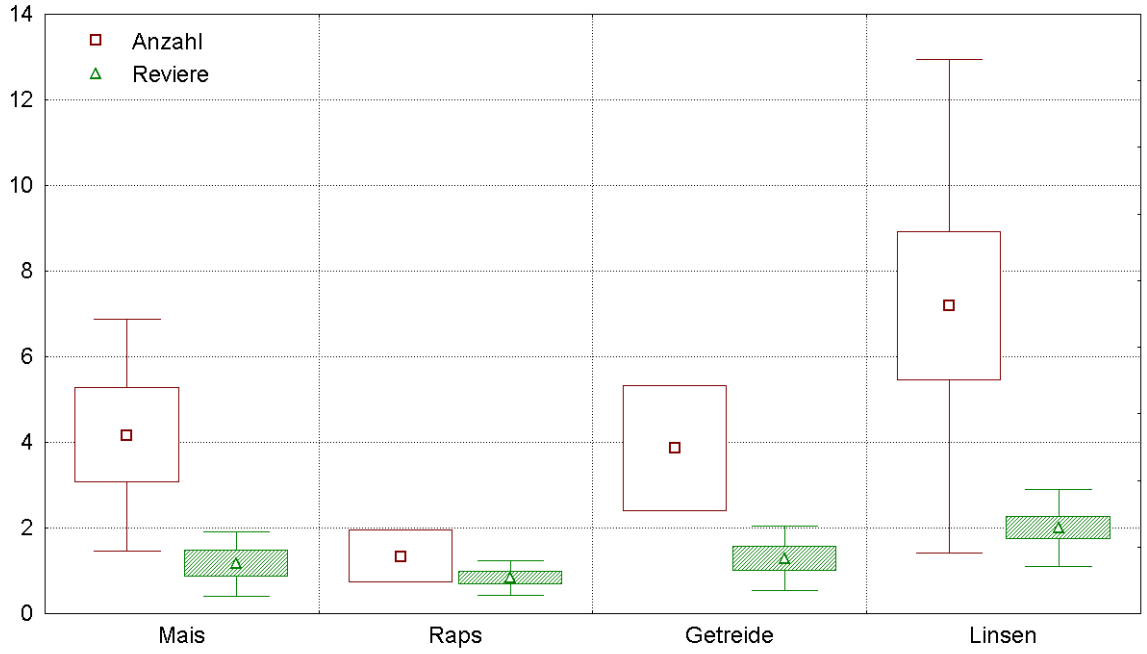


Abb. 1: Mittlere Anzahl von beobachteten Individuen und Revierzentren der Feldlerche im 150m-Radius um die Probeflächen der untersuchten Anbauformen (Mais n=6, Raps n=6, Getreide n=7, Linsen n=11.

Literatur

Kübler-Thomas, M., 1989: Schutzprogramm für Ackerwildkräuter. In: Arbeitsblatt Naturschutz 8, 1-16, 2. Aufl., Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 215–216 (2013)

Composition of cyanogenic glycosides in Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum* L.) collections: assessment of agro-ecological impacts

Kassa G. D.[1], Barthet V. J.[2], Bacala R.[2], Zikeli S[1]. Gruber S.[1], Claupein W.[1]

[1] Institute of Crop Science, University of Hohenheim, 70599 Stuttgart, Germany; [2]Grain Research Laboratory, Canadian Grain Commission, 1404-303 Main Street, Winnipeg, MB R3C 3G8, Canada. Email: *kassagetu@yahoo.com*

Introduction

Grown for its nutritive value and as cash crop, linseed (*Linum usitatissimum* L.) is one of the traditional rotation crops in the highlands of Ethiopia. Globally, the crop is grown for its fibre, oil and nutritive value (Morris *et al*., 2007). Its demand in international markets has been increasing due to its alpha-linolenic acid (ALA or Omega-3) content. However, linseed has also anti-nutritional contents which create health problems when consumed beyond the limit. These substances are called cyanogenic glycosides (CGs), and they release hydrocyanic acid (HCN) upon hydrolyses. They occur in linseed usually in a range of 0.1-1.5% of the seed compositions. This study was initiated to assess the levels of CGs in linseed accessions from Ethiopia and their relationship with environmental factors.

Materials and Methods

One hundred twenty linseed accessions were collected from 120 farmers in 21 districts in the highlands of Ethiopia in May 2011. Individual CG contents of linamarin, lotaustralin, linustatin, neolinustatin, and HCN were determined by gas chromatography according to Barthet and Bacala (2010), whereas soil nitrogen total, pH-water, organic carbon, and organic sulphur analyses were conducted using standard procedures at Holetta Agricultural Research Centre in Ethiopia. For each linseed samples, soil samples were collected from the corresponding farmlands where that specific seed was harvested, and geographic data (longitude and latitude) of the location was recorded. Based on the geographical data, long term average of temperature and precipitation of the locations were extracted from GIS sources. Simple correlation analyses were conducted between environmental factors including soil nutrition parameters and CGs to detect possible noticeable effects.

Results and Discussions

The level of the CGs was in the usual range (data not shown). All CGs had highly significant positive correlations with latitude of the growing environments, though the correlations themselves were not very high (Table 1). The CGs had highly significant but low negative correlations with soil organic carbon. There are no other reports which show such associations. Those environmental parameters which were not collinear in the multiple correlation analysis were regressed in multiple regression model against the CGs. Combined environmental factors accounted for 27% of the variability in linustatin compared to other CGs (data not shown). It has to be investigated whether these parameters are connected with each other. Differences in latitude primarily manifest in different day length; maybe there is a photo-periodic reaction of linseed or an increase in time for photosynthesis which also might be a physiological trigger for higher CGs in higher latitudes, though the pathway is not yet

clear. The other environmental parameters did not show uniform positive or negative correlations to all CGs, and the correlations were also quite low. Maximum temperature, rainfall, pH-water, and total nitrogen had significant correlations to at least two of the CGs. However, organic sulphur had significant negative correlations only with linamarin (Table 1). An unknown factor is the crop varieties in this study, as many farmers use seed saved from own harvests for a long time and the genotype cannot be determined.

Table 1. Correlation between environmental factors and cyanogenic glycosides of 120 Ethiopian linseed accessions from different Ethiopian districts

	Linamarin	***Lotaustralin***	***Linustatin***	***Neolinustatin***	***HCN***
Latitude	0.31**	0.32**	0.40**	0.30**	0.37**
Altitude	0.01	-0.04	-0.25*	-0.19*	-0.22*
Rainfall	-0.29*	-0.11	-0.14	0.01	-0.07
Max. temperature	0.00	0.07	0.27*	0.24*	0.26*
pH-water	0.21*	0.05	0.30**	0.15	0.22*
Nitrogen total	-0.14	-0.14	-0.21*	-0.17	-0.19*
Organic carbon	-0.28**	-0.25**	-0.34**	-0.24**	-0.30**
Organic sulphur	-0.21*	-0.09	-0.15	-0.08	-0.12

If there is obviously no direct and strong impact of the environment visible from the simple correlation and data evaluation of the presented study, Ethiopian farmers in all regions of the country would have the good opportunity to use linseed varieties or accession which fit well in their specific cropping system, e.g. in terms of favourable agronomic traits. Further analyses will follow to specifically analyse possible correlations between environmental factors and CGs.

Acknowledgement

The authors acknowledge the Netherlands Development Organization (SNV)-Ethiopia, KAAD and University of Hohenheim from Germany, and CGC from Canada for their contribution in funding and hosting the work.

Reference

Barthet V. J. and Bacala R. (2010). Development of optimized extraction methodology for cyanogenic glycosides from flaxseed (*Linum usitassimum*). *Agricultural Materials, Journal of AOAC International, 93*: 478 – 484.

Morris D. H. (2007). Flax - A health and nutrition primer (4th ed.). Flax Council of Canada, Winnipeg.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 217–218 (2013)

Screening von 293 Pflaumengenotypen hinsichtlich ihres Gehalts an gesundheitsfördernden, bioaktiven Inhaltsstoffen

Espig, F. [1], Graeff-Hönninger, S. [1], Claupein, W.[1]

[1] Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart
E-Mail: *franziska.espig@uni-hohenheim.de*

Einleitung

Bei der Züchtung von Obst- und Gemüsesorten wurde in den letzten Jahren der Fokus auf die Resistenz gegen Krankheiten sowie den Ertrag gelegt. Darüber hinaus spielen Zuchtziele wie der Geschmack, die Fruchtgröße und -farbe sowie die Transportstabilität eine große Rolle (Neumüller 2010). Aktuell gewinnen vermehrt aber auch gesundheitliche Aspekte von Obst- und Gemüsearten für die Züchtung an Bedeutung, wie z.B. der Gehalt an Vitaminen und sekundären Pflanzenstoffen. Eine Frucht mit bedeutenden Mengen an sekundären Pflanzenstoffen, vor allem an antioxidativ wirkenden Polyphenolen, ist die zur Familie der Rosengewächse zählende Pflaume (*Prunus domestica* L.) (Mubarak et al. 2012). Ziel war es, ein Screening von 293 verschiedenen Sorten und Zuchtklonen auf der Versuchsstation für Gartenbau der Universität Hohenheim zur Ernte 2012 durchzuführen, um Sorten mit einem hohen Gehalt an gesundheitsfördernden, bioaktiven Inhaltsstoffen, hohen Ertragsdaten sowie positiven sensorischen Eigenschaften zu identifizieren.

Material und Methoden

Die Pflaumenproben stammen von der Versuchsstation für Gartenbau der Universität Hohenheim und wurden im reifen Zustand geerntet. Die Ernte fand von Juli bis Oktober 2012 statt. Während vor der Ernte die Ertragsbonitur (Behang pro Baum) durchgeführt wurde, erfolgte nach der Ernte die Bestimmung des Einzelfruchtgewichts und der Trockenmasse (TM). Zur nicht destruktiven Messung der chemischen Verbindungen vor allem in der Schale der Pflaumen kam ein optischer, auf Fluoreszenztechnologie basierender Sensor zum Einsatz (Multiplex®, Force-A, Orsay, Frankreich). Auf Grundlage der Ergebnisse der Sensormessungen wurden 40 Sorten ausgewählt, die im Labor auf ihren Gesamtphenolgehalt analysiert wurden. In Vorbereitung der chemischen Analyse wurden die Früchte direkt nach der Ernte im Labor kleingeschnitten, mit flüssigem Stickstoff übergossen und bis zur Gefriertrocknung bei -20°C gelagert. Mit Hilfe von Trockeneis wurden die gefriergetrockneten Proben in einer Analysenmühle (A 10, IKA, Staufen) gemahlen. Die Bestimmung des Gesamtphenolgehalts erfolgte mit Hilfe des Folin-Ciocalteu-Reagenz. Gallussäure wurde als Standardlösung verwendet und das Ergebnis entsprechend als Gallussäure-Äquivalent (GAE) ausgedrückt. Die statistische Auswertung der Laborergebnisse wurde mit dem Statistikprogramm SAS 9.3 Prozedur Proc Mixed durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die erste Sorte (*Katinka*) wurde bereits am 23.07.12 geerntet. Die Ernte der 293 Sorten dauerte bis zum 08.10.12 an und deckte somit das gesamte Spektrum von Frühsorten bis zu sehr späten Sorten ab (Tab 1). Das Einzelfruchtgewicht (mit Stein) lag zwischen 13 g (Sorte Nr. 24 *Dittlespflaume*) und 122 g (Sorte Nr. 90 *Topgigant*

Plus). Der Trockenmasseanteil variierte zwischen 12 % (Sorte Nr. 11 *Topfirst*) und 37 % (Sorte Nr. 238 *Tragedy*), der Mittelwert lag bei 21 %.

Tab. 1: Einteilung der Sorten nach dem Erntetermin 2012

KW	Sorten Nr.	
30-31	1-36 (32 fehlt)	Frühsorten
32-33	37-85	Mittelfrühe Sorten
34-35	86-156	Mittelspäte Sorten
36-38	157-273	Späte Sorten
40-41	274-294	Sehr späte Sorten

Die Ergebnisse der Laboranalysen zeigten, dass sich der Gesamtphenolgehalt zwischen den Pflaumengenotypen signifikant unterschied ($p<0,05$; Abb. 1). Bereits einige frühe und mittelfrühe Sorten wiesen hohe Werte auf, wie Sorte Nr. 15 (*Frühe Fruchtbare Eckhoff*, geerntet am 26.07.12) mit einem Wert von 10,4 mg GAE/g TM und Nr. 52 (*Wilhelmine Späth*, geerntet am 08.08.12) mit 12,8 mg GAE/g TM. Somit scheint der Genotyp für den Gesamtphenolgehalt von größerer Bedeutung zu sein als der Reifezeitpunkt. Unter den 40 im Labor getesteten Sorten erzielte die Sorte Nr. 90 (*Topgigant Plus*) den höchsten Gesamtphenolgehalt (13,5 mg GAE/g TM). Diese Sorte wurde des Weiteren durch das höchste Einzelfruchtgewicht (122 g), einem Trockenmasseanteil von 23,2 % und einem geringen Ertrag charakterisiert. Zur Validierung der Ergebnisse werden die Pflaumensorten zur Ernte 2013 erneut beprobt.

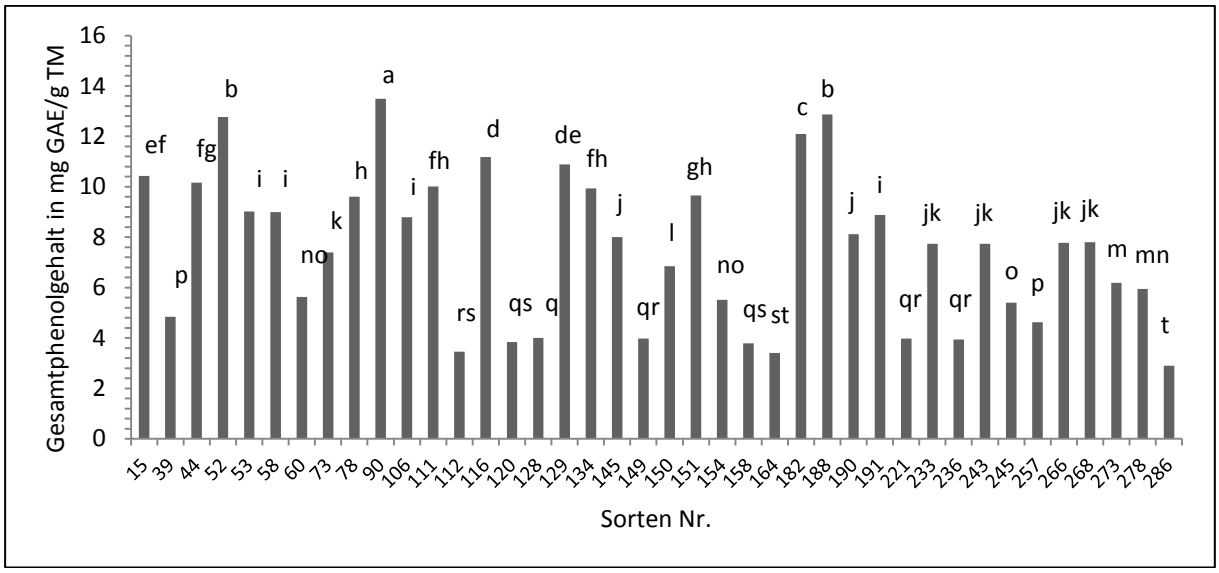


Abb. 1: Gesamtphenolgehalt verschiedener Pflaumengenotypen, ausgedrückt in mg Gallussäure-Äquivalent (GAE) pro g Trockenmasse (TM), unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, $p<0,05$

Literatur

Mubarak, A., Swinny, E.E., Ching, S., Jacob, S., Lacey, K., Hodgson, J.M., Croft, K.D., Considine, M.J. (2012): Polyphenol Composition of Plum Selections in Relation to Total Antioxidant Capacity. In: J. Agric. Food Chem 2012, 60, 10256-10262

Neumüller, M. (2005): Die Hypersensibilität der Europäischen Pflaume (Prunus domestica L.) gegenüber dem Scharkavirus (Plum pox virus). Dissertation Universität Hohenheim

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 219–220 (2013)

Einfluss von Saatgutbehandlung und Wachstumsbedingungen auf den Befall mit Falschem Mehltau und den Kornertrag von Gartenkresse (*Lepidium sativum* L.)

Stefanie Zeller und Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig Universität Gießen, Schubertstr. 81, 35392 Gießen. E-Mail: *Stefanie.Zeller@agrar.uni-giessen.de*

Einleitung

Die zur Familie der Brassicaceae gehörende Gartenkresse (*Lepidium sativum* L.) wird überwiegend im ökologischen Anbau vermehrt. Aufgrund eines seit einigen Jahren auftretenden Befalls der zur Vermehrung dienenden Kressebestände mit den Schaderregern des Falschen Mehltaus *(Hyaloperonospora parasitica*, *Perofascia lepidii*) sowie des Weißen Rosts (*Albugo lepidii*) ist die Saatgutproduktion der Gartenkresse in Deutschland stark gefährdet. Mit Falschem Mehltau befallene Pflanzen zeigen Verkrümmungen von Blättern, Seitentrieben und Sprossachsen. Zudem ist das Auftreten eines weißlichen Belags charakteristisch für Falschen Mehltau (Mandal et al. 2008). Die Verbreitung des Falschen Mehltaus kann über Sporen im Boden, sowie durch Regen und Wind erfolgen (Stegmark 1994). Die Übertragung durch infiziertes Saatgut ist ebenfalls möglich.

Auf Grund der vorgenannten Problematik werden Feld- und Gefäßversuche durchgeführt, in denen nicht-chemische Saatgutbehandlungsmethoden sowie unterschiedliche Wachstumsbedingungen evaluiert werden, um den Befall mit den genannten Schaderregern zu reduzieren. Im Beitrag werden die Ergebnisse des Gefäßversuchs 2012 und, soweit vorliegend, die Versuchsergebnisse 2013 vorgestellt.

Material und Methoden

Der zweifaktorielle Gefäßversuch (6 l/Gefäß) wird in der Gefäßversuchsstation Rauischholzhausen durchgeführt. Die Prüffaktoren umfassen A – Saatgutbehandlung und B – Wachstumsbedingungen. Im Prüffaktor Saatgutbehandlung ist Saatgut mit Wasserdampf bzw. mit Elektronen, in je zwei Intensitäten, behandelt worden. Der Prüffaktor B umfasst fünf Prüfglieder: (1) Gefäße unter Freilandbedingungen, (2) Pflanzenoberfläche trocken, vor Regen geschützt, (3) Pflanzenoberfläche periodisch feucht halten bis Schossbeginn, (4) Pflanzenoberfläche periodisch feucht halten ab Schossbeginn, (5) Boden kontaminiert. Bei dem kontaminierten Boden handelt es sich um Boden auf dem im Vorjahr mit Falschem Mehltau infizierte Kresse gewachsen ist. Im Gefäßversuch wurde die Befallsstärke mit dem Falschen Mehltau ab Infektionsbeginn wöchentlich bonitiert, bis kein weiterer Anstieg der Symptomstärke mehr zu verzeichnen war.

Ergebnisse und Diskussion

In beiden Versuchsjahren (2012 und 2013) trat die Infektion zu Beginn des Knospenstadiums auf. Im Jahr 2012 wiesen die Pflanzen des Prüfglieds „kontaminierter Boden“ deutliche Wuchsdepressionen sowie einen starken Befall mit dem Falschen Mehltau auf, der zu einem Totalausfall der Pflanzen dieses Prüfglieds führte. Die Kressepflanzen des Prüfglieds „Pflanzenoberfläche trocken“ wiesen einen signifikant geringeren Befall mit Falschem Mehltau auf. Des Weiteren erreichte die

Variante „trocken“ den höchsten Kornertrag. Die Prüfglieder mit den periodisch feucht gehaltenen Kressepflanzen ergaben im Vergleich zu den trocken und normal kultivierten Pflanzen einen verminderten Kornertrag. Die Tausendkornmasse unterscheidet sich sowohl zwischen den einzelnen Behandlungen, als auch zwischen den Wachstumsbedingungen der geernteten Körner nicht. Während der Bonitur auf Falschen Mehltau wurde beobachtet, dass sich die Infektion horizontal über den Pflanzenbestand ausbreitet.
Aufgrund der bisher vorliegenden Ergebnisse sind die verwendeten physikalischen Saatgutbehandlungsmaßnahmen unter den gegebenen Bedingungen nicht geeignet, um eine Infektion mit dem Falschen Mehltau bei Gartenkresse zu verhindern bzw. zu reduzieren. Die untersuchten Wachstumsbedingungen hatten dagegen einen signifikanten Einfluss auf die Infektion mit dem Falschen Mehltau. Hierbei kommt dem Einfluss der Blattfeuchte sowie der Verwendung eines Bodens ohne vorhergende Infektion mit Falschem Mehltau eine besondere Bedeutung zu.
Den bisherigen Ergebnissen zufolge sind Boden- und Feldhygiene, sowie die Nässedauer der Pflanzenoberfläche wichtige Faktoren zur Reduzierung von Falschem Mehltau bei Gartenkresse.

Literatur

Mandal K, Patel PR, Maiti S (2008): First report of downy mildew on *Lepidium sativum* in India. Australasian Plant Diseases Notes. 3: 73-74.

Stegmark R (1994): Downy mildew on peas (*Peronospora viciae* f sp *pisi*). Agronomie. 14: 641-647.

Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (FKZ: 2810OE115).

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 221–222 (2013)

Genetische Drift in Populationen des Deutschen Weidelgrases und Möglichkeiten von Selektionshilfen für die Betrachtung des Merkmals „Ausdauer“

Lydia Gerson[1], Klaus J. Dehmer[1] und Stephan Hartmann[2]

[1]Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), Gatersleben; [2]Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising.
E-Mail: *gerson@ipk-gatersleben.de*

Einleitung

Das Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne* L.) kommt in Grünland- und Rasenmischungen zur Anwendung, da es vor allem durch einen guten Wiederaustrieb, durch Trittfestigkeit sowie durch eine für Wiederkäuer günstige Zusammensetzung der Nährstoffe gekennzeichnet ist. Das Merkmal „Ausdauer“ stellt eine entscheidende Komponente für seine ökologisch sinnvolle, wie ökonomisch effiziente Verwendung in der Grünlandwirtschaft dar. Es kann über eine Reihe verschiedener Bonituren wie zum Beispiel Ausprägung des Wiederaustriebs, Stand nach/vor Winter und Resistenz gegen Schneeschimmel und deren Verlauf über mehrere Jahre eingeschätzt und bewertet werden (HARTMANN und GERSTLE, 2003; HARTMANN, 2004). Hierdurch bedeutet eine Selektion auf Ausdauer einerseits eine erhebliche Zeitverzögerung, andererseits zeigt dieses komplexe Merkmal sehr große regionale Ausprägungsunterschiede. Daher wurde versucht, Selektionshilfen in Form von molekulargenetischen Markern für das Merkmal „Ausdauer“ differenziert für zwei bekanntermaßen stark divergierende Umwelten zu entwickeln. Ziel war es, Kosten zu reduzieren und den Auswahlprozess zu beschleunigen.

In Populationen mit einem relativ kleinen Umfang an Individuen kann ein zufälliger Effekt auftreten, der als genetische Drift bezeichnet wird. Sie zeigt sich z.B. in Schwankungen in den Allelfrequenzen, die dem Zufall unterliegen. In den vorliegenden Populationen wurde die genetische Drift anhand von Bonituren erfasst. Die Bonituren wurden zu Merkmalen aus verschiedenen Versuchsjahren und in Wiederholungen angefertigt. Unter Anwendung molekularer Marker wurde anschließend versucht, diese genetische Drift auf genetischer Ebene nachzuweisen und mit den ermittelten Phänotypen in Zusammenhang zu bringen.

Material und Methoden

Im Zeitraum 2004 bis 2008 wurden 17 Futtersorten des Deutschen Weidelgrases an vier verschiedenen Standorten in Deutschland unter gleichen Bedingungen angebaut und bonitiert. Zwei Standorte befinden sich in Mittelgebirgslagen Bayerns und zwei Standorte in moorigen Umwelten in Niedersachsen. Die 17 Futtersorten wurden zudem an einem fünften Standort in maritimer Lage mit den entsprechenden Umwelteffekten in 2006 angebaut und bis 2008 bonitiert.

An der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Freising wurden nach den Richtlinien des Bundessortenamtes (BUNDESSORTENAMT, 2000) Bonituren in Populationen des Deutschen Weidelgrases an verschiedenen Standorten in Bayern vorgenommen und entsprechend ausgewertet (HARTMANN und GERSTLE, 2003;

HARTMANN, 2003). Diese Voruntersuchungen waren Grundlage für die Bearbeitung und den Anbau der vorliegenden Versuche sowie der durchgeführten Bonituren.
Die Firma TraitGenetics führte einen Illumina SNP (single nucleotide polymorphism) Genotyping Assays durch, wobei Proben geramschter DNA auf Verschiebungen in den Allelhäufigkeiten an 182 Weidelgras-Genloci untersucht wurden.

Ergebnisse und Diskussion

Es wurde erwartet, dass sich abhängig von den angebauten Sorten Standortanpassungen zeigen. Diese Anpassungserscheinungen sollten anhand von Veränderungen in den Allelfrequenzen nachvollziehbar sein. Die Vorüberlegungen dazu waren, dass sich Standort- und Sortenunterschiede in den verschiedenen Jahren der Probenahme zeigen. Auch die zu den phänotypisch passenden Veränderungen in den Allelfrequenzen sollten deutlich festzustellen sein.
Die Analyse der Allelfrequenzen zeigte zwar Verschiebungen bezüglich des Vergleichs der Standorte und der einzelnen Sorten, aber die erwartete Deutlichkeit konnte nicht festgestellt werden. Es wurden Einzelfälle ermittelt, die jedoch häufig nicht in direktem Zusammenhang mit der Auswertung der zugehörigen Boniturdaten zu stehen scheinen. Einer dieser Einzelfälle ist zum Beispiel die Allelfrequenzen der Sorte *Guru*, die an bestimmten Genloci abhängig vom Standort Unterschiede zeigen. Für den montanen Standort Hötzelsdorf in Bayern zeigen sich weitgehend einheitliche Werte der Allelfrequenzen in der Sorte *Guru*, während im Gegensatz dazu am moorigen Standort Schmalenbeck in Niedersachsen Verschiebungen der Allelfrequenzen in den zwei Probenahmejahren 2004 und 2008 nachzuweisen waren. In weiteren Sorten sollten sich ähnliche Tendenzen in den Allelhäufigkeiten zeigen. Es wird erwartet, dass sich die Allelfrequenzverschiebungen auf molekularer Ebene auch in den Boniturdaten der jeweiligen Sorte am spezifischen Standort und im entsprechenden Probenahmejahr feststellen lassen werden.

Literatur

BUNDESSORTENAMT; Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen; Landbuch Verlagsgesellschaft mbH Hannover; 2000; 4.18 -1-4.18 -20

HARTMANN, S.; Improvement of persistence in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) under the specific environmental conditions of Bavaria as an example of an integrated concept at the Institute of Crop Production and Plant Breeding in the Bavarian State Research Centre for Agriculture; Mitteilungen Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau 2003, Band 5, 163-166

HARTMANN, S., GERSTLE C.; Natural selection for persistence in rough regions of Bavaria in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and its impact on other characteristics; Mitteilungen Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau 2003, Band 5, 167-170

HARTMANN, S.; Stand und Perspektiven der Gräserzüchtung; 48. Jahrestagung, 2. September bis 4. September 2004 in Ettelbrück, 39-42

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 223–224 (2013)

Licht- und entwicklungsbedingte Modifikation sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe in drei Sorten der Zitronenmelisse (*Melissa officinalis* L.)

Marco Russo und Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Gießen, Schubertstr. 81, 35392 Gießen. E-Mail: *marco.russo@agrar.uni-giessen.de*

Einleitung

Die Zitronenmelisse (*Melissa officinalis* L.), die zur Familie der Lamiaceae gehört, wird wegen ihrer sekundären Inhaltsstoffe als Arznei- und Gewürzpflanze genutzt. Ihren charakteristischen Geruch trägt sie auf Grund ihres Gehaltes an ätherischem Öl, als dessen typische Komponenten Citral und Citronellal beschrieben wurden (Mimica-Dukic et al., 2004). Daneben enthält sie phenolische Verbindungen wie Phenolsäuren und Flavonoide. Als Leitsubstanz und pharmazeutisch relevanter Vertreter der phenolischen Verbindungen in der Zitronenmelisse gilt die Rosmarinsäure. Das Europäische Arzneibuch schreibt einen Rosmarinsäure-Gehalt von mindestens 1 % für die getrocknete Droge (*Melissae folium*) vor (Ph. Eur. 7., 2011). Die Blattdroge kann für die Zubereitung von Teeaufgüssen genutzt werden, daneben ist auch eine Nutzung von Extrakten üblich, beispielsweise als Wirkstoff in Cremes gegen Lippenherpes (*Herpes simplex*).

Die Konzentration der wertgebenden und antioxidativ wirksamen Inhaltsstoffe in der Zitronenmelisse wird nicht nur durch das Entwicklungsstadium der Pflanze, sondern auch von verschiedenen Umweltfaktoren, wie beispielsweise der Lichtexposition, beeinflusst. Dadurch bedingte Qualitätsschwankungen können die Vermarktungsmöglichkeiten einschränken. Ein besseres Verständnis der Faktoren, welche die Konzentration wertgebender Inhaltsstoffe modifizieren, ist daher von großem Interesse. Die vorliegende Untersuchung soll dazu beitragen, den Einfluss des Entwicklungsstadiums und der Lichtexposition auf die Bildung von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen in der Zitronenmelisse zu klären.

Material und Methoden

Im Jahr 2012 wurden Feld- und Gefäßversuche mit drei Sorten der Zitronenmelisse etabliert. Untersucht werden die Prüffaktoren Lichtexposition, Sorte und Schnitttermin (**Tab. 1**).

Für den Gefäßversuch (Gefäßstation Rauischholzhausen) wurden die Pflanzen in Mitscherlich-Gefäße (Volumen: 6 l, Erdsubstrat) gesetzt. Die Feldversuche wurden in den Versuchsstationen Rauischholzhausen (Lössboden) und Groß-Gerau (Sandboden) angelegt.

Das zu drei unterschiedlichen Entwicklungsterminen geerntete Pflanzenmaterial wird nach der Trocknung extrahiert. Mittels Laboranalysen werden die Gehalte an phenolischen Verbindungen (Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu) und ätherischem Öl sowie die antioxidative Kapazität (ORAC-Assay) bestimmt.

Tab. 1: Prüffaktoren und Prüfstufen in Gefäß- und Feldversuchen mit Zitronenmelisse (*Melissa officinalis* L.) in Rauischholzhausen und Groß-Gerau 2012 – 2013

Prüffaktor	**Prüfstufe**
Beschattung	ohne (natürliche Belichtung)
	Teilbeschattung (ca. 30 % geringere Lichtintensität)
Sorte	Erfurter Aufrechte
	Lemona
	NLC (nur Feldversuch Groß-Gerau sowie Gefäßversuch)
Schnitttermin	früh (Beginn Knospenstadium)
	optimal (Knospenstadium, vor der Blüte)
	spät (Blühbeginn)

Im ersten Versuchsjahr war im Gefäßversuch wegen der zögerlichen Entwicklung der Pflanzen nur ein Erntetermin möglich, daher wurden für das Jahr 2012 ausschließlich die Prüffaktoren Lichtexposition und Sorte untersucht. Das erste Vegetationsjahr in den Feldversuchen diente zur reinen Etablierung des Bestandes. Die Versuche werden in den Jahren 2013 und 2014 mit den Prüffaktoren Lichtexposition, Sorte und Schnitttermin weitergeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse des Gefäßversuches 2012 zeigten einen statistisch signifikanten Sorteneffekt bezüglich der Gehalte an ätherischem Öl und an Gesamtphenolen nach Folin-Ciocalteu sowie der antioxidativen Kapazität. Der Einfluss der unterschiedlichen Lichtbedingungen war nicht statistisch signifikant, es zeigte sich aber unter direktem Sonnenlicht die Tendenz niedrigerer Gehalte an ätherischem Öl und leicht erhöhter Gehalte an Gesamtphenolen sowie eine leicht erhöhte antioxidative Kapazität.

Die Ursache der tendenziell niedrigeren Gehalte an ätherischem Öl unter direkter Sonneneinstrahlung könnte in der erhöhten Evaporation im Vergleich zu den teilbeschatteten Pflanzen zu finden sein.

Die tendenziell erhöhten Werte der Gesamtphenole sowie der antioxidativen Kapazität scheinen die Hypothese des positiven Einflusses des Sonnenlichtes auf die Bildung phenolischer und antioxidativ wirksamer Verbindungen zu unterstützen.

Da die Pflanzen im ersten Versuchsjahr noch nicht vollständig entwickelt waren, werden die Feldversuche erstmalig im Jahr 2013 geerntet und analysiert werden. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Tagungsbandes lagen diesbezüglich noch keine Ergebnisse vor, über erste Resultate der Feldversuche sowie weitere Ergebnisse der Gefäßversuche wird auf der Tagung berichtet.

Literatur

Mimica-Dukic, N.; Bozin, B.; Sokovic, M.; Simin, N. (2004): Antimicrobial and Antioxidant Activities of *Melissa officinalis* L. (Lamiaceae) Essential Oil. J. Agric. Food Chem.. 52 (9), S. 2485–2489.

Ph. Eur. 7. (2011): Monographie Melissenblätter. In: Europäisches Arzneibuch. 7. Ausgabe. Stuttgart: Deutscher Apotheker Verlag, S. 1799–1800.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 225–226 (2013)

Produktion von Pfingstrosenwurzeln (*Paeonia lactiflora* PALL.) für die Verwendung in der Traditionellen Chinesischen Medizin

Heuberger, H.[1], Heubl, G.[2] und Bauer, R.[3]

[1] Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising; [2] Department Biologie I, Systematische Botanik der Ludwig-Maximilians-Universität München, [3] Institut für Pharmazeutische Wissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz, Graz.
E-Mail: *Heidi.Heuberger@LfL.bayern.de*

Einleitung

Die Anwendung der Traditionellen Chinesischen Medizin nimmt in Deutschland stetig zu. Über 3000 Ärzte und Heilpraktiker verschreiben im Rahmen ihrer Therapie Kräutermischungen, die die Patienten in spezialisierten Apotheken erhalten, auf Wunsch auch als fertige Abkochungen, sogenannte Dekokte. Um die Liefer- und Qualitätssicherheit der in der TCM eingesetzten Arzneidrogen (getrocknete Pflanzenteile) zu verbessern, werden seit 1999 an ausgewählten Arten in einem interdisziplinären Forschungsverbund Fragen der botanischen Identität, des feldmäßigen Anbaus, der Verarbeitung, der Züchtung, der pharmazeutischen Qualität und der Anwendung in der Praxis bearbeitet. Eine der untersuchten Pflanzen ist die Pfingstrose Paeonia lactiflora PALL. (Paeoniaceae), deren 0,5 bis 3 cm dicken, getrockneten und ungeschälten Wurzeln unter der Bezeichnung “Radix Paeoniae Rubra“ (Chishao) im Chinesischen Arzneibuch monographiert sind und einen Mindestgehalt von 1,8% Paeoniflorin aufweisen müssen.

Material und Methoden

Aus einem großen Sortiment von Ziersorten von *P. lactiflora* wurden dreijährige Wurzeln und Rhizome getrocknet und auf ihren Paeonifloringehalt untersucht. Daraus wurden je fünf inhaltsstoffreiche Sorten, die im Zierpflanzenbereich in großen Mengen angebaut werden, für einen Screening- und einen Exaktversuch ausgewählt, die auf dem Versuchsbetrieb Baumannshof der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft angelegt wurden. Beide Versuche waren dreifaktoriell, wobei zusätzlich zur Sorte auch der Einfluss des Entfernens der Blütenknospen und der Kulturdauer (2, 3 oder 4 volle Vegetationsjahre) geprüft wurden. Für den Screeningversuch (ohne Wiederholung) wurden im September 2006 von den Sorten ‘Alexander Fleming‘, ‘Sarah-Bernhardt‘, ‘Duchesse de Nemours‘, ‘Bunker Hill‘, und ‘Lady Alexander Duff‘ je Parzelle 16 Rhizome in 2 Reihen gepflanzt; Reihenabstand 75 cm, in der Reihe 40 cm, Parzellengröße 4,8 m². Für den Exaktversuch (drei Wiederholungen) wurden im September 2007 von den Sorten ’Marie-Lemoine‘, ‘Wladyslawa‘, ‘Charlies-White‘, ‘Mon. Charles-Leveque’ und ’Doreen‘ Parzellen mit 14 Rhizomen im selben Pflanzabstand angelegt. Die Rodung erfolgte im jeweiligen Erntejahr Ende September. Wurzeln und Rhizome wurden separiert, gewaschen, geschnitten und bei 40°C getrocknet. Die Trockengewichte wurden bestimmt und der Paeonifloringehalt nach Vorgaben des Chinesischen Arzneibuchs (1) ermittelt

Ergebnisse und Diskussion

Nach zwei Vegetationsperioden waren in beiden Versuchen bereits hohe Pfingstrosen-Wurzelerträge zu erzielen, die aber nach drei Jahren noch deutlich übertroffen wurden. Der Wurzelertrag lag über dem Rhizomertrag. Betrachtet man das eigentliche Verkaufsprodukt, die Wurzeldroge, so konnten im Screening bei der Ernte nach zwei Vegetationsjahren Erträge bis 110 dt/ha und ein Jahr später 150

bzw. 220 dt/ha erzielt werden. Die Ernte nach 4 Jahren (2010) ergab keine Steigerung. Die Einzelwurzelgewichte lagen zwischen 250 und 400 g Wurzeldroge/Pflanze. Im Exaktversuch lag der Wurzeldrogenertrag nach dem zweiten und dritten (2010) Vegetationsjahr bei 93,5 dt/ha und stieg im vierten Vegetationsjahr auf 166 dt/ha. Der fehlende Zuwachs 2010 steht im Zusammenhang mit der kühlen Witterung und hohen Niederschlägen im Mai/Juni und August sowie mit bereits im Juni einsetzendem, starkem Botrytis-Befall des Krauts.

Die Leistung der Sorten unterlag im Screeningversuch einer starken Jahresvariation, so dass lediglich ‘Bunker Hill‘ als ertragsschwächste Sorte auffiel. Im Exaktversuch zeigten ‘Doreen‘ und ‘Wladyslawa‘ die höchsten Wurzeldrogenerträge mit bis zu 200 dt/ha im vierten Vegetationsjahr. Das frühzeitige Entfernen der Blütenknospen resultierte im Exaktversuch in einem signifikanten Ertragsvorsprung von 13 und 15 dt/ha Wurzeldroge bei Ernte im zweiten bzw. dritten Vegetationsjahr und 41 dt/ha Wurzeldroge im vierten Vegetationsjahr gegenüber den Beständen, die ab dem zweiten Vegetationsjahr blühten und Samen ausbildeten. Im Screeningversuch hatte die Entfernung der Blütenknospen ebenfalls einen positiven Effekt. Der Befall mit Botrytis bzw. die Symptomentwicklung verlief nach Entfernen der Blütenknospen etwas langsamer.

Der vom Arzneibuch geforderte Paeoniflorinmindestgehalt von 1,8% wurde in beiden Versuchen von allen Sorten ab der Ernte nach 2 Vegetationsperioden erzielt. Der höchste Gehalt von 5,0% wurde von Bunker Hill im 3. Vegetationsjahr erreicht. Im Screening stieg er über die Kulturjahre an. Im Exaktversuch lagen die Jahresmittelwerte in allen Jahren um 4% Paeoniflorin. Das Entfernen der Blütenknospen hatte keinen Einfluss auf den Paeonifloringehalt. Die Rhizome wiesen insgesamt einen höheren Paeonifloringehalt (bis 5,7%) auf (nur im Screeningversuch untersucht).

Damit kann für *Paeonia lactiflora* ein Anbauverfahren mit gepflanzten Rhizomstücken, ausgewählten Sorten aus dem Zierpflanzenbereich und einer Ernte nach 3-4 Vegetationsjahren empfohlen werden. Das Entfernen der Blütenknospen in 1-2 Durchgängen/Jahr erhöht den Wurzeldrogenertrag. Ein Anbau in der Praxis findet seit 2010 auf 0,1 ha statt. Diese und weitere Ergebnisse finden Eingang in eine ausführliche Kulturanleitung.

Die Forschungsarbeit wurde finanziert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Literatur

1. Anonym (2005): Pharmacopoeia of the People’s Republic of China. English edition, Vol. 1. People’s Medical Publishing House, Beijing.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 227–228 (2013)

Kann Saatgutaktivierung die Keimung und Entwicklung von Zuckerrüben günstig beeinflussen?

Sabine Gruber[1], Julia Kraus[1], Michael Wahl[1], Markus Pflugfelder[2] und Wilhelm Claupein[1]

[1] Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340a), Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart.
[2] Versuchsstation Agrarwissenschaften, Standort Ihinger Hof, Universität Hohenheim, 71272 Renningen. E-Mail: *Sabine.Gruber@uni-hohenheim.de*

Einleitung

In der Etablierungsphase ist ein Pflanzenbestand besonders anfällig gegenüber Schaderregern oder ungünstigen Witterungsbedingungen. Mit „aktiviertem“ Zuckerrübensaatgut, d.h. nach einer Vorbehandlung des Saatguts mit physikalischen Verfahren (Priming), sollen Keimung, Feldaufgang sowie Jugendentwicklung schneller und gleichmäßiger gegenüber unbehandeltem Saatgut verlaufen, vor allem unter ungünstigen Aussaatbedingungen. Der Effekt einer günstig verlaufenden Etablierungsphase könnte sich letztlich ertragswirksam zeigen. Um diese Hypothesen zu prüfen, wurden auf Versuchsflächen der Universität Hohenheim in den Jahren 2012 und 2013 Feldversuche mit aktiviertem Zuckerrübensaatgut im Strip-Till Verfahren angelegt. Parallel dazu erfolgten im Labor Keimtests, um die Keimung unter kontrollierten Bedingungen zu beobachten.

Material und Methoden

Laborversuch: In einem Keimtest angepasst nach ISTA (2008) wurden im Jahr 2013 aktiviertes Saatgut, aktiviertes Saatgut plus Phosphor und eine Kontrolle bei Zuckerrüben geprüft. Sorte und Saatgutpartie waren bei allen Behandlungen identisch. Die pillierten Samen enthielten Standardinsektizide und -fungizide in üblichen Aufwandmengen. Je 50 Samen wurden in eine Petrischale (Ø 9 cm) mit Filterpapier und je 8 ml de-ionisiertem Wasser eingelegt, und in vier Wiederholungen je Behandlung Kombinationen von Licht und Dunkelheit und Temperatur (5 °C, 20 °C) ausgesetzt. Die Prüffaktoren waren zusammengefasst a) Saatgutaktivierung, b) Temperatur, c) Lichtverhältnisse. Nach 14 Tagen wurden alle Proben über sieben Tage alternierenden Licht- und Temperaturverhältnissen ausgesetzt (je 12 h 3 °C/Dunkelheit bzw. 30 °C/Licht), um ggf. Dormanz zu brechen.
Feldversuch: Auf dem Versuchsstandort Ihinger Hof/Universität Hohenheim wurde 2012 ein Feldversuch mit aktiviertem Zuckerrübensaatgut (Varianten wie oben) angelegt, der 2013 wiederholt wird. Die Bodenbearbeitung erfolgte im Strip Till-Verfahren im Herbst, die Aussaat mit 105.000 Körnern m^{-2} fand am 26.03.2012 in Parzellen von 6 x 24 m^2 mit acht Wiederholungen statt. In der Jugendphase erfolgte ein Monitoring in zeitlich engen Abständen. Am 12.06. und 26.06.2012 (BBHC 18-19) wurden Pflanzen auf 2 x 2,85 m je Parzelle zur Bestimmung der Spross- und Wurzeltrockenmasse geerntet.

Ergebnisse und Diskussion

Im Labor war die Keimung des nicht aktivierten Saatguts gegenüber aktiviertem Saatgut verzögert (Tab. 1). Bei 5°C waren nach 14 Tagen nur rund 25% der Samen der Kontrolle gekeimt, verglichen zu mehr als 95% beim aktivierten Saatgut. Die Keimfähigkeit (Tag 20) lag bei aktiviertem Saatgut um ca. 25% über dem der

Kontrolle (nicht gezeigt). Die Zugabe von Phosphor hatte keinen messbaren Effekt. Bei 20°C waren die Unterschiede zwischen den Varianten weniger ausgeprägt; Unterschiede zwischen Licht und Dunkelheit waren gering (nicht gezeigt).

Tabelle 1: Keimung von aktiviertem (A) Zuckerrübensaatgut, aktiviertem Saatgut mit Zugabe von Phosphor (A+P), und einer nicht aktivierten Kontrolle (K) im Labor bei zwei Temperaturen unter Licht.

	5°C Licht			20°C Licht		
	K	A	A+P	K	A	A+P
Tage bis Beginn Keimung	9	7	7	2	2	2
Samen mehrheitlich gekeimt[1)]	20[2)]	14	14	8	6	6
Keimfähigkeit (%) bis Tag 14	25,5	95,0	95,5	91,5	99,5	98,0

[1)] Plateauphase der Keimkurve erreicht (Tag) ; [2)]geschätzt auf Grund fehlender Messwerte zwischen Tag 14 bis 20; max. Keimung erreicht zwischen Tag 15 und Tag 20.

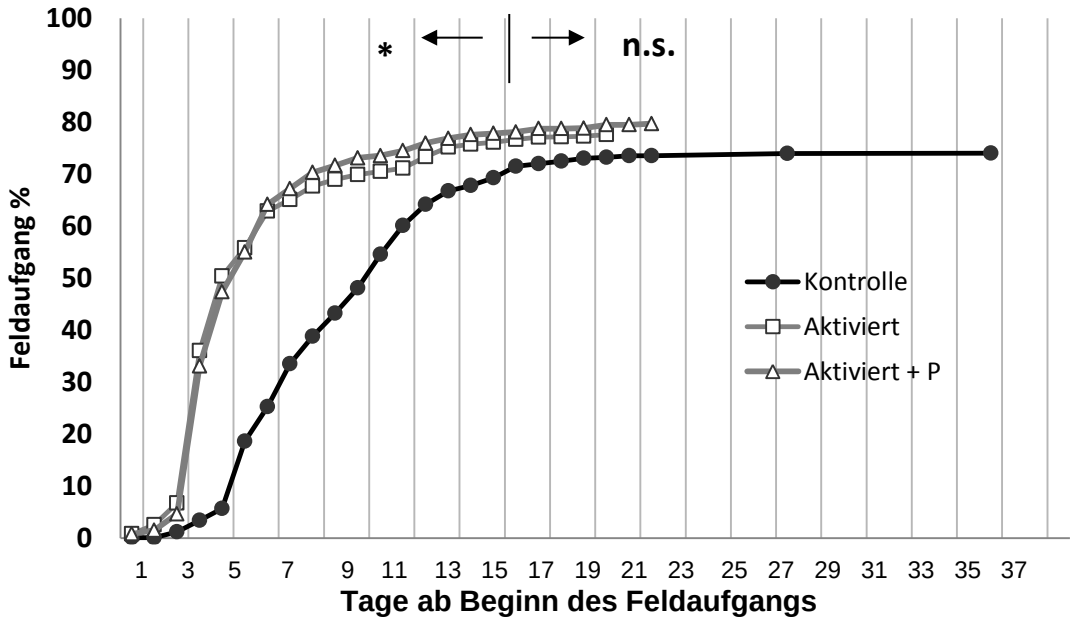


Abb. 1. Entwicklung des Feldaufgangs von aktiviertem und nicht aktiviertem Zuckerrübensaatgut; Ihinger Hof, 2012. Signifikanz für Vergleich Aktiviert - Kontrolle.

Im Feld zeigte sich 2012 bei der Kontrolle eine ähnliche Verzögerung des Feldaufgangs um ca. eine Woche gegenüber aktiviertem Saatgut (Abb. 1). Der Feldaufgang der Kontrolle war um 3,5 % geringer als der des aktivierten Saatguts. Hier sowie bei der späteren Erfassung der Gewichte von Rübenkörper und Blattmasse an zwei Terminen im Juni gab es keine signifikanten Unterschiede, doch wiesen Pflanzen aus aktiviertem Saatgut tendenziell höhere Gewichte auf. Die Ergebnisse des Jahres 2013 stehen noch aus. Insgesamt führte die Saatgutaktivierung zu einer Beschleunigung der Jugendentwicklung; wie sich dieser Effekt dauerhaft auf den Ertrag und die Ertragssicherheit auswirkt, bleibt zu prüfen.

Literatur

ISTA (2008). Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut. International Seed Testing Association (Hrsg.), Bassersdorf, Schweiz.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 229–230 (2013)

Untersuchung des CWSI-Index zur Erklärung von Ertragsdifferenzen zwischen bewässerten und unbewässerten Roggenhybriden einer Züchtungspopulation

Rikard Graß[1], Ulf Böttcher[1], und Hennig Kage[1]

[1]Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, CAU Kiel. E-Mail: grass@pflanzenbau.uni-kiel.de

Einleitung

Hohe Genotyp – Umwelt Interaktionen führen in einem hauptsächlich auf Ertragsdaten unter Trockenstress basierenden Züchtungsprozess zu niedrigen Heritabilitäten der Trockenstresstoleranz. Der Crop Water Stress Index (CWSI) nach Jackson et. al. 1988, als eine theoretische Schätzung des Verhältnisses von aktueller zu potentieller Transpiration von Beständen kann möglicherweise als sensitiveres und spezifischeres Maß für Trockenstress dienen. Seine Anwendung könnte zu einem besseren Verständnis der unter gegebenen Umweltbedingungen zu Trockenstresstoleranz führenden pflanzenphyisologischen Eigenschaften beitragen.

Material und Methoden

In einem Zuchtgarten in Wohlde (Niedersachsen) wurden 2011 zwei biparentale Populationen aus 480 Roggenhybriden und ihren Eltern in einem Split-Plot-Design zweifach wiederholt in zwei Umwelten angebaut. Die Trockenstressumwelt erhielt nur natürlichen Niederschlag und die Kontrollumwelt wurde mit Tropfschläuchen optimal mit Wasser versorgt. Der Standort gliederte sich in zwei Teilblöcke mit unterschiedlicher Bodenart (schluffiger Sand über Sand „sandig“ und schluffiger bis lehmiger Sand „lehmig“). Beide zeichnen sich durch eine geringe nutzbare Feldkapazität im durchwurzelten Bodenraum (nFK_{WE}) von 162.5 mm (lehmig) und 115 mm (sandig) aus. Die maximale Durchwurzelungstiefe von 80 cm war im Wesentlichen durch eine Schicht aus Grobsand und Ortstein begrenzt. Der relative Wassergehalt (Ausgedrückt in % nFK_{WE}) wurde aus Bodenwassergehaltsmessungen (Diviner 2000, Sentek) und Texturanalysen abgeleitet.

An mehreren Terminen zwischen Schossen und Reife wurden für alle Parzellen mit einem georeferenzierten und traktorbasierten Messsystem Bestandestemperatur (Apogee IR 120 Sensoren), Blattflächenindex (spektrale Reflexion) sowie aktuelle Witterungsparameter (Windgeschwindigkeit, Umgebungstemperatur, Luftfeuchte, Nettostrahlung) erfasst. Aus den erfassten Parametern wurde der CWSI berechnet und zur Ertragsreduktion (Ertragsreduktion = (1-Kornertrag Trockenstress / Kornertrag Kontrolle)*100) ins Verhältnis gesetzt. Der CWSI kann Werte zwischen 0 (aktuelle Transpiration = potentielle Transpiration) und 1 (aktuelle Transpiration << potentielle Transpiration) annehmen.

Ergebnisse und Diskussion

Die mittleren Erträge der Kontrollumwelten beider Teilblöcke unterschieden sich nicht signifikant. Unter Trockenstressbedingungen nahm der Ertrag um durchschnittlich 26.3% (lehmig) und 40.5% (sandig) ab (vergleiche Hübner et al. 2012).

Zur Blüte am 30.5.2011 wurde zwischen 10:00 Uhr und 15:00 in Wohlde bei warmen wolkenfreien Bedingungen bei einer mittleren Nettostrahlung von 520 W/m² und einer Umgebungstemperatur von 24.2 °C gemessen. Die Bestandestemperaturen lagen unter Trockenstress im Mittel 2.6 °C über und in den bewässerten Parzellen 1,5 °C unter der Umgebungstemperatur. Die Bodenwassergehalte lagen in den

Trockenstressbehandlungen zwischen 20% nFK_{WE} (sandig) und 25% nFK_{WE} (lehmig). Im Mittel wurden CWSI-Werte zwischen 0.4 (lehmig) und 0.6 (sandig) erfasst. Die aktuelle Transpiration in der Trockenstressumwelt war also zum Messzeitpunkt um etwa 60% bzw. um 40% gegenüber der potentiellen Transpiration reduziert. Es gab eine deutliche Differenzierung der Genotypen hinsichtlich des CWSI und der Ertragsreduktion. Der CWSI korreliert positiv mit der Ertragsreduktion (Abb. 1). Die Korrelation war dabei für den lehmigen Teilblock deutlich enger (adj. R^2 = 0.52 $P<0.001$) als für den sandigen Teilblock (adj. R^2 = 0.17 $P<0.001$). Die Differenzierung des CWSI deutet auf genotypische Unterschiede des Wasseraneignungsvermögens, Stomatareaktion und Blattflächenentwicklung hin.
Eine Analyse von CWSI-Zeitreihen kann möglicherweise zu einer Gruppierung der Genotypen hinsichtlich ihrer Ertragsreaktion unter Trockenstress führen, was eine Selektion auf Trockenstresstoleranz u.U. auch bei geringer oder unterschiedlicher Ausprägung des Trockenstresses ermöglicht.

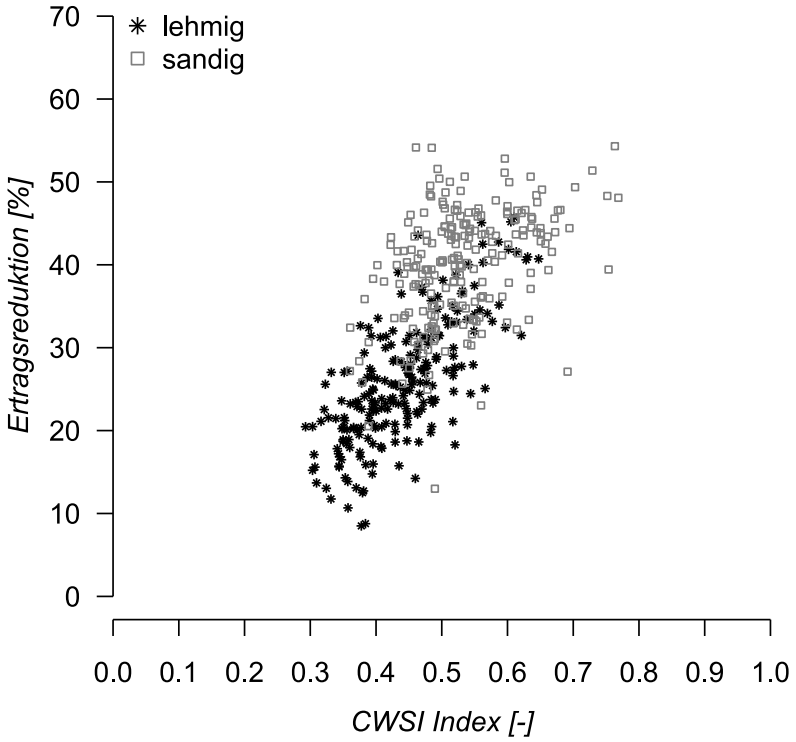


Abb. 6: Beziehung zwischen CWSI Index in der Trockenstressumwelt und Ertragsreduktion (Ertragsreduktion = (1-Ertrag Trockenstressumwelt / Ertrag Kontrolle)*100) am 30.5.2011 in Wohlde (Niedersachsen). Die Beziehung ist für den sandigen und lehmigen Teilblock getrennt dargestellt.

Literatur

Hübner, M., Wilde, P., Schmiedchen, B., Dopierala, P., Gowda, M., Reif C.J., Miedaner, T. 2012. Hybrid rye performance under natural drought stress in Europe. Theor Appl Genet, .126 (2), 475-482.

Jackson, R.D., Kustas, W.P. & Choudhury, B.J., 1988. A Reexamination of the Crop Water Stress Index. Irrig Sci, 9, 309–317.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 231–232 (2013)

Einfluss der funktionellen Gruppen und Artenzahl des Grünlands auf die Silagequalität

Liina Nurk, Thomas Fricke, Björn Reddersen, Michael Wachendorf

Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, DE, Liina.Nurk@emu.ee

Einleitung

Bei einer gut vergorenen Silage ist es wichtig, dass der pH-Wert unter 4,5 liegt und damit verbunden genug Milchsäure in einem akzeptablen Verhältnis zur Essigsäure (ca. 4:1) sowie möglichst wenig Buttersäure als Indikatoren für Fehlgärungen gebildet werden. Diese Parameter werden neben den Silierbedingungen von chemisch-physikalischen Eigenschaften der Pflanzen und damit durch die Artenzusammensetzung und den Schnittzeitpunkt beeinflusst. Ziel dieser Untersuchung war, zu bewerten, in welchem Ausmaß die Anzahl der Pflanzenarten sowie das Vorkommen und die Kombination funktioneller Gruppen die Silagequalität beeinflusst.

Material und Methoden

Grundlage für die Analysen und statistischen Auswertungen bilden Silagen aus 82 Hauptparzellen des zweischürigen Jena Experimentes aus dem Jahr 2009. Das Jena Experiment ist ein langfristig angelegtes Biodiversitätsexperiment in extensivem Grünland, bestehend aus verschiedenen Kombinationen aus einem Artenpool von 60 Arten mitteleuropäischer Glatthaferwiesenvegetation, angelegt auf einer ungedüngten, vollständig randomisierten Blockanlage. Die Artenkombinationen umfassen, in 4-facher Wiederholung, eine aufsteigende Artenzahl von 1-60 Arten mit verschiedensten Kombinationen aus bis zu vier funktionellen Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter). Die zu den zwei Schnittzeitpunkten im Mai und August 2009 entnommene Biomasse aus den Kernzonen der jeweiligen Parzellen wurde in luftdichten Behältern (2l Weckgläser), ohne Silierzusätze und unter konstanten Bedingungen siliert. Zur Bewertung der Silierqualität wurden nach Abschluss der Silierung die Gehalte an Milchsäure, Buttersäure, Essigsäure sowie pH-Werte mit Hilfe von Standardanalysemethoden bestimmt. Die statistische Auswertung für den Einfluss von Artenzahl und funktionellen Gruppen auf die Qualitätsparamter erfolgte mit Hilfe von einer sequenziellen Varianzanalyse (Anova) (Khalsa et al., 2012). Die Effekte der Abundanzen einzelner funktioneller Gruppen wurden zusätzlich mit Hilfe einer linearen Regressionsanalyse bewertet. Alle Analysen wurden mit dem Statistikprogramm R Version 2.15.2 (R Core Team, 2012) durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Silagen wiesen mit pH-Werten von 4,01 – 6,04 einen Bereich hoher bis minderwertiger Qualitäten auf. Der zu unterschreitende pH-Wert von 4,5 wurde von 79 der 142 untersuchten Proben überschritten und auch die Buttersäuregehalte (0.001 – 2,02 % d. FM) liegen bei 59 Proben über dem Grenzwert von 0.3 %. Bei 44 Proben werden beide Zielgrößen nicht erreicht. Da in der experimentellen Silierung ein optimaler Luftabschluss vorlag, sind Ursachen für die unterschiedlichen Gärverläufe in der Zusammensetzung der Substrateigenschaften zu suchen. Wesentlichen Einfluss scheinen die unterschiedlichen Aufewuchsperioden zu haben

(Tab. 2) wobei die Aufwüchse des zweiten Schnittes im Mittel eine deutlich schlechtere Silagequalität aufwiesen (Tab. 1). Die Pflanzenartenzahl sowie das Vorkommen funktioneller Gruppen und deren Kombinationen hatten dagegen keinen signifikaten Einfluss auf die Gärparameter (Tab. 2) unabhängig von der Reihung der Variablen in der Varianzanalyse (Daten nicht gezeigt). Unter Berücksichtigung des quantitativen Ertragsanteils zeigte sich jedoch ein signifikanter Einfluß (Tabelle 3.) kleiner Kräuter auf pH-Wert und Buttersäure. Höhere Anteile kleiner Kräuter korrelierten hier mit höheren Werten beider Parameter und können somit zu einer schlechteren Silagequalität beitragen.

Tab. 1: Kenngrößen der Silagequalität aller Proben und getrennt nach Aufwüchsen als Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximumwerte (% von FM)

Gesamt					Schnitt 1					Schnitt 2				
	pH	Milch-säure	Essig-säure	Butter-säure		pH	Milch-säure	Essig-säure	Butter-säure		pH	Milch-säure	Essig-säure	Butter-säure
mittelw	4.70	1.33	0.34	0.38		4.39	1.50	0.31	0.40		5.01	1.17	0.37	0.37
stabw	0.46	0.64	0.18	0.44		0.21	0.56	0.16	0.42		0.43	0.67	0.20	0.45
min	4.01	0.001	0.07	0.001		4.01	0.47	0.09	0.001		4.26	0.001	0.07	0.001
max	6.04	3.25	1.15	2.02		4.95	3.25	1	1.85		6.04	2.76	1.15	2.02

Tab. 2: Ergebnisse der Varianzanalyse mit Haupteffekten und Interaktionen unter Einbezug von Schnitttermin, Artenvielfalt (AV), funktionelle Gruppen (FGR), sowie der Kombination funktioneller Gruppen (FGK) auf Silagequalitätsparameter

	pH				Milchs			Butters			Essigs		
	Df	F wert	Pr(>)		F	P		F	P		F	P	
Block	3	4.092	0.011	*	0.592	0.623		7.194	0.000	***	3.384	0.025	*
Log (AV)	1	3.303	0.075	.	0.042	0.839		0.016	0.900		0.324	0.572	
FGR	1	0.36	0.551		0.361	0.55		0.28	0.599		0.807	0.373	
FGK	11	1.049	0.419		1.303	0.248		0.988	0.469		2.161	0.031	*
Residuals	54												
Schnitt	1	194.225	<2e-16	***	10.757	0.002	**	0.274	0.603		7.681	0.008	**
SchnxLog (AV)	1	3.56	0.064	.	2.529	0.117		1.672	0.201		1.647	0.205	
SchnxFGR	1	1.226	0.273		0.291	0.592		3.874	0.054	.	0.405	0.527	
SchnxFGK	11	1.561	0.136		1.56	0.136		1.641	0.112		1.223	0.293	
Residuals	57												

Tab. 3: Ergebnisse für den Gesamtdatansatz und en ersten Aufwuchs der linearen Regressionsanalyse mit Silagaequalitätsparametern als Abhängige und den Ertragsanteilen der funktionellen Gruppen als Unabhängige. Der zweite Schnitt wurde mangels signifikanter Effekte nicht dargestellt.

		pH			Milchs			Butters			Essigs		
All		F	P		F	P		F	P		F	P	
Gräser		0.149	0.882		-1.164	0.247		0.033	0.974		-2.275	0.025	*
Kleine Kräuter		2.771	0.006	**	-0.950	0.344		2.727	0.007	**	-2.112	0.036	*
Grosse Kräuter		-1.849	0.067	.	-0.233	0.816		-1.894	0.060	.	2.065	0.041	*
Leguminosen		-2.096	0.038	*	2.047	0.043	*	-0.863	0.390		1.912	0.058	.
Schnitt 1													
Gräser		1.737	0.087	.	-0.952	0.344		1.444	0.153		-2.774	0.007	**
Kleine Kräuter		2.098	0.040	*	-0.619	0.538		2.363	0.021	*	-2.204	0.031	*
Grosse Kräuter		-2.847	0.006	**	-0.744	0.459		-1.872	0.066	.	2.334	0.023	*
Leguminosen		-1.858	0.067	.	1.511	0.135		-1.686	0.096	.	1.135	0.260	

Literatur

Khalsa J., Fricke T., Weissert W.W., Weigelt A., Wachendorf M. 2012 Effects of functional groups and species richness on biomass constituents relevant for combustion: results fron a grassland diversity experiment

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 233–234 (2013)

Kaskadennutzung von Schnitt- und Rodungsholz aus Obstplantagen als biogener Festbrennstoff

Martin Schmid, Ralf Pude

Forschungsbereich Nachwachsende Rohstoffe, Campus Klein-Altendorf; Rheinbach; Universität Bonn; E-Mail: mschmid@uni-bonn.de

Einleitung

Die steigende Weltbevölkerung mit neuen Ernährungsgewohnheiten bei gleichzeitiger Verknappung landwirtschaftlicher Nutzflächen durch Industrie- und Siedlungsbau, sowie die Folgen des Klimawandels auf die Landbewirtschaftung und Umwelt sind die Herausforderungen für die moderne Landwirtschaft. Neben der klassischen Nahrungs- und Futtermittelproduktion werden zunehmend Flächen zur Erzeugung von Energiepflanzen zur Diversifizierung der landwirtschaftlichen Produktion genutzt. Diese Entwicklung treibt eine in der Politik und Gesellschaft geführte „Tank oder Teller“ –Diskussion an. Mit dem Projektvorhaben wird ein praxisgerechtes Modell aufgezeigt, mit dem durch Kaskadennutzung von Obstplantagen die Erzeugung von Nahrungsmitteln und Energieträgern synergetisch möglich ist.

Neben dem hochwertigen Nahrungsmittel Obst fallen in Baumobstplantagen holzartige Biomassen in einem Kaskadensystem an. Ziel des Vorhabens war es, diese Biomassepotenziale quantitativ und qualitativ zu beschreiben.

Material und Methoden

Die Versuche fanden in Apfelplantagen am Campus Klein-Altendorf der Universität Bonn statt, welche nach obstbaulicher Fachpraxis bewirtschaftet wurden.

Der jährliche Ertragsschnitt wurde in den Jahren 2010 bis 2012 mit einem Schnittholzsammelgerät der Firma Kuhn aufgesammelt und anschließend wurde die Frischmasse bestimmt. Es standen Apfelanlagen auf der Unterlage M9 mit verschiedenen Sorten und in unterschiedlichen Standjahren zur Verfügung. Das gesammelte Schnittholz wurde auf dessen Brennstoffeigenschaften untersucht. Der Wassergehalt wurde nach DIN 14774-2, der Aschegehalt nach DIN 14775 und der Brennwert nach der Isoperibol-Methode am Kalorimetersystem C200 der Firma IKA ermittelt. Die Brennstoffeigenschaften wurden jeweils in drei Wiederholungen pro Variante gemessen.

Um die Rodungsholzmenge einer Apfelplantage zu bestimmen wurden drei verschiedene Sorten Apfelbäume im 14. Standjahr mit einem neu entwickelten Baumroder (RB 60 Klein-Altendorf) komplett (inkl. Wurzel, M9) gerodet. Von jeweils 10 Bäumen wurde das Gewicht bestimmt. Anschließend wurden die Brennstoffeigenschaften des Rodungsholzes nach den gleichen Methoden wie beim Schnittholz bestimmt.

Die Auswertung erfolgte mit einer einfaktoriellen ANOVA der Mittelwerte mittels des Tukey-HSD-Tests.

Ergebnisse und Diskussion

Mit dem jährlichen, manuellen Ertragsschnitt von modernen Apfelanlagen wird abhängig von Kulturführung und Witterung ein mittlerer Biomasseertrag von 1,2 t $TM*ha^{-1}*a^{-1}$ erzielt. Die brennstofftechnischen Eigenschaften von Obstschnittholz

sind durch hohe durchschnittliche Aschegehalte von 4,17%, bedingt durch einen hohen Rindenanteil, gekennzeichnet. Durch den anorganischen Rückstand besitzt der Brennstoff einen verminderten Brennwert (18,94 MJ*kg^{-1}) sowie Brennstoffqualität. Zwischen den Sorten und Standjahren konnten hinsichtlich des Ertrags und der Brennstoffeigenschaften keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Tabelle 1: Erträge und Brennstoffqualitäten von Obstschnittholz

Sorte	**Stand-jahr**	**FM [kg*ha^{-1}]**	**w [%]**	**TM [kg*ha^{-1}]**	**Aschegehalt [%]**	**Brennwert [MJ*kg^{-1}]**
Jonagold	13	1.943 ^{ns}	40,33 ^{ns}	1.159 ^{ns}	3,94 ^{ns}	18,94
Jonagold	14	1.935 ^{ns}	35,50 ^{ns}	1.248 ^{ns}	4,27 ^{ns}	18,95
Jonagored	15	1.970 ^{ns}	37,17 ^{ns}	1.238 ^{ns}	4,30 ^{ns}	18,72
Sortenmix	5	1.850 ^{ns}	40,17 ^{ns}	1.107 ^{ns}	4,16 ^{ns}	19,14
Mittel		**1.925**	**38,29**	**1.188**	**4,17**	**18,94**

(FM: Frischmasse; w: Wassergehalt; TM: Trockenmasse; ^{ns}: nicht signifikant; Signifikanzen: Tukey-HSD-Test, α ≤ 0,05)

Nach einer Nutzungszeit von 10-15 Jahren werden moderne Apfelanlagen gerodet. Zur Nutzung dieser Ressourcen wurde ein neues Rodeverfahren „RB 60 Klein-Altendorf“ entwickelt. Dabei werden die Obstbäume mit der Wurzel und dem Stützpfahl aus dem Boden geborgen.

Die Rodungsholzmenge wurde sortenabhängig mit 12,3-19,5 t TM*ha^{-1} bestimmt. Es zeigten sich zwischen den Sorten signifikante Unterschiede im Aschegehalt (3,86-5,18%). Aufgrund der hohen anorganischen Anteile im Brennstoff ist der Brennwert auf einem niedrigen Niveau von 18,58 MJ*kg^{-1}. Auch beim Brennwert wurden zwischen den Sorten signifikante Unterschiede festgestellt.

Tabelle 2: Erträge und Brennstoffqualität von Rodungsholz aus Obstplantagen

Sorte	**Stand-jahr**	**FM [kg*ha^{-1}]**	**w [%]**	**TM [kg*ha^{-1}]**	**Aschegehalt [%]**	**Brennwert [MJ*kg^{-1}]**
Boskoop	14	26.520^{abc}	42,46 ^{ns}	15.260 ^{ns}	5,18 ^{a}	18,40 ^{c}
Elstar	14	34.060^{ab}	42,59 ^{ns}	19.554 ^{ns}	4,12 ^{bc}	18,55 ^{bc}
Gala	14	21.060^{bc}	41,76 ^{ns}	12.265 ^{ns}	3,86 ^{c}	18,78 ^{ab}
Mittel		**27.213**	**42,27**	**15.693**	**4,39**	**18,58**

(FM: Frischmasse; w: Wassergehalt; TM: Trockenmasse; ^{ns}: nicht signifikant; Signifikanzen: Tukey-HSD-Test, α ≤ 0,05)

Die Nutzung von Schnitt- und Rodungsholz ist eine energetisch interessante Alternative mit der ca. 1.000 Liter Heizöl pro Hektar und Jahr ersetzt werden können. Die regionale Wertschöpfung ist durch die Kaskadennutzung sehr hoch. Bei einem aktuellen Anbauumfang von 45.000 Hektar Baumobstfläche in Deutschland (DESTATIS, 2012) können mit der Nutzung der Potenziale rund 19.000 Haushalte mit Wärmeenergie versorgt werden, ohne zusätzliche land- und forstwirtschaftliche Fläche für die Energieversorgung zu belegen.

Literatur

DESTATIS, 2012: Erzeugung und Verbrauch von Nahrungsmitteln. Presseexemplar, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 235–236 (2013)

Ertragspotential von Sorghum an unterschiedlichen Standorten in Deutschland

Anja Hartmann[1], Maendy Fritz[1], Tobias Glauert[2], Carsten Rieckmann[2]

[1] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing; [2]Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover; E-Mail: anja.hartmann@tfz.bayern.de

Einleitung

Sorghum hat ein hohes Ertragspotential und kann auch bei Trockenheit gute Erträge liefern. In Ergänzung oder als Alternative zu Mais kann Sorghum zur Sicherung der Substratversorgung von Biogasanlagen beitragen, wenn dessen Anbau aufgrund phytosanitärer (Westl. Maiswurzelbohrer) oder gesetzlicher Vorgaben (EEG, Cross Compliance) beschränkt ist oder Sommertrockenheit den Anbau riskant macht. Die Sorghumanbaufläche in Deutschland ist bisher gering, doch das Interesse an dieser noch weitgehend unbekannten Kultur steigt und die Sortenvielfalt nimmt zu. Eine standortangepasste Sortenwahl ist essentiell für einen erfolgreichen Anbau. Ziel dieses Vorhabens ist daher eine umfassende Prüfung der auf dem Markt erhältlichen Sorten für verschiedene Anbauregionen Deutschlands.

Material und Methoden

Das dreijährige Forschungsvorhaben umfasst die Untersuchung von 13 Sorghumsorten an 12 Standorten. Für diesen Bericht wurden die 10 für die Praxis relevantesten Sorten und die Ergebnisse des Versuchsjahres 2012 ausgewählt. Die Standorte wurden nach boden-klimatischen Gegebenheiten in folgende Regionen gruppiert: „Nord“ = Dasselsbruch, Gülzow, Rockstedt; „Diluvial-Süd“ = Drößig, Gadegast, Güterfelde und „Löss“ = Bernburg, Dornburg, Friemar, Poppenburg, Straubing. Aufgrund von außerordentlichen klimatischen Bedingungen im Jahr 2012 in Trossin wurde auf die Darstellung dieses Standortes verzichtet. Die Saat erfolgte je nach Standort zwischen dem 11. und 22. Mai 2012. Die Versuche wurden mit jeweils vier Wiederholungen angelegt. Die Reihenweite betrug 25 bis 37,5 cm und die Saatstärke 25 (*S. bicolor*) bzw. 40 (*S. bicolor* x *S. sudanense*) keimfähige Körner/m² als Drillsaat. Die beiden Maisreferenzsorten (Atletico, S280 und LG 3216, S260) wurden mit 8 oder 9 Körnern/m² in einem Reihenabstand von 75 cm gelegt. Die Nettoparzellengröße lag zwischen 10 und 13 m². Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen wurden ortsüblich und nach Bedarf vorgenommen. Die Ernte der frühen bzw. mittelspäten Sorten erfolgte getrennt um jeweils bei optimalem Trockensubstanzgehalt ernten zu können.

Ergebnisse und Diskussion

Die Erträge von Sorghum variierten stark je nach Anbauregion (Tab. 4). Auf den nördlichen Standorten („Nord“) brachten die Sorghumsorten im Mittel den geringsten Ertrag, der Mais war hier deutlich überlegen. Die Wärmesumme reichte einfach nicht aus um das volle Potential auszuschöpfen. Auch der Ziel-TS-Gehalt von 28 % wurde von einigen der mittelspäten Sorten nicht erreicht. Mit der Wahl einer mittelfrühen oder frühen Sorte ist man hier auf der sichereren Seite. Die „D-Süd“-Standorte erreichten höhere Erträge. Auch der Abstand zum Mais fiel etwas geringer aus, da

Tab. 4: Trockenmasseertrag (TM) und Trockensubstanzgehalt (TS) der Sorten im Mittel der Regionen "Nord", „D-Süd" und „Löss"

Region	Parameter		Frühes Sortiment			Mittelspätes Sortiment						
		Mais*	Lussi[1]	KWS Freya[1]	KWS Sole[1]	Kylie[2]	Herkules[2]	KWS Zerberus[2]	KWS Merlin[2]	Amiggo[2]	KWS Tarzan[2]	EUG221F[2]
Nord	TM (dt/ha)	206	138	148	153	147	161	154	156	155	162	151
	TS (%)	*31*	*32*	*28*	*30*	*22*	*25*	*27*	*27*	*28*	*28*	*24*
D-Süd	TM (dt/ha)	204	162	167	163	148	160	159	161	167	173	171
	TS (%)	*36*	*38*	*32*	*34*	*23*	*25*	*29*	*28*	*29*	*29*	*24*
Löss	TM (dt/ha)	240	166	174	178	195	206	189	197	187	209	204
	TS (%)	*33*	*31*	*29*	*29*	*23*	*26*	*28*	*27*	*28*	*28*	*25*

* Mittel der beiden Maissorten; [1] = *S. bicolor* x *S. sudanense*; [2] = *S. bicolor*

an manchen dieser Standorten mit Sommertrockenheit zu rechnen ist und somit Sorghum begünstigt wird. Auf „Löss" zeigte sich, was in dieser Kultur steckt. Zwar lieferte auch hier der Mais im Mittel meist die höchsten Erträge, doch eine Ernte von über 200 dt TM/ha mit Herkules, KWS Tarzan und EUG221F ist vielversprechend. Mancherorts konnten 2012 die Maiserträge sogar übertroffen werden. Abb. 7 zeigt die am jeweiligen Standort ertragreichste Sorte mit einem TS-Gehalt von mindestens 28 %. Auch wird hier das unterschiedliche Ertragsniveau der Standorte deutlich. Sorten des mittelspäten Sortiments lieferten die meiste Biomasse, wenn auch der geforderte TS-Gehalt oft nur sehr knapp erreicht wurde. Insbesondere neue Sorten wie KWS Tarzan oder KWS Sole zeigen, dass ein Züchtungsfortschritt hinsichtlich eines ausreichenden TS-Gehalts zur Ernte bei gleichzeitig hohen Erträgen zu verzeichnen ist. Wenn sich die Leistung der neuen Sorten in weiteren Versuchsjahren bestätigt, dann sind auch in Deutschland ertragreiche und ausreichend früh abreifende Sorghumsorten verfügbar, so dass sich für die meisten Standorte eine passende Sorte finden lässt. Um den Vorsprung des Maises aufzuholen bedarf es allerdings noch intensiver Züchtungsarbeit.

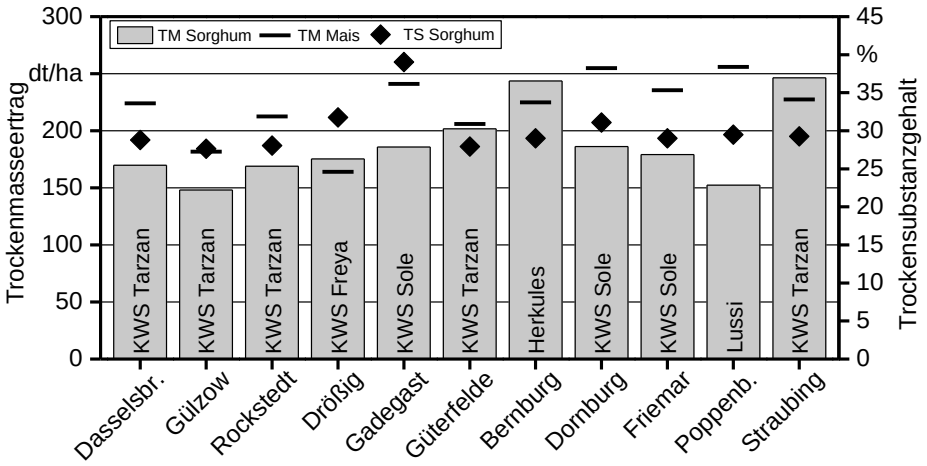


Abb. 7: Beste Sorten hinsichtlich Ertrag und TS (≥ 28 %) an den jeweiligen Standorten

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. unter den Förderkennzeichen 22006810 und 22006710 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 237–238 (2013)

ExpRessBio-
Expertengruppe Ressourcenmanagement Bioenergie Bayern

Ökobilanzielle Betrachtung der Forst- und Holzwirtschaft in Bayern

Daniel Klein[1], Christian Wolf[2], Gabriele Weber-Blaschke[2], Christoph Schulz[1], Christian Kölling[1] und Klaus Richter[2]

[1] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising; [2] TUM, Holzforschung, München.
E-Mail: *daniel.klein@lwf.bayern.de*

Einleitung

Das Verbundprojekt *ExpRessBio* beschäftigt sich mit der Analyse der Treibhausgas(THG)-Emissionen (und anderer relevanter Wirkungskategorien) der Biomasseproduktion aus der Land- Forst und Holzwirtschaft, schwerpunktmäßig zur energetischen, aber auch zur stofflichen Verwendung. Dabei soll der gesamte Lebenszyklus von der Bereitstellung des Rohstoffes bis zur Endnutzung dargestellt werden („cradle to grave“-Ansatz). Neben einer Extrapolation der Ergebnisse von Modellebene auf verschiedene Regionen Bayerns ist die Entwicklung einer einheitlichen Methodik für Land- Forst- und Holzwirtschaft ein Innovationsmerkmal von *ExpRessBio*. Ein Arbeitsbereich ist dabei die Bilanzierung der Bewirtschaftung bayerischer Wälder und die anschließende Verwendung des Holzes mit speziellem Fokus auf die Wirkungskategorie THG-Emissionen in der ersten Projektphase.

Material und Methoden

Für die Forstliche Produktion werden über einen kompletten Produktionszeitraum verschiedene Variablen, z.B. Standort, Baumart oder Bewirtschaftungsform, oder auch unterschiedliche Annahmen beispielsweise zu Produktivitätsraten bei der Ernte oder Transportentfernungen beleuchtet, die die THG-Emissionen der Bereitstellung des Rohstoffes Holz beeinflussen können. Die Modellierung des Bestandes sowie der generierten Holzsortimente erfolgt über den Waldwachstumssimulator SILVA 2.3 und bildet den Input für die Ökobilanzierung mit der Software GaBi 6. Darin werden alle direkten Prozesse von der Pflanzung bis zur Endnutzung und alle indirekten Prozesse wie Kalkung oder Wegebau bezüglich ihrer THG-Emissionen analysiert. Daraus soll eine Matrix aus unterschiedlichen Bilanzierungsergebnissen unter verschiedenen forstlichen Nutzungsszenarien entstehen. Die Extrapolation auf einzelne Regionen in Bayern soll über die Daten zur Bundeswaldinventur erfolgen. Als Datenbasis für Emissionsfaktoren oder die Bilanzierungen der Vorketten (Maschinen, Diesel etc.) dient die Datenbank EcoInvent, die PE Datenbank bzw. Daten aus der Literatur. Zudem werden verschiedene Allokationsansätze (Massenallokation, Preisallokation, keine Allokation) bezüglich ihres Einflusses auf die Bilanzen analysiert. Die Ökobilanz der Forstlichen Produktion („cradle to gate“) ist die Grundlage für die weiterführende Bilanzierung der Holzverwendung („gate to grave“). Sämtliche Outputs (Stammholz/Industrieholz/Energieholz) des Modells und deren zugehörige Bewirtschaftungsvarianten werden konkreten Verwendungspfaden in Bayern zugeordnet. Jeder Pfad besteht aus einer Kette von Verarbeitungs-, Transport-, Nutzungs- und Entsorgungsprozessen sowie spezifischer Anlagentechnik. Die zu bilanzierenden Verwendungspfade lassen sich in die Bereiche stoffliche Nutzung und energetische Nutzung aufteilen. Im Rahmen der stofflichen Holzverwendung werden die Produktion von Holzhalbwaren, Schnittholz,

Furnier, Brettschichtholz, Mitteldichte Faserplatte und Spanplatten dargestellt. Im Bereich der energetischen Holzverwertung werden typische Bereitstellungsverfahren von Holzenergie abgebildet. Betrachtete Produkte sind 1MJ Wärme sowie 1MJ Strom unter Berücksichtigung assoziierter Anlagentechnik und Brennstoffe (Scheitholz, Pellets, Hackschnitzel aus Industrierestholz, Waldholz, oder Altholz). Neben der Bereitstellung von Brennstoff (z.B. Transporte, Pelletieren) werden auch spezifische Prozesse zur Umwandlung des Brennstoffes in Endenergie (direkte thermochemische Umwandlung, Vergasung) in repräsentativen Klein-Mittel- und Großanlagen modelliert sowie die Strom- und Wärmeverteilung über Strom- und Wärmenetzte berücksichtigt. Grundlage für die Modellierungen (stofflich und energetisch) sind eigene Modelle aus der Holzforschung München basierend auf Inventardaten aus Rüter und Diederichs (2012), den PE und EcoInvent Datenbanken, BioenergieDat sowie eigenen Erhebungen.

Ergebnisse und Diskussion

Erste (vorläufige) Ergebnisse für einen modellierten Fichtenbestand verdeutlichen bereits die geringen Emissionen, die aus der Forstlichen Produktion in Relation zum im Holz gebundenen Kohlenstoff entstehen. Betrachtet man einen Hektar Wald und alle Sortimente (Stammholz, Industrieholz, Energieholz) zusammengefasst, so verursacht die Bereitstellung von 1 Erntefestmeter Holz mit Rinde ab Waldstraße ca. 5,6 kg CO_2-Äquiv. am Ende einer Rotationsperiode bzw. insgesamt ca. 8,35 t CO_2-Äquiv. pro ha. Gemessen am Kohlenstoffspeicher im Holz entspricht dies einem Input (THG-Emissionen für die Bereitstellung)/Output (biogene C-Bindung)-Faktor von unter 1%. Die nach Sortimenten stratifizierten Ergebnisse weisen Unterschiede auf mit den höchsten THG-Emissionen beim Industrieholz und den geringsten beim Stammholz (ohne Allokation). Unterschiedliche Methoden machen die erzielten Ergebnisse nur bedingt mit anderen Studien vergleichbar. Dennoch ist festzustellen, dass die ersten Resultate durchaus in ihrer Größenordnung mit anderen Studien wie z.B. Schweinle (2000) oder Engel et al. (2012) vergleichbar sind, auch wenn bisher noch nicht alle wichtigen Prozesse wie z.B. Transporte vollständig erfasst sind. Erste Ergebnisse zur Weiterverarbeitung von Holz zeigen, dass, hier am Beispiel der Herstellung von 1MJ Strom ab Anlage aus Waldhackschnitzeln mittels einer Dampfturbine (20MW), die höchsten Emissionen durch die Konversion von Biomasse in Strom verursacht werden (85%). Die Bereitstellung des Rohstoffes Holz (8%) hingegen spielt dabei neben den Prozessen Transport (3%) und Hacken (4%) nur eine untergeordnete Rolle.

Literatur

Engel, A. M.; Wegener, J.; Lange, M. (2012). Greenhouse gas emissions of two mechanized wood harvesting methods in comparison with the use of draft horses for logging. European Journal of Forest Research 131, S. 1139-1149.

Rüter, S.; Diederichs, S. (2012). Ökobilanz- Basisdaten für Bauprodukte aus Holz. Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie 2012/1. 304 S.

Schweinle, J. (2000). Analyse und Bewertung der forstlichen Produktion als Grundlage für weiterführende forst- und Holzwirtschaftliche Produktlinien-Analysen. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. ISSN 0368-8798. 131 S.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 239–240 (2013)

ExpRessBio

Expertengruppe Ressourcenmanagement Bioenergie in Bayern

Strimitzer, L.[1], Engelmann, K.[1], Remmele, E.[1], Effenberger, M.[2], Hülsbergen, K.-J.[3], Klein, D.[4], Richter, K.[5], Schulz, C.[4], Thuneke, K.[1], Weber-Blaschke, G.[5], Widmann, B.[1] und Zerle, P.[6]

[1] Technologie- und Förderzentrum, Straubing; [2]Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Freising; [3]Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising; [4]Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising; [5]Technische Universität München, Holzforschung München, Freising; [6]Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät für Land- und Ernährungswirtschaft, Freising.
E-Mail: *lorenz.strimitzer@tfz.bayern.de*

Einleitung

Das Projekt "ExpRessBio" ist ein vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördertes, interdisziplinäres Forschungsprojekt, welches wissenschaftliche Akteure von sechs land- und forstwirtschaftlichen Institutionen vereint und Kompetenzen im Bereich Ressourcenmanagement, Bioenergie und Nachwachsende Rohstoffe vernetzt. Das übergeordnete Ziel ist eine vertiefende Analyse und eine darauf basierende Optimierung der land- und forstwirtschaftlichen Produktion in Bayern und der Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen hinsichtlich des Ausstoßes von treibhausgasrelevanten Emissionen. Daneben sollen weitere Umweltwirkungen betrachtet werden. Darauf aufbauend sollen Emissionen der bayerischen Land- und Forstwirtschaft durch eine effiziente Nutzung vorhandener Ressourcen minimiert werden. Auf Basis dieser Ergebnisse und einer damit verknüpften volks- und betriebswirtschaftlichen Bewertung sollen Handlungsempfehlungen für Produzenten, Verbraucher und Entscheidungsträger erarbeitet werden.

Material und Methoden

Die Innovation dieses Projekts liegt einerseits in einer regionsspezifischen Analyse unter Berücksichtigung von Standort- und Bewirtschaftungseinflüssen. Bislang wurde die damit einhergehende Variabilität in Ökobilanzen in zu geringem Ausmaß einbezogen. Daher sollen für spezifische Boden-Klima-Regionen (Roßberg et al., 2007) und forstliche Wuchsgebiete (Gulder, 2001) Bayerns repräsentative Daten erarbeitet werden. Zudem soll eine regionsspezifische Analyse auf Basis agrarstatistischer Daten bzw. aus forstlichen Erhebungen (Bundeswaldinventur) erfolgen. Darüber hinaus sollen bestehende Methoden der Bilanzierung von Umweltauswirkungen für die Bereiche Land- und Forstwirtschaft gleichermaßen harmonisiert werden, sodass ein umfassender Vergleich unterschiedlicher Produkte möglich ist. So sollen sektorspezifische Unterschiede (inkl. Vorketten, Umgang mit Koppelprodukten) ausgeglichen und eine einheitliche Rechenregel für alle betrachteten land- und forstwirtschaftlichen Produkte entwickelt werden. Um den gesamten Lebensweg für die Bewertung der land- und forstwirtschaftlichen Prozessketten heranzuziehen, wird hierbei die Methode der Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040 und 14044 angewendet. Es werden alle Stufen von der Landnutzung über Aufbereitungs-, Konversions- und Nutzungsstufen bis hin zur Verwertung und Beseitigung betrachtet (cradle-to-grave). Die auf einer umfassenden

Recherche bestehender Normen und Standards basierende Harmonisierung erfolgt iterativ, d.h. anhand konkreter Rechenbeispiele werden die systemischen Unterschiede aufgezeigt und schrittweise vereinheitlicht. Diese harmonisierte Rechenregel lässt sich in weiterer Folge sektorübergreifend anwenden und ermöglicht einen Vergleich der Bilanzierungsergebnisse aus Land- und Forstwirtschaft. Die Modellierungen erfolgen mittels der Software GaBi 6. Neben der Ecoinvent- und GaBi-Professional Datenbank werden bei Bedarf alternative Datenbanken verwendet. In die Bilanz fließen Primärdaten aus Erhebungen, Befragungen und Messungen sowie Literaturangaben mit ein. Ausgehend von der Analyse und Bewertung von Treibhausgas(THG-)emissionen sollen auch weitere Wirkungskategorien betrachtet werden. Da der Faktor Boden bei der Bilanzierung in Land- und Forstwirtschaft entscheidend ist, kommt in der Lebenszyklusstufe der landwirtschaftlichen Produktion das Modell Repro zur Anwendung. Die Modellierung der forstlichen Bestände und generierten Holzsortimente erfolgt mittels des Waldwachstumssimulators SILVA 2.3.

Ergebnisse und Diskussion

Bislang wurden auf Basis einer intensiven Recherche erste Fallbeispiele der land- und forstwirtschaftlichen Produktion ausgearbeitet, Feldexperimente untersucht und Ökobilanzen berechnet. Im Forstbereich wurden erste Sortimente (z.B. Fichte, Rundholz mit Rinde) untersucht, gleichermaßen erfolgte eine Modellierung der weiteren Konversionsstufen. Auf der Ebene der Landwirtschaft wurden erste Bioenergieketten für kaltgepresstes Rapsöl bilanziert. Die geforderten THG-Einsparungen (>60% ab 2018) gemäß EU-RED (Europäische Gemeinschaft, 2009) werden hierbei erreicht. Die ersten Ergebnisse zeigen eine große Variationsmöglichkeit bei den Ökobilanzen. Sensitivitätsanalysen und Szenarien wird daher eine große Bedeutung beigemessen. Die Bewirtschaftung mitsamt ihrer Vorketten übt einen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtergebnisse der landwirtschaftlichen Produktion aus. Hierbei ist der Großteil der THG-Emissionen auf die Düngung zurückzuführen. In weiterer Folge wird der Einfluss unterschiedlicher Allokationsvarianten und Systemerweiterungen untersucht werden.

Literatur

Deutsches Institut für Normung e. V. (2006): DIN EN ISO 14044:: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderung und Anleitung. Oktober 2006. Berlin: 84 Seiten.

Deutsches Institut für Normung e. V. (2009): DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. November 2009. Berlin: 40 Seiten.

Europäische Gemeinschaft (2009): Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union. L 140/16 – L 140/62.

Gulder, H. (2001): Forstliche Wuchsgebietsgliederung Bayerns. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising.

Roßberg, D., Michel, V., Graf, R. und Neukampf, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 59(7), 155-161, Eugen Ulmer KG, Stuttgart 2007, ISSN 0027-7479

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 241–242 (2013)

Vergleichende Untersuchung von Wurzelmerkmalen bei Silphie und Mais

Burkhard Schoo, Michael Wessel-Terharn, Susanne Schroetter
und Siegfried Schittenhelm

Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 50,
38116 Braunschweig,
E-Mail: *burkhard.schoo@jki.bund.de*

Einleitung

Auf der Suche nach alternativen Biogaspflanzen weckt die Dauerkultur Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) wegen möglicher positiver Auswirkungen auf die Biodiversität in Agrarökosytemen bei gleichzeitig hohem Ertragspotential zunehmendes Interesse. Erfahrungen aus dem praktischen Anbau deuten auf eine gewisse Toleranz der Silphie gegenüber Trockenheit hin. Die Wurzel als Organ der Wasseraufnahme ist für die Trockentoleranz von entscheidender Bedeutung. Deshalb wurden auf bodensystematisch unterschiedlichen Standorten die Tiefe und Intensität der Durchwurzelung in Silphiebeständen und zum Vergleich auch auf nahegelegenen Maisschlägen untersucht.

Material und Methoden

An den Standorten Dasselsbruch (fSms), Dornburg (Ut3), Rockstedt (Sl2) und Straguth (Su2) wurden im Zeitraum von Ende Juli bis Anfang August 2012 zur Vollblüte von Silphie und Mais je sechs Bodenproben innerhalb und zwischen den Pflanzreihen mit Hilfe einer Rammkernsonde (Durchmesser 6,5 cm) bis zu einer Tiefe von 150 cm entnommen. Die Proben wurden zunächst in Tiefenintervallen von 10 cm anhand der Bruchkernmethode nach SMIT (2000) untersucht. Dabei wird ein Bohrkernsegment mittig in zwei Teile gebrochen und die an den Bruchkernoberflächen sichtbaren Wurzeln gezählt. Anschließend wurden die Wurzeln aus den Kernsegmenten trocken separiert, gewaschen und für nachfolgende Analysen in einer Kühlkammer bei –18 °C gelagert. Zur Bestimmung der Durchwurzelungsintensität wurde die Wurzellängendichte (RLD) für jede Bodentiefe gemessen. Dazu wurden im Scanverfahren digitale Wurzelbilder erstellt und mit der Bildanalysesoftware WinRhizo (Regent Instruments, Kanada) analysiert. Die statistische Auswertung erfolgte mit der SAS Prozedur GLIMMIX. Um die Aussagekraft der Bruchkernmethode bezüglich der Wurzeleigenschaften von Silphie und Mais zu prüfen, wurde zudem eine Regressionsanalyse für Wurzelzahl und RLD mit Hilfe von SigmaPlot durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Silphie liegt -dem Mais ähnlich- eine typische Büschelbewurzelung vor, d.h. die Seitenwurzeln unterscheiden sich in Länge und Dicke nicht von den Primärwurzeln. Die Ergebnisse der Bruchkernanalyse (Abb. 1A) deuten auf eine tiefere und intensivere Durchwurzelung der Dauerkultur Silphie im Vergleich zum Mais hin. So erreichte die Silphie an den Standorten Rockstedt (Sl2), Dasselsbruch (fSms) und Dornburg (Ut3) Bodentiefen von 150 cm. Bei Mais wurde in Rockstedt und Dasselsbruch unterhalb von 80 cm eine lediglich geringe Durchwurzelungsaktivität festgestellt. In den Silphiebeständen wurden an diesen Standorten signifikant höhere Wurzelzahlen im gesamten Bodenprofil gefunden. Ein abweichendes Bild zeigte sich in Straguth (Su2). An diesem Standort wies das Bodenprofil unter Mais eine deutlich

bessere Wasserversorgung gegenüber der Silphie auf, was die von anderen Standorten abweichende Beobachtung erklärt.

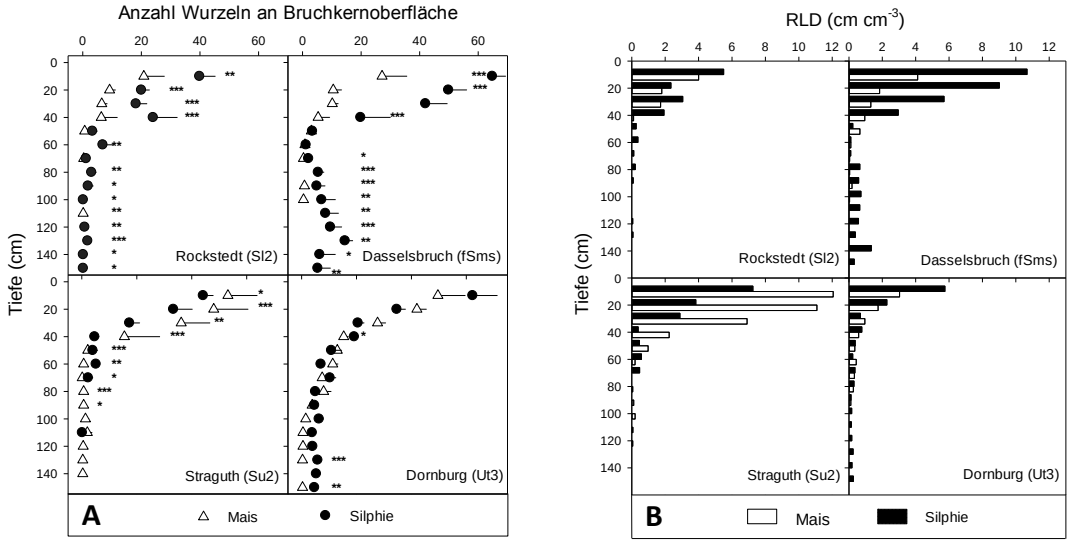


Abbildung 1. A: Vergleich der Durchwurzelungstiefe und -intensität von Silphie und Mais mittels Bruchkernmethode. Dargestellt sind die Mittelwerte ± 1 Standardfehler der an den Bruchkernoberflächen von sechs Bohrkernen ermittelten Wurzelanzahlen. *,**,*** Signifikant bei P < 0,05, P < 0,01 und P < 0,001. **B:** Vergleich der Wurzellängendichte (RLD) von Silphie und Mais (n=6).

Die Messung der RLD (Abb. 1B) bestätigte die Ergebnisse der Bruchkernuntersuchung. So zeigte sich bei den Standorten Rockstedt und Dasselsbruch eine deutlich höhere RLD für die Silphie. In Dornburg war darüber hinaus bei der Silphie eine intensivere Durchwurzelung in Bodentiefen von 100-150 cm als bei Mais erkennbar. Bei beiden Kulturarten war eine starke Abnahme der RLD ab einer Tiefe von 40 cm zu verzeichnen. Dennoch scheint die Silphie auch tieferes Bodenwasser nutzen zu können, was eine gewisse Trockentoleranz begründen könnte.

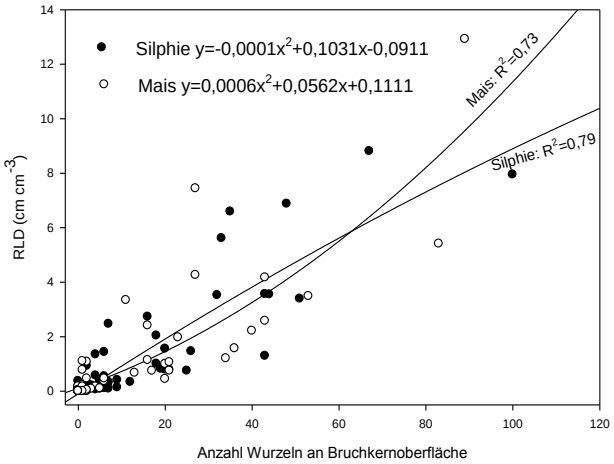


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen den Ergebnissen aus Bruchkernmethode und Wurzellängenmessung (RLD) bei Silphie und Mais über alle Standorte.

Die Bruchkernmethode erwies sich für Silphie und Mais als geeignet, um Aussagen über die RLD zu treffen (Abb. 2). An einzelnen Standorten variierte das Bestimmtheitsmaß (R^2) bei Silphie zwischen 0,91 und 0,99 und bei Mais zwischen 0,73 und 0,96. Die Ergebnisse zeigen, dass bei kulturspezifischer Betrachtung Aussagen zur Durchwurzelungsintensität anhand der weniger aufwändigen Bruchkernmethode möglich sind.

Literatur

SMIT, A.L., 2000. Root methods: a handbook. Springer.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 243–244 (2013)

Ertragsbildung von Mais-Stangenbohnen-Gemengen in Abhängigkeit von der Standraumverteilung und Saattechnik

Carola Pekrun[1], Sabine Hubert[1], Carolin Zimmermann[1], Annika Rössler[1], Walter Schmidt[2]

[1] Institut für Angewandte Agrarforschung, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, 72622 Nürtingen; [2] KWS SAAT AG, Grimsehlstraße 31, 37555 Einbeck;
E-Mail: *carola.pekrun@hfwu.de*

Einleitung

Die Anbauflächen von Mais steigen in Deutschland kontinuierlich an. Der zunehmende Anbau kann ökologische Probleme mit sich bringen. Darüber hinaus sprechen in einigen Regionen landschaftsästhetische Gründe gegen eine weitere Zunahme des Maisanbaus. In Lateinamerika wird Mais traditionell im Gemenge mit Stangenbohnen angebaut. Könnte dieses System auch für europäische Anbaubedingungen relevant sein? Die Hinzunahme einer blühenden Kultur könnte den ökologischen Wert des Anbausystems erhöhen. Die biologische N-Fixierung der Stangenbohnen könnte eine Minderung des N-Düngereinsatzes erlauben. Es gibt Anbauerfahrungen aus dem österreichischen Mais-Käferbohnen-Anbau, welcher die Körnernutzung zum Ziel hat.

Ziel der im Folgenden beschriebenen Versuche war es, den Einfluss von Saattechnik, Standraumverteilung und Saatzeit auf die Ertragsbildung des Mais-Stangenbohnen-Gemenges als Substrat für die Biogasanlage zu prüfen.

Material und Methoden

Auf dem Versuchsbetrieb Hofgut Tachenhausen der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (20 km südlich von Stuttgart, Parabraunerde aus Löss, 10 ^{o}C, 830 mm) wurden zwei Versuche angelegt.

Versuch zur Sätechnik (Blockanlage, 4 Wiederholungen):

1) „Bo Drillsaat BBCH 15/16“ Einzelkornsaat Mais, Drillsaat der Bohnen in BBCH 15-16 des Maises jeweils 2 Reihen Bohnen zwischen den Maisreihen.
2) „Bo Drillsaat zeitgleich“ Einzelkornsaat Mais, Drillsaat der Bohnen im direkten Anschluss an die Maissaat: 2 Reihen Bohnen zwischen den Maisreihen.
3) „EKS eine Reihe“ Einzelkornsaat Mais, Einzelkornsaat Bohnen in die Maisreihe unmittelbar anschließend an die Maissaat (= Österreichisches System)
4) „EKS alternierend“ Einzelkornsaat Mais, Einzelkornsaat Bohnen im direkten Anschluss an die Maissaat zwischen die Maisreihen.

In Variante 1) wurde der Mais am 28.04.2012 gesät. In den Varianten 2)-4) war aufgrund der geringeren Kältetoleranz der Stangenbohnen eine Aussaat erst am 10.05.2012 möglich.

In einem zweiten Versuch (Blockanlage, 5 Wiederholungen) wurde mit dem Anbausystem „Bo Drillsaat“ die Aussaatstärke von Mais und Bohnen in 4 Kombinationen getestet und die Einsaat der Bohnen zu BBCH 12/13 und BBCH 15/16 des Maises geprüft und einer Kontrolle (Mais in Reinsaat) gegenübergestellt. In beiden Versuchen wurde die Maissorte Fernandez (S 250) angebaut.

Ergebnisse und Diskussion

In dem System „Bo Drillsaat BBCH 15/16“ erzielte der Mais einen deutlichen Wachstumsvorsprung, wodurch sich die Bohnen weniger gut entwickeln konnten. Am 21.06.2012 wiesen die Bohnen einen Kulturdeckungsgrad von nur 4 % auf (Tab. 1). Damit konnte der Mais in dem System einen höheren Ertrag erzielen und aufgrund der längeren Wachstumszeit bis Anfang September einen höheren Trockensubstanzgehalt als in den anderen drei Varianten.

Der Versuch zum Einfluss der Standraumverteilung und des Saattermins der Bohnen zeigte, dass der Gesamtertrag umso höher war, je weniger Bohnen und je später die Bohnen gesät wurden (Tab. 2). Die Methanbildung je kg oTS wurde durch den Gemengeanbau nicht beeinflusst.

Zwischen dem Bohnenertrag im Gemenge und dem Gesamtertrag bestand eine negative Korrelation mit r^2 = 0,952 (nicht dargestellt). Mit dem Gemengeanbau müssen somit Ertragseinbußen hingenommen werden. In weiteren Untersuchungen ist zu prüfen, inwiefern eine Optimierung möglich ist und welche zusätzlichen positiven Effekte der Gemengeanbau zeitigt.

Tab. 1: Kulturdeckungsgrad (%) von Mais und Bohnen am 21.06.2012 sowie Trockenmasseertrag des Gemenges am 07.09.2012. Kleinbuchstaben zeigen signifikante Effekte an, $p < 0,05$. Kulturdeckungsgrad der Bohnen: fehlende Voraussetzungen für eine Varianzanalyse.

Variante	Kulturdeckungs-grad Mais (%)	Kulturdeckungs-grad Bohnen (%)	Trocken-masseertrag (t ha^{-1})	Trocken-substanz-gehalt [%]
1 Bo Drillsaat BBCH 15/16	24,4 **a**	4,4	23,6 **a**	37,3 **a**
2 Bo Drillsaat zeitgleich	14,3 **b**	9,8	21,0 **b**	31,5 **b**
3 EKS eine Reihe	14,4 **b**	10,5	21,4 **b**	32,3 **b**
4 EKS alternierend	16,0 **b**	13,5	21,5 **ab**	32,0 **b**

Tab. 2: Trockenmasseertrag und Methanbildung in Abhängigkeit von Standraumverteilung und Saatzeit der Bohnen. Ernte der Parzellen am 07.09.2012. Kleinbuchstaben zeigen signifikante Effekte an, $p < 0,05$. Die Methanbildung konnte statistisch nicht verrechnet werden, da pro Variante eine Mischprobe geprüft wurde.

Mais (Pfl m^{-2})	Bohnen (Pfl m^{-2})	BBCH des Maises bei Einsaat der Bohnen	Trockenmasseertrag (t ha^{-1})	Methanbildung (NL kg oTS^{-1})
7,5	5,0	12/13	21,2 b	367,73
7,5	7,0	12/13	20,5 ab	362,07
5,0	5,0	12/13	18,9 ab	353,07
5,0	7,0	12/13	18,4 a	341,41
7,5	5,0	15/16	20,5 abc	335,71
7,5	7,0	15/16	21,8 b	369,79
5,0	5,0	15/16	17,7 a	358,17
5,0	7,0	15/16	18,8 ab	353,04
10	0	-	22,8 c	368,67

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 245–246 (2013)

Unkrautkontrolle in Mais-Stangenbohnen-Gemengen

Carola Pekrun[1], Sabine Hubert[1], Walter Schmidt[2]

[1] Institut für Angewandte Agrarforschung, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, 72622 Nürtingen [2]KWS SAAT AG, Grimsehlstraße 31, 37555 Einbeck;
E-Mail: *carola.pekrun@hfwu.de*

Einleitung

Mais wird in seinen Ursprungsländern traditionell zusammen mit Stangenbohnen, Kürbis und auch anderen Kulturen angebaut. Das System könnte unter Umständen auch unter mitteleuropäischen Anbaubedingungen relevant sein. Es könnte dazu beitragen, dass der Maisanbau ökologischer gestaltet wird. Die Bohnenblüte, welche je nach Sorte optisch sehr attraktiv ist, könnte als Nahrungsquelle für Blüten besuchende Insekten dienen. Die Stangenbohne als Leguminose könnte eine Verminderung der N-Düngung erlauben. Das System ist deshalb von Interesse als alternative Anbauform von Mais (Pekrun et al., 2013).

Im konventionellen Landbau wird das System allerdings nur dann Fuß fassen können, wenn geeignete Herbizide zur Verfügung stehen. Beim Anbau von Mais mit Stangenbohnen scheidet die Mehrheit der Maisherbizide aus, da hierdurch die Bohnen vernichtet würden. Es bleiben einige wenige Vorauflaufherbizide, die in beiden Kulturen genutzt werden können.

Material und Methoden

Auf dem Versuchsbetrieb Hofgut Tachenhausen der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (20 km südlich von Stuttgart, Parabraunerde aus Löss, 10 ^{o}C, 830 mm) wurde 2012 ein Versuch mit Mais und Stangenbohnen angelegt, in dem die folgenden Varianten getestet wurden (Blockanlage, 4 Wiederholungen):

1) „Kontrolle“ unbehandelt, keinerlei Unkrautkontrolle.
2) „Handbereinigt“ Handbereinigung zur Erfassung der Kulturschädigung.
3) „mechanisch“ Maschinenhacke vor der Aussaat der Bohnen.
4) „Stomp + Spectrum“ Stomp aqua (Wirkstoff Pendimethalin) mit 2,8 L ha^{-1} und Spectrum (Wirkstoff Dimethenamid) mit 1,4 l ha^{-1} am 03.05.2012.
5) „Centium“ Centium 36 CS (Wirkstoff Clomazone) mit 0,25 L ha^{-1} am 03.05.2012.

Der Mais der Sorte Fernandez (S 250) wurde am 28.04.2012 mit einer Einzelkornsämaschine mit 8 keimfähigen Körnern m^{-2} gesät. Am 29.05.2012 wurden die Bohnen zwischen die Maisreihen gedrillt: jeweils zwei Reihen Bohnen zwischen zwei Maisreihen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Bohnensaat gestaltete sich in den Parzellen mit chemischer Unkrautkontrolle sowie in der Kontrollparzelle als schwierig, da der Boden vor der Saat der Bohnen nicht noch einmal bearbeitet werden konnte. Phytotoxe Schäden der Vorauflaufherbizide konnten an den Pflanzen nicht beobachtet werden. Der Unkrautdruck auf dem Schlag war gering. Dennoch sind Wirkungen der Behandlungen sichtbar (Tab. 1). Die Mischung mit Stomp und Spectrum erwies sich als effizient zur Unkrautkontrolle, führte jedoch zu einem verringerten Ertrag im Vergleich zu den anderen Varianten (Abb.1).

Tab. 1: Unkrautdeckungsgrad (%) in Abhängigkeit von der Unkrautkontrolle. Am 19.06 war aufgrund fehlender Varianzhomogenität keine statistische Verrechnung möglich. Kleinbuchstaben zeigen signifikante Effekte an, $p < 0,05$.

Variante	15.05.2012	19.06.2012	03.07.2012
Kontrolle	1,75 b	6,38	17,0 a
Handbereinigt	0,25 ab	3,88	0,25 b
mechanisch	0 a	3,13	7,50 ab
Stomp + Spectrum	0,5 ab	0	0,5 b
Centium	1,0 ab	4,38	12,5 a

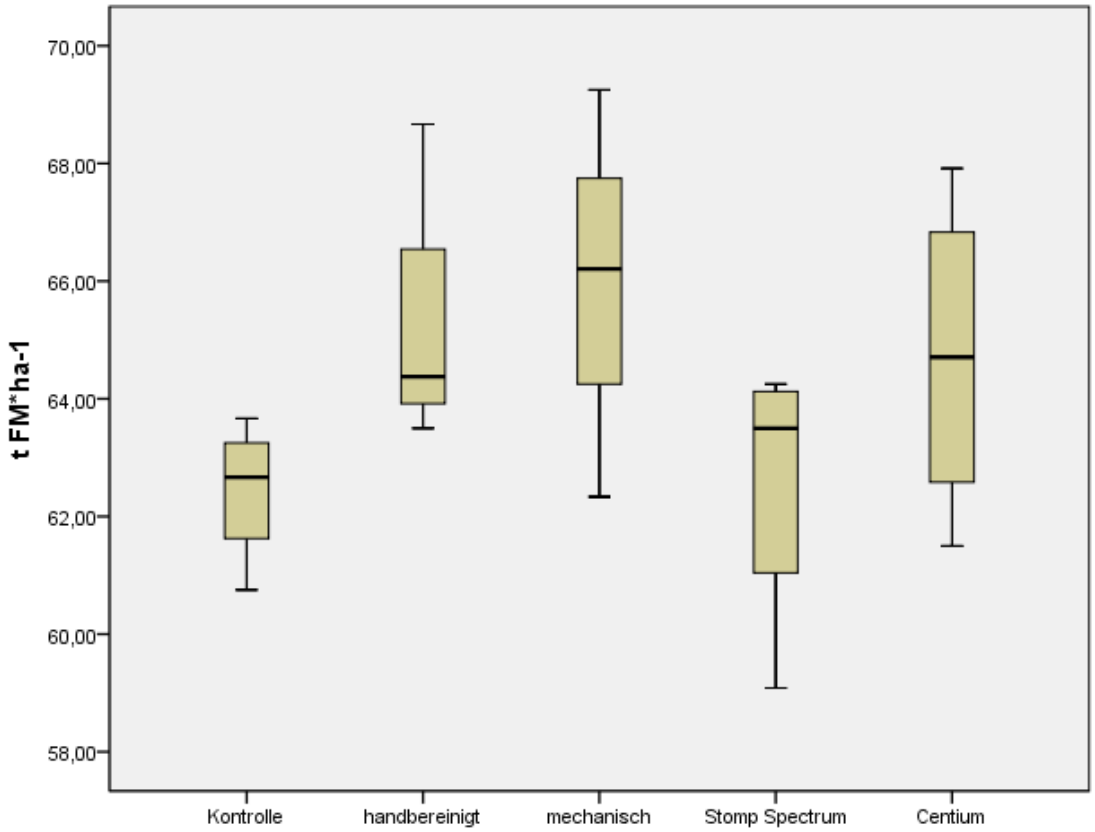


Abb. 1: Frischmasseertrag (t ha^{-1}) von Mais-Stangenbohnen in Abhängigkeit von der Unkrautkontrolle. Die schwarzen Querstriche kennzeichnen den Median, in der Box sind jeweils 50 % der Werte eingetragen. Die Balken kennzeichnen Minimum und Maximum

Literatur

Pekrun, C., Hubert, S., Zimmermann, C., Rössler, A., Schmidt, W., 2013: Ertragsbildung von Mais-Stangenbohnen-Gemengen in Abhängigkeit von der Standraumverteilung und Saattechnik, Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25, in diesem Tagungsband.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 247–248 (2013)

Inanspruchnahme von Humus-N durch Grünschnittroggen zur energetischen Nutzung

Lucas Knebl[1], Günter Leithold[1] und Christopher Brock[1]

[1] Organischer Landbau / Justus-Liebig-Universität Giessen, Giessen.
E-Mail: *lucas.a.knebl@agrar.uni-giessen.de*

Einleitung

Im Zuge der Ermittlung anwendbarer Humusbedarfskoeffizienten für Energiepflanzen und Energiepflanzenarten wurde die Inanspruchnahme von N aus der Mineralisierung von organischer Substanz/Humus durch Grünroggen im Feldversuch gemessen. Zugleich erfolgte die Modellierung der Humusreproduktionskoeffizienten mittels einer weiter entwickelten Version des Humusbilanzmodells HU-MOD (Brock et al. 2012).

Material und Methoden

In einem Kurzzeit-Feldversuch auf Auenlehm bei Giessen wurden Erntemengen, Trockenmasse und N-Gehalte von Grünschnittroggen (Ernte BBCH 59, Düngung 60 kg N ha^{-1} im Frühjahr 2013, Vorfrucht Sommergerste) bestimmt, sowie C- und N-Mengenänderungen im Boden (0-30cm) unter dem Anbausystem Grünroggen erfaßt. CN-Gehalte wurden nach DIN ISO 10694 bzw. 13878 analysiert, die Berechnung von Mengen erfolgte anhand von Messdaten zur Trockenrohdichte in den Versuchsparzellen. Änderungen der CN-Mengen wurden über wiederholte Messungen in Mikroplots ($2m^{-2}$) vor Saat des (Aug 2012) und nach Ernte des Roggens (Mai 2013) ermittelt.
Anhand der Erntemengen, Trockenmassedaten und Ergebnissen zu N-Gehalten des Roggens wurde das Modell HU-MOD (Brock et al. 2012, NB: verwendete weiter entwickelte Modellversion weist Änderungen gegenüber der Publikation auf!) parametrisiert und die Inanspruchnahme von N aus der Humusmineralisierung (SOMLOSS) sowie Nachlieferung von C und N für den Humusaufbau (SOMSUP) berechnet. Auf dieser Grundlage wurden Humusreproduktionskoeffizienten (HRC) für alle einbezogenen Versuchsparzellen berechnet (HRC= SOMSUP-SOMLOSS).
Die Prüfung des Zusammenhangs zwischen Modell- und Messergebnissen erfolgte anhand linearer Regression (x=HRC, y=deltaN). Zur besseren Interpretation wurden die HRC in kg Humus-N ha^{-1} angegeben, nicht in kg Humus-C. Die Umrechnung geschieht im HU-MOD anhand des Boden-CN-Verhältnisses am Standort.

Ergebnisse und Diskussion

Die Humusreproduktionskoeffizienten für den Grünschnittroggen wiesen einen positiven Zusammenhang mit der Veränderung der N-Mengen im Boden auf (Abb.1). Allerdings muß die Erfassung der N-Mengenänderungen hinsichtlich der absoluten Zahlen als unsicher bewertet werden. Zwar war die beobachtete Abnahme der N-Mengen unter dem Anbausystem insgesamt signifikant. Es wurden in der Mengenberechnung jedoch sehr hohe Werte ermittelt, die auf die Notwendigkeit einer Anpassung der Bodenmengenkalkulation hinweisen. Dennoch unterstützen unsere Ergebnisse die Annahme, daß die Erträge von Kulturpflanzen (bei Nicht-Leguminosen) positiv mit der Inanspruchnahme von Humus-N und damit auch dem

Humusersatzbedarf korreliert sind (Brock et al. 2011) und auch die Humusbilanzierung daher ertrags- oder zumindest ertragsniveaubezogen erfolgen sollte. Dies widerspricht nicht prinzipiell der Auffassung, daß höhere Erntemengen aufgrund der höheren Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen eine bessere Nachlieferung organischer Substanzt implizieren (u.a. Grant et al. 2002). Allerdings gleicht dieser höhere Input die zusätzliche Inanspruchnahme von Humus-N durch die Kultur bei negativer N-Bilanz offensichtlich nicht aus. Im vorliegenden Fall wurde der N-Entzug durch den Roggen durch Düngung und weitere Inputs tatsächlich nicht gedeckt, so daß eine deutlich negative N-Bilanz vorlag, die sich auch in den stark negativen Humusreproduktionskoeffizienten widerspiegelt (NB: HRC hier in kg Humus-N, Umrechnung zu kg Humus-C für Vergleichbarkeit mit Methode nach VDLUFA (2004) mit Faktor 10,54 !).

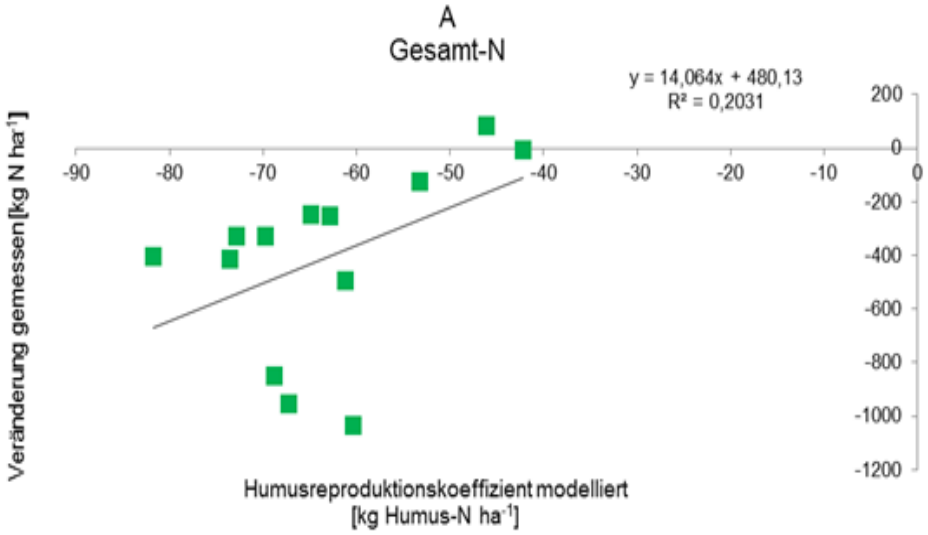


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Humusreproduktionskoeffizienten und der Veränderung der N_t-Mengen unter Grünschnittroggen (Saat bis Ernte, Ernte bei BBCH 59).

Literatur

Brock, C., Fliessbach, A., Oberholzer, H.-R., Schulz, F., Wiesinger, K., Reinicke, F., Koch, W., Pallutt, B., Dittmann, B., Zimmer, J., Hülsbergen, K.-J., Leithold, G. (2011): Relation between soil organic matter and yield levels of non-legume and legume crops in organic and conventional farming systems. J. Plant Nutr. Soil. Sci. 174, 568–575.

Brock, C., Hoyer, U., Leithold, G., Hülsbergen, K.-J. (2012): The humus balance model (HU-MOD): a simple tool for the assessment of management change impact on soil organic matter levels in arable soils . Nutr Cycl Agroecosyst. 92, 239–254 .

Brock, C., Bernert, S., Willms, M., Knebl, L., Leithold, G. (2013): Bewertung von Energiepflanzen in der Humusbilanz-Status quo und Perspektiven, Journal für Kulturpflanzen. 65, 227-235.

Grant, C. A., Peterson, G. A., Campbell, C. A. (2002): Nutrient considerations for diversified cropping systems in the northern Great Plains. Agron. J. 94, 186–198.

VDLUFA (2004): Humusbilanzierung. Standpunkt des VDLUFA. VDLUFA, Speyer.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 249–250 (2013)

Growing energy crops in the Czech agriculture

Duskova Sona, Kren Jan

Department of Agrosystems and Bioclimatology, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno.
E-Mail: *sona.duskova@mendelu.cz*

Introduction

This paper presents basic numbers about use of the agricultural land for growing of the crops for energy production. Also basic positive and negative effects of the current situation are given. Number of biogas plants is rapidly growing in the last years and use of the agricultural products is changing as well as cycle of substances in agrosystem.

Material and Methods

The overview of the state presented in the paper is compiled based on official statistics of the Czech Republic, reports and strategic documents for the energy from the renewable resources. Discussion is based on the published results of the research.

Results and Discussion

According to the National Action Plan for energy from renewable sources (Ministry of Industry and Trade, 2012), the total area of agricultural land that is available for growing energy crops while maintaining food security of the Czech Republic is 970,000 ha (27.7 % of agricultural land).

The most common energy crops grown on arable land in the Czech Republic are maize, oilseed rape, sugar beet and cereals, as well as other herbs and grasses with high biomass production. Areas of crops for energy use make up 43.4 % of the forage crops (mainly maize), 44.2 % of the rape seed and 16.7 % of the sugar beet. Non-food crops for energy use on arable land form 10.9 % of its area (based on data of the Czech Statistical Office). It is assumed, that extension of growing crops for biomass production can improve diversity of the landscape and contribute to better protection against erosion and floods. Anyway, current situation when the main crop for energy production is maize means the opposite situation.

For agriculture, the most important by-product of energy production from biomass is digestate from biogas production. It is the only way to partly return the nutrients to the soil but it is fertilizer rather similar to mineral than organic fertilizers. According to experiments on oilseed rape and wheat it has good nutrient content and a slightly alkalic reaction (Ciganek, 2011; Roháček, 2013). Anyway, lot of organic substance is lost and does not return to the soil.

With declining numbers of animals, biogas powerplants could be an interesting alternative to use part of crop production. Anyway, the structure of crops for biogas plants differs from the structure for feed, clover crops are lacking, but on the other hand, other crops are introduced.

In 2010 the biogas produced 9.7% of electricity and 2.7% of heat from renewable sources. However, number of biogas plants is rapidly growing. In 2010, there were 174 biogas plants and at the end of 2012 already 481 producing 15.9% of energy

from renewable resources (Česká bioplynová asociace). The vast majority of them are agricultural biogas plants in opposite to situation in majority of other EU countries.

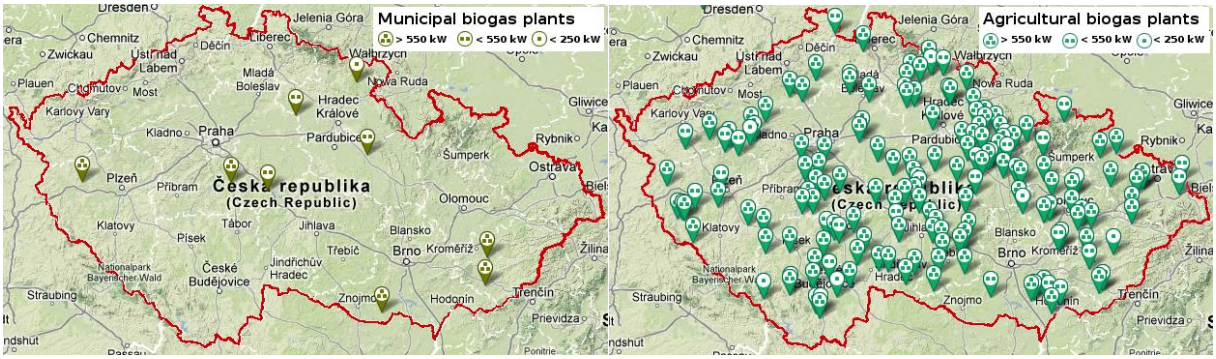


Figure 1. Overview of municipal and agricultural biogas plants in the Czech Republic (http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/bioplynove-stanice)

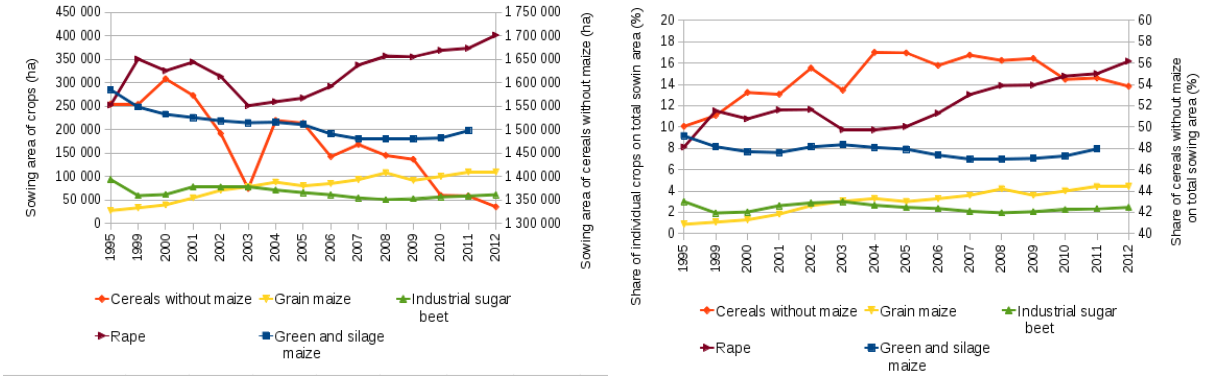


Figure 2. Development of the acreage and the share of the sowing area of the crops used for the energy production on the total sowing area in the last 13 years (Czech Statistical Office)

Literature

Česká bioplynová asociace (Czech biogas association) http://www.czba.cz

Cigánek K. (2011): Verification of the effectiveness of different digestates in various systems of organic fertilizer (in Czech). Dissertation thesis. Mendel University in Brno.

Ministry of Industry and Trade (2012): National Action Plan for energy from renewable sources (in Czech). Available online at <http://www.mpo.cz/dokument108147.html>

Roháček P. (2013): Comparison of efficiency of digestate and chosen fertilizers applied in less favourable areas. Bachelor thesis. Mendel University in Brno.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 251–252 (2013)

Untersuchungen mit *Herbaspirillum frisingense* und Stickstoffdüngung auf das Wachstum von *Miscanthus* x *giganteus*

Martin Gauder, Ralf Löx, Simone Graeff-Hönninger und Wilhelm Claupein

Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Allgemeiner Pflanzenbau, 70599 Stuttgart; Email: gauder@uni-hohenheim.de

Einleitung

Miscanthus x giganteus generiert ohne N-Düngung in der Regel relativ hohe Biomasseerträge, was in bestimmten Fällen auch durch das Zusammenspiel mit stickstofffixierenden Bakterien liegen könnte.

Im Jahre 2001 wurde die Gattung *Herbaspirillum frisingense* von Kirchhof et al. (2001) identifiziert und beschrieben. Er wies *Herbaspirillum frisingense* in den gewaschenen Wurzeln von *Miscanthus x giganteus* nach. *Herbaspirillum frisingense* ist begeißelt und in der Lage sich an die Wurzeloberfläche anzuheften. Nach dem Anheften an die Wurzeloberfläche folgen die Besiedelung an den Entstehungsstellen der Seitenwurzeln und das Eindringen durch Unterbrechungen in der Epidermis. Interzellularräume werden schnell besiedelt, um dann über die Besiedlung des Xylems in die oberirdischen Pflanzenteile zu gelangen. *Herbaspirillum frisingense* ist ein diazothrophes endophytisches Betaproteobakterium, welches in der Lage ist molekularen Stickstoff (N_2) aus der Luft zu fixieren. Des Weiteren kann es Indol-3-Essigsäure (IAA) produzieren und 1-Aminoglycopropan-1-Carbonsäure (ACC) verwerten (Rothballer et al., 2008).

Das Ziel dieser Untersuchung war es, herauszufinden ob *Herbaspirillum frisingense* auf Freilandpflanzen durch einfaches begießen appliziert werden kann und ob Stickstoffdüngung auf das Wachstum von *Miscanthus x giganteus* und hier im Speziellen auf die Pflanzenhöhe, den Stängeldurchmesser, das Entwicklungsstadium und den N-Gehalt der Pflanze einen Einfluss hat.

Material und Methoden

Der Feldversuch fand auf dem Gelände der Versuchsstation Ihinger Hof statt.

Innerhalb eines Langzeitversuchs wurden in 10 Jahre alten Miscanthusbeständen in Parzellen, welche mit jährlich 80 kg N ha^{-1} a^{-1} gedüngt wurden und in Parzellen welche keine N-Düngung erhielten jeweils 2 Bereiche von 0,25 m² ausgesteckt. Eine der beiden Bereiche wurde zweimal mit einer Lösung mit, im Labor vermehrten, Herbaspirillen begossen (16.5. und 23.5.2012), der andere Bereich diente als Kontrolle. Die Messerhebungen folgten an sechs Terminen im zweiwöchigen Abstand bis Anfang August.

Ergebnisse und Diskussion

Im Verlgeich der mit Herbaspirillen behandelten und der unbehandelten Bereiche konnten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Pflanzenhöhe, Stängeldurchmesser in 5 cm Höhe, Entwicklungsstadium und N-Gehalt in der Blattmasse festgestellt werden. Auch in einer parallel durchgeführten PCR-Analyse des Blattmaterials konnte das Markergen des Bakteriums nicht gefunden werden.

Deutliche Unterschiede ließen sich jedoch durch die N-Düngung messen. An allen Messterminen waren die gedüngten Pflanzen signifikant höher, die Stängel hatten an

den letzten vier Terminen etwa einen halben Knoten mehr gebildet und der N-Gehalt in der Blattmasse war signifikant erhöht (Abb. 1).

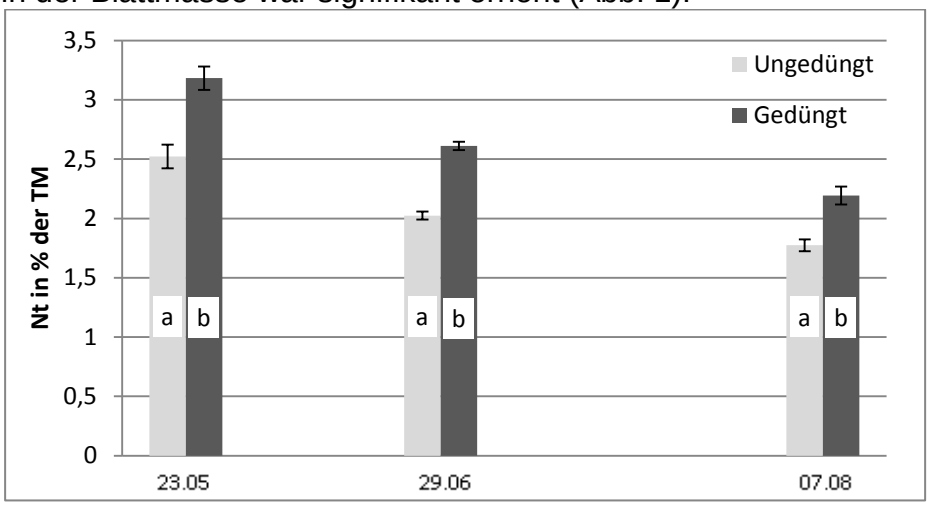


Abb. 1: mittlerer N-Gehalt in jungen, voll entwickelten Blättern von M. x gigantheus in 2012; jeweils mit 80 kg N ha gedüngt und nicht N-gedüngt (α = 5 %; ± Standardfehler)

Die Stängeldurchmesser waren in diesem Versuch während des Julis signifikant durch die N-Düngung erhöht, im August war der Unterschied nicht mehr signifikant messbar.
Das Begießen des Bodens während des Monats Mai mit einer Herbaspirillen-Lösung erwies sich in diesem Versuch als nicht geeignet um die Pflanzen mit *Herbaspirillum frisingense* zu inokulieren. Es sind weitere Versuche nötig um eine sichere Inokulation zu erreichen; es könnten beispielsweise Verfahren der Inokulation über Blatt- oder Stängelverletzungen untersucht werden.

Danksagung
Ein besonderer Dank gilt Markus Straub aus dem Fachbereich für Pflanzenernährung. Ohne seine Vorarbeit und dem bereitgestellten Inokulat wäre dieser Versuch nicht möglich gewesen.

Literatur

Kirchhof, G., Eckert, B., Stoffels, M., Baldani, J. I., Reis, V. M., Hartmann, A. Herbaspirillum frisingense sp. nov., a new nitrogen-fixing bacterial species that occurs in C4-fibre plants. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 51 (2001), 157 – 168.

Rothballer, M, Eckert, B., Schmid, M., Fekete, A., Schloter, M., Lehner, A., Pollmann, S., Hartmann, A. Endophytic root colonization of gramineous plants by Herbaspirillum frisingense. FEMS Microbiol Ecol 66 (2008), 85 - 95

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 253–254 (2013)

Nutzungsmöglichkeiten von mehrjährigen Biomassepflanzen als Torfersatz in Pflanzsubstraten

David Hehmann, Thorsten Kraska, Georg Völkering, Ralf Pude

Forschungsbereich Nachwachsende Rohstoffe, Campus Klein-Altendorf, Rheinbach, Universität Bonn, E-Mail: r.pude@uni-bonn.de

Einleitung

Die Wahl des richtigen Substrats ist im heutigen Gartenbau ein wichtiger Faktor für eine erfolgreiche Pflanzenproduktion. Mit einem Anteil von 77 % ist Torf in der EU der bedeutendste Rohstoff für Pflanzsubstrate (Schmilewski, 2009). Dies liegt vor allem an seinen besonderen, für das Pflanzenwachstum vorteilhaften, physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften (SRU, 2012). Torf ist dabei aber aufgrund des sehr langsamen Wachstums (1 mm pro Jahr) eine endliche Ressource, die in Deutschland bei unvermindertem Abbau in etwa 10 Jahren erschöpft sein könnte (BUND, 2010). Aber auch die Rolle der Moore in der aktuellen Klimadebatte (Trepel, 2008), das steigende Umweltbewusstsein und die zunehmende Abfallproblematik verstärken den Druck auf die Substrathersteller nach nachhaltigen Alternativen zum Torf zu suchen, wie z. B nachwachsende Rohstoffe (Gruda, 2012). Sie zeichnen sich vor allem durch ihre stofflichen Eigenschaften, gute Verfügbarkeit und nachhaltige Nutzungsmöglichkeiten aus. Jedoch kann es durch den Einsatz dieser Stoffe zu einer Veränderung der Substrateigenschaften sowie zu einer damit einhergehenden Beeinflussung des Pflanzenwachstums führen (Fischer, 2010). Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, wie sich die Zugabe verschiedener nachwachsender Rohstoffe auf das Pflanzenwachstum auswirkt und ob sich diese als Torfersatz eignen.

Material und Methoden

Die vorliegenden Versuche zum Einfluss von nachwachsenden Rohstoffen als Torfersatz auf die Entwicklung von Poinsettien (*Euphorbia pulcherrima*) wurden 2012 im Gewächshaus unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt. Dem Poinsettien-substrat wurden 20 % gehäckselte Biomasse (*Miscanthus* x *giganteus, Paulownia tomentosa*, *Populus spec.)* als Torfersatz beigemischt. Alle Varianten erhielten die gleiche Startdüngung, nach 32 Tagen erfolgte die Düngung über die Anstaubewässerung. Neben anderen Parametern (hier nicht dargestellt) wurden Pflanzenhöhe und Blattfarbe (optische Bonitur auf einer Skala von 1= stark vergilbt bis 5= dunkelgrün) erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Erste Unterschiede in der Pflanzenhöhe zeigten sich nach 38 Tagen. Ab diesem Zeitpunkt wiesen Pflanzen im Pflanzsubstrat (Kontrolle) ein stärkeres Längen-wachstum auf als Pflanzen im Substrat mit 20% Biomasse (Abb. 1). Die Unterschiede zu Miscanthus waren geringer als die zu Paulownia und Pappel. Bei der Bonitur der Blattfarbe gab es keine Unterschiede zwischen Kontrolle und Miscanthus (Abb. 2). Die Pflanzen mit Pappel- und Paulowniahäcksel zeigten dagegen eine deutliche Vergilbung, die aber zum Versuchsende ausgeglichen wurde. Es konnte gezeigt werden, dass sich nachwachsende Rohstoffe als Torfersatz eignen, und dass es Unterschiede zwischen diesen Ersatzstoffen gibt. Um

die Substrate zu verbessern und den Anteil der nachwachsenden Rohstoffe in Zukunft zu erhöhen, müssen in weiteren Versuchen die Substrateigenschaften der verschiedenen Zuschlagsstoffe näher bestimmt und eine auf das Substrat abgestimmte Kulturführung herausgearbeitet werden.

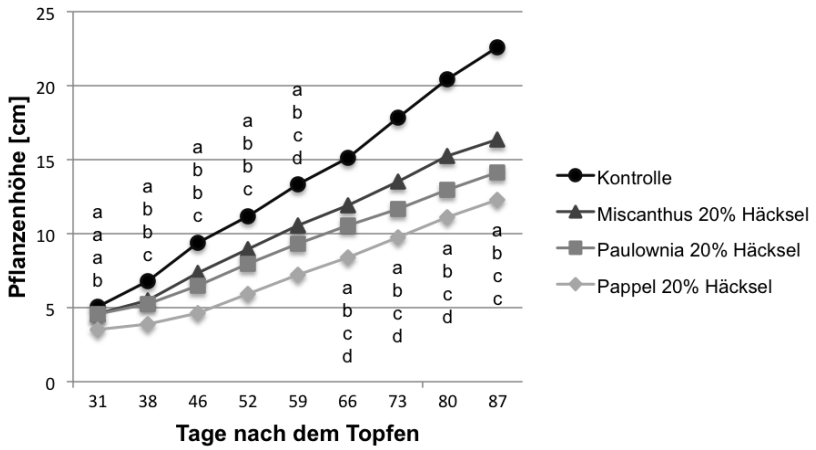


Abbildung 8: Entwicklung des Pflanzenwachstums im zeitlichen Ablauf (n=18)

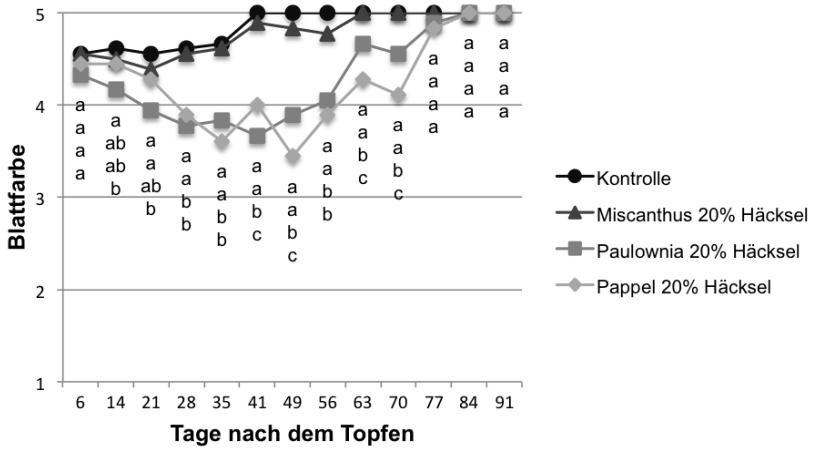


Abbildung 9: Entwicklung der Blattfarbe im zeitlichen Ablauf (n=18)

Literatur

BUND - Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (2010). Moorschutz – ein Beitrag zum Klima- und Naturschutz. BUNDstandpunkt 3. Online in Internet: URL: http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/naturschutz/20100420_naturschutz_moorschutz_standpunkt.pdf [Stand 17.04.2013].

Fischer, P. (2010). Kultursubstrate im Gartenbau. 2. Auflage. Aid infodienst Ernährung, Landwirtschaft Verbraucherschutz e. V., Bonn.

Gruda, N. (2012). Sustainable Peat Alternative Growing Media. Acta Horticulturae 927:973-979.

Schmilewski, G. (2009). Growing Medium Constituents Used in the EU. Acta Horticulturae 819:33-45.

SRU - Sachverständigenrat für Umweltfragen (2012). Moorböden als Kohlenstoffspeicher. Pages 243-272 in: Umweltgutachten 2012 Verantwortung in einer begrenzten Welt. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Trepel, M. (2008). Zur Bedeutung von Mooren in der Klimadebatte. Pages 61-74 in: Jahresbericht des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein 2007/08. Hrsg. Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 255–256 (2013)

Integration von Energiepflanzen in Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus - Auswirkungen auf die Folgefrucht Winterweizen

Rüdiger Graß, Reinhold Stülpnagel, Felix Watermann, Michael Wachendorf

FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel,
E-Mail: grass@wiz.uni-kassel.de

Einleitung

Der Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen gewinnt auch im Ökologischen Landbau an Bedeutung. Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Effekte der Integration von Energiepflanzen in Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus. Im Rahmen des Projektes „ÖKOVERS“ wurden verschiedene Energiepflanzen (Mais, Hirse, Sonnenblumen, Buchweizen) im Rahmen von Zweikulturnutzungssystemen als Zweitkultur nach Kleegras angebaut. Dabei wurde das Kleegras entweder halb oder eineinhalbjährig genutzt. Zur Überprüfung der Auswirkungen der Integration dieser Energiepflanzen wurde als Folgefrucht nach den Energiepflanzen Winterweizen angebaut, anhand dessen Ertragsleistung die Beurteilung erfolgt. Die Ergebnisse der Winterweizenernte 2013 werden auf dem Poster bei der Tagung präsentiert.

Material und Methoden

Die Versuche wurden in Form von zwei Anlagen insgesamt vom Herbst 2007 bis zum Ende der Vegetationsperiode 2013 durchgeführt (Klingebiel et al., 2011). Die Weizenversuche erfolgten in den Jahren 2009 und 2010 sowie 2012 und 2013. Folgende Varianten wurden dabei untersucht:

- Variante 1: 2009 und 2012 - Weizen als Folgefrucht nach dem Energiepflanzen-Fruchtfolgeelement „halbjähriges Kleegras mit nachfolgenden Energiepflanzen: Mais, Sonnenblumen, Mais-Sonnenblumen-Gemenge, Buchweizen“. Die Düngung (kg N ha^{-1}) erfolgte mit separierten Gärresten (Fest-Flüssig-Trennung) und folgenden Varianten: Energiepflanzen - G1 bzw. G 11=ohne Düngung; G2=75 (fest) + 105 bzw. 55 (Buchweizen) (flüssig), G21=30 (fest)+150 bzw. 100 (Buchweizen) (flüssig); Weizen - G1=ohne Düngung; G2=150 kg (flüssig).
- Variante 2: 2010 und 2013 - Weizen als Folgefrucht nach dem Energiepflanzen-Fruchtfolgeelement „Eineinhalbjähriges Kleegras mit nachfolgenden Energiepflanzen: Mais, Sonnenblumen, Mais-Sonnenblumen-Gemenge, Buchweizen“. Die Düngung (kg N ha^{-1}) erfolgte mit separierten Gärresten (Fest-Flüssig-Trennung), keine Düngung zu Winterweizen: G1=ohne Düngung; G2=25 (fest)+25 (flüssig); G3=80 bzw. 50 (Buchweizen) flüssig; G4=25 (fest)+105 bzw. 75 (Buchweizen) (flüssig).

Die Varianten G11 und G21 wurden nur in der 2. Anlage in den Jahren 2011-2013 untersucht.

Die Versuche wurden an vier Standorten durchgeführt: Haus Düsse (Nordrhein-Westfalen), Rauischholzhausen (Hessen), Witzenhausen (Hessen) und Hofdorf (Bayern).

Ergebnisse und Diskussion

Beispielhaft sind in Abb. 1 die Weizenerträge vom Standort Witzenhausen aus dem Jahr 2012 (Variante 1) aufgeführt.

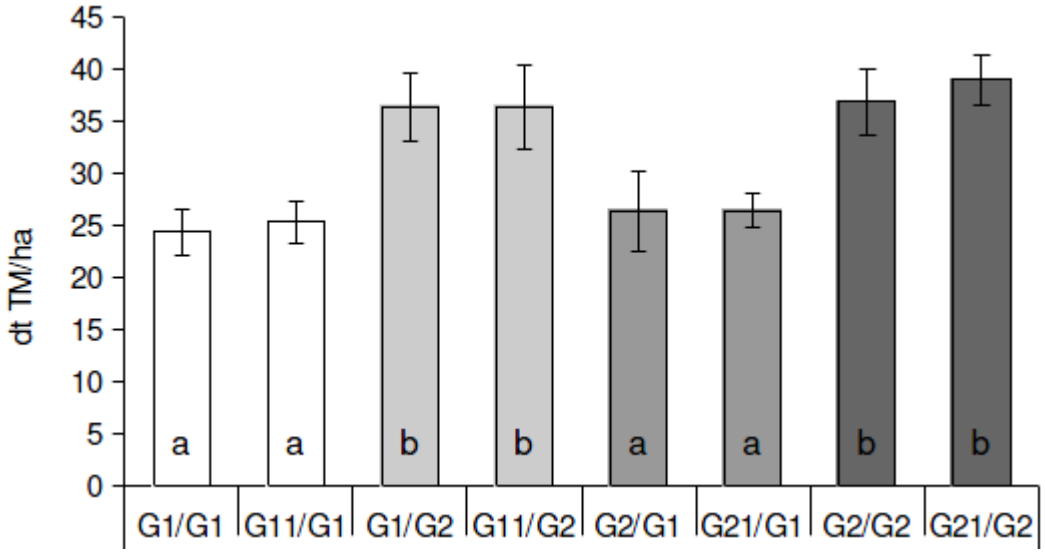


Abb. 1: Winterweizenerträge nach der Energiepflanzenvorfrucht „halbjähriges Kleegras - Mais“ (Variante 1) bei unterschiedlichen Düngevarianten, Standort Witzenhausen 2012 (unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Varianten, $p<0,05$).

Die Varianten mit Düngung zu Winterweizen in Höhe von 150 kg N ha^{-1} in Form von flüssigem Gärrest (Varianten G1/G2; G11/G2; G2/G2; G21/G2) führten im Jahr 2012 zu signifikanten Ertragssteigerungen nach der Vorfrucht „halbjähriges Kleegras-Mais“. Diese Ertragssteigerung aufgrund der Düngung zum Winterweizen wurde bei allen Energiepflanzenvorfrüchten in unterschiedlicher Ausprägung festgestellt. Dagegen konnte ein Einfluss der verschiedenen Energiepflanzenvorfrüchte bzw. der unterschiedlichen Düngung zu diesen bei gleicher Düngung zu Weizen nicht festgestellt werden. Diese Tendenzen gelten für alle Standorte.
Bei Variante 2 (nicht dargestellt) führten im Jahr 2010 die Düngevarianten G3 und G4 der Energiepflanzenvorfrüchte mit erhöhten Gaben an flüssigem Gärrest zu signifikant höheren Weizenerträgen. Insgesamt zeigte sich, dass die schnellere Verfügbarkeit der N-Fraktionen im flüssigen Gärrestteil einen signifikanten Einfluss auf die Ertragsbildung beim Winterweizen hat. Potenzielle Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus mit halbjährigem Kleegras werden von dieser Düngewirkung überlagert. Die Anwendung fester Gärreste muss vor dem Hintergrund der vorliegenden Untersuchungen kritisch hinsichtlich N-Verfügbarkeit und Ertragsbildung betrachtet werden. Dabei kommt der standortbezogenen Nährstoffdynamik besondere Bedeutung zu.

Danksagung

Das Projekt EVA wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über den Projektträger FNR e.V. gefördert.

Literatur

Klingebiel L., Stülpnagel R., Graß R., Wachendorf M. (2011): Energiepflanzenanbau zur Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau - Ergebnisse aus dem Versuch ÖKOVERS. 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Band 1, S. 229-232.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 257–258 (2013)

Die Zuckerrübe als Energiepflanze in Fruchtfolgen auf hoch produktiven Standorten - eine pflanzenbaulich/ökonomische Systemanalyse

Anna Jacobs[1], Sebastian Auburger[2], Enno Bahrs[2], Wiebke Brauer-Siebrecht[1], Olaf Christen[3], Philipp Götze[3], Heinz-Josef Koch[1], Oliver Mußhoff[4], Niels Pelka[4], Jan Rücknagel[3], Bernward Märländer[1]

[1]Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen; [2]Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410b), Universität Hohenheim; [3]Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Universität Halle-Wittenberg; [4]Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Universität Göttingen. E-Mail: *olaf.christen@landw.uni-halle.de*

Einleitung

Auch der Anbau von Energiefrüchten muss dem Konzept der nachhaltigen Entwicklung gerecht werden und ggf. entsprechend ökonomischer, ökologischer und sozialer Ziele optimiert werden. Zuckerrüben (ZR) eignen sich für die Produktion von Biogas (Hartung & Ohl, 2012) und bieten eine Alternative zur z. T. hohen Anbaukonzentration von Silomais (SM). So können aufgelockerte Fruchtfolgen etabliert werden, die hohe ökologische und ökonomische Effizienzen aufweisen und so die gesellschaftliche Akzeptanz der Biogasproduktion stärken. Die Phase 2 (2012-2015) des im Titel genannten Verbundprojektes hat zum übergreifenden Ziel, Handlungsempfehlungen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung des Biomasseanbaus zu formulieren. Der Beitrag liefert einen Überblick über Projektstruktur und ausgewählte erste Ergebnisse.

Material und Methoden

In vier Feldversuchen an drei Standorten werden verschiedene Fruchtfolgen mit SM und/oder ZR (Biogas) sowie Winterweizen (WW; Markfrucht) auf den Betrachtungsebenen Feld, Betrieb, Region und Nation bewertet. Hierzu sollen Erträge, Krankheiten und Schädlinge, Pflanzenschutzmitteleinsatz, N-Bilanz, Humusreproduktion, Bodenstruktur, Energie- und Treibhausgasbilanzen, Umweltwirkungen, einzelbetriebliche Wettbewerbsfähigkeit sowie betroffene Agrarmärkte und Standortvorzüglichkeiten bewertet werden. Datengrundlage für die hier präsentierten Ergebnisse bilden die Ertragsjahre 2011 und 2012 an den Standorten Harste (Süd-Niedersachsen) und Straubing (Niederbayern). Für die Fruchtfolgen (Senf)-ZR-WW-WW, (Senf)-SM-WW-WW, ZR-WW-(Senf)-SM sowie den Daueranbau (nur Harste) von SM, WW und ZR wurden Trockenmasse- und theoretische Methanhektarerträge (Weißbach, 2008 und 2009), Nettoenergiegewinne (Hülsbergen et al., 2001) und Bodenstrukturverhältnisse (DIN 19683-9, 1998; DIN ISO 11272 und 11274, 2001) ermittelt. Betriebswirtschaftliche Änderungen, die sich durch das Produktionsziel Biogas aus ZR ergeben, sollen perspektivisch in einem dynamischen Optimierungsmodell unter Berücksichtigung von Risiken (Mußhoff & Hirschauer, 2007) abgebildet werden. Als Grundlage für die Modellierung von Standortvorzüglichkeiten wurde das theoretische Potential von zusätzlicher ZR-Anbaufläche gemeindescharf abgeschätzt (Kaltschmitt, 2009).

Ergebnisse und Diskussion

Grundsätzlich lagen die theoretischen Methanhektarerträge am Standort Harste niedriger als am Standort Straubing. Zuckerrüben zeigten im Mittel über die

Standorte und Jahre z. T. signifikant niedrigere theoretische Methanhektarerträge (6.870 Nm^3 ha^{-1} a^{-1}) als SM (8.259 Nm^3 ha^{-1} a^{-1}), welche dennoch über denen anderer Energiepflanzen lagen (Eder & Krieg, 2012) und durch einen späteren Erntetermin noch gesteigert werden könnten. Da der Energieaufwand für den Anbau von SM im Mittel nur leicht höher war als für den von ZR (SM: 19 GJ ha^{-1} a^{-1}; ZR: 18 GJ ha^{-1} a^{-1}), erreichten die dreijährigen Fruchtfolgen mit SM die höchsten Nettoenergiegewinne: Das Maximum mit 720 GJ ha^{-1} $3a^{-1}$ wurde für den SM-Daueranbau (nur Harste) errechnet, die Fruchtfolge ZR-WW-(Senf)-SM folgte mit 662 bzw. 535 GJ ha^{-1} $3a^{-1}$ (Straubing bzw. Harste). Die theoretischen Methanhektarerträge sowie Nettoenergiegewinne werden maßgeblich durch die Trockenmasseerträge bestimmt, da diese analoge Differenzierungen aufzeigten. Ertragsschwankungen zwischen den Jahren und Standorten machen weitere Versuchsjahre notwendig. Weitere Hinweise werden auch die einzelbetrieblichen ökonomischen Bewertungen ergeben, die Aussagen zur wirtschaftlichen Stabilität der untersuchten Kulturarten erwarten lassen. Erste Untersuchungen des Bodenstrukturzustandes der Oberkrume (nur Harste) zeigten zum Zeitpunkt der Probenahme (Mai 2012) signifikant günstigere Bedingungen unter WW-Daueranbau durch eine geringere Trockenrohdichte sowie höhere Luftkapazität und gesättigte Wasserleitfähigkeit im Vergleich zu ZR- bzw. SM-Daueranbau. Dennoch wiesen die Werte auf ein ausreichend kontinuierliches Grobporensystem für alle Varianten hin. Zu vermuten ist hierbei ein positiver Einfluss der hohen Menge an Ernte- und Wurzelrückständen im WW-Anbau (Blanco-Canqui & Lal, 2009). Die Bewertung des theoretischen Potentials von zusätzlicher Anbaufläche von ZR für die Biogasproduktion ergab einen Umfang von 1,1-2,7 Mio. ha. Bei der unteren Grenze handelt es sich um die Gemeinden, in denen bereits ZR-Anbau erfolgt und die daher rübenfähige Böden aufweisen. Diese Schätzung soll im weiteren Projektverlauf mit Hilfe zusätzlicher Indikatoren verfeinert werden.

Literatur

Blanco-Canqui, H.; Lal, R. (2009): Crop Residue Removal Impacts on Soil Productivity and Environmental Quality. Crit. Rev. Plant Sci. 28, 139-163

DIN 19683-9 (1998): Bodenuntersuchung im landwirtschaftlichen Wasserbau - Physikalische Laboruntersuchungen, Teil 9: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in wassergesättigten Stechzylinderproben

DIN ISO 11272 (2001): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Trockenrohdichte

DIN ISO 11274 (2001): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens

Eder, B.; Krieg, A. (2012), in: Biogas-Praxis. Hrsg. Eder, B., ökobuch, Staufen bei Freiburg

Hartung, E.; Ohl, S. (2012): Fermentation und Biogaserträge von Zuckerrüben. Sugar Ind. 137, 595-600

Hülsbergen, K.-J.; Feil, B.; Biermann, S.; Rathke, G.-W.; Kalk, W.-D.; Diepenbrock, W. (2001): A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. Agric. Ecosyst. Environ. 86, 303-321

Kaltschmitt, M. (2009): Biomasse als nachwachsender Energieträger, in: Energie aus Biomasse. Hrsg. Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H., Springer, Berlin, Heidelberg

Mußhoff, O.; Hirschauer, N. (2007): What Benefits are to be derived from Improved Program Planning Approaches? The Role of Time Series Models and Stochastic Optimization. Agr. Syst. 95, 11-27

Weißbach, F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. Landtechnik 6, 356-358

Weißbach, F. (2009): Das Gasbildungspotenzial von frischen und silierten Zuckerrüben bei der Biogasgewinnung. Landtechnik 6, 394-397

Dieses Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 259–260 (2013)

Energetische Verwertung des Laubes städtischer Bäume

Frank Hensgen[1], Lutz Bühle[1], Jan Khalsa und Michael Wachendorf [1]

[1] Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Witzenhausen; Email: *hensgen@uni-kassel.de*

Einleitung

Um die Ziele der EU und der Bundesregierung zum Ausbau erneuerbarer Energien zu erreichen, ist es notwendig, bisher ungenutzte Biomassepotenziale für die energetische Erzeugung zu erschließen. Laub ist ein Reststoff, der in allen Kommunen in substantiellen Mengen anfällt und bisher entweder auf der Fläche verbleibt oder gesammelt und zur Kompostbereitung genutzt wird. Diese Art der Verwertung ist energieintensiv und verursacht immense Kosten. Daher ist es naheliegend, diesen Abfallstoff einer energetischen Nutzung zuzuführen. Aufgrund der hohen Trockenmasse- und Ligningehalte des Materials erscheint eine Verwertung über die anaerobe Vergärung unwirtschaftlich, da mit geringen Biogaserträgen und langer Verweildauer zu rechnen ist. Eine Nutzung über die Verbrennung oder Co-Verbrennung erscheint hingegen möglich. Diese Studie an 5 Laubbaumarten aus dem Bergpark Wilhelmshöhe der Stadt Kassel untersuchte die Eignung von Laub für die direkte Verbrennung und für das IFBB (Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse, Wachendorf et al. 2009) Verfahren.

Material und Methoden

Im Bergpark Wilhelmshöhe der Stadt Kassel wurden von 5 Laubbaumarten jeweils 3 Proben von 9,5 kg genommen (*Quercus robur, Aesculus hippocastanum, Acer pseudoplatanus, Tilia platyphyllos, Fagus sylvatica*). Die Trockenmasse wurde bestimmt bei 105°C für 48 h, der Aschegehalt bei 550°C für mindestens 3h. Eine Teilprobe wurde auf Mineralstoffe (K, Mg, Cl, S, Röntgenfluoreszenzanalyse) und C, H und N (Elementaranalysator Vario MAX CHN) untersucht. 9 kg der Probe wurden dem IFBB-Verfahren zugeführt. Diese Probe wurde mit warmen Wasser (40°C) im Verhältnis 1:4 für 15 Minuten gemaischt und anschließend mittels einer Schneckenpresse (Steigung 1:6, 3 Umdrehungen pro Minute, Siebkorblochung 1.5mm) entwässert. Der Presskuchen wurde analog zum unbehandelten Ausgangsmaterial untersucht.

Es wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt mit dem unbehandelten Laub der Baumarten, um auf Unterschiede zwischen den Elementgehalte der Laubsorten zu testen. Die Differenz der Elementgehalte von unbehandeltem und nach dem IFBB Verfahren behandeltem Laub wurde ebenfalls mit einer einfaktoriellen ANOVA für jede Baumart einzeln getestet. Die Vorraussetzungen der ANOVA wurden getestet, die Stichproben waren normalverteilt und die Homoskedastizität war gegeben.

Ergebnisse und Diskussion

Das Ausgangsmaterial Laub hatte einen Trockenmasse Gehalt von 26 bis 34%. Dieser konnte durch das IFBB Verfahren auf 32 (Sommerlinde) bis 45% (Rotbuche) gesteigert werden. Die Aschegehalte im Laub variierten zwischen 8 und 24% i. d. TM, im Presskuchen zwischen 8 und 21% i.d. TM. Die Element- Reduktionen im

Presskuchen im Vergleich zum unbehandelten Laub sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Reduktionen für Stickstoff waren gering, aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit des Stickstoffs. Für S und Mg konnten teilweise signifikante Änderungen beobachtet werden. Für diese beiden Mineralstoffe, die in der Verbrennung Auswirkungen auf Korrosion, Emissionen und Ascheverschlackung haben, kann somit durch das IFBB Verfahren eine Verbesserung des Brennstoffs erzielt werden. In stärkerem Ausmaß galt dies für Cl und K, die für jede Baumart signifikant reduziert wurden und nach dem IFBB-Verfahren in unschädlichen Bereichen für die Verbrennungstechnik liegen. Die Inhaltsstoffe des Laubes lagen sowohl unbehandelt als auch behandelt deutlich höher als die Inhaltsstoffe im Buchenholz, aber ebenfalls deutlich unter den Werten von Landschaftspflegeheu. Damit ist das Laub städtischer Bäume nach Vorbehandlung durch das IFBB-Verfahren aus Sicht der Mineralstoffgehalte geeignet für die Verbrennung in größeren Verbrennungsöfen, die über eine Luftstufung und einen Staubfilter verfügen. Da Laub saisonal anfällt, sollte eine zu planende IFBB-Anlage Laub nicht als Monosubstrat nutzen, sondern in Beimischung zu anderen IFBB-Brennstoffen, beispielsweise aus extensiv Grünland oder Straßenschnitt. So kann das Laub zu einer Verbesserung der Brennstoffeigenschaften beitragen. Die direkte Verbrennung von Laub nach Reinigung und Trocknung ist weniger empfehlenswert, da hier die Mineralstoffgehalte höher sind und zudem stark variieren zwischen den einzelnen Baumarten.

Tabelle 9: Inhaltsstoffe von Laub verschiedener Baumarten in % d. TM, unbehandelt und nach dem IFBB-Verfahren, im Vergleich zu Buchenholz und Gras (Landschaftspflegeheu) (Kaltschmitt et al. 2009). Durch das IFBB Verfahren signifikant reduzierte Werte sind fett gedruckt.

% TM	Stiel-Eiche		Bergahorn		Rosskastanie		Sommerlinde		Rotbuche		Buchen holz	Gras
		IFBB		IFBB		IFBB		IFBB		IFBB		
N	0.86	0.86	0.81	**0.77**	0.85	0.83	1.21	**1.15**	0.77	0.71	0.22	1.14
S	0.07	0.06	0.09	**0.07**	0.08	**0.07**	0.11	**0.10**	0.06	**0.05**	0.02	0.16
K	0.47	**0.33**	1.12	**0.56**	0.62	**0.35**	0.58	**0.37**	0.33	**0.19**	0.15	1.49
Mg	0.24	0.20	0.28	**0.24**	0.28	**0.25**	0.43	**0.38**	0.28	**0.26**	0.04	0.16
Cl	0.03	**0.01**	0.09	**0.01**	0.03	**0.01**	0.07	**0.03**	0.02	**0.01**	<0.01	0.31

Literatur

Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. und H. Hofbauer (Hrsg.) 2009. Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin: Springer.

Wachendorf, M.; Richter, F.; Fricke, T.; Graß, R. und R. Neff, 2009. Utilisation of semi-natural grassland through an integrated generation of solid fuel and biogas from biomass I: Effects of hydrothermic conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. Grass and Forage Science, 64/2, 132-143.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 261–262 (2013)

Einfluss von Trockenstress auf die Ganzpflanzen-Ertragsleistung von Buchweizen und Quinoa zur Nutzung als Biogassubstrat

Falko Stockmann[1], Maendy Fritz[1]

[1] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing, E-Mail: *falko.stockmann@tfz.bayern.de*

Einleitung

Während des Anbaus von Sommerungen kann die Wasserversorgung der entscheidende Wachstumsfaktor sein, der das Pflanzenwachstum begrenzt und die Ertragsleistung sinken lässt. Daher sind v. a. nach Vorfrucht Ganzpflanzen-Getreide Sommerkulturen sinnvoll, die mit der Ressource Wasser effizient umgehen. Die Wassernutzungseffizienz (WUE: Verhältnis von gebildeter Trockenmasse zum Wasserverbrauch) ist ein Faktor zur Bestimmung der Trockenstresstoleranz und kann sortenbedingt variieren. Eine Sorte mit hoher WUE bildet unter Wasserlimitierung gleich viel oder mehr Ertrag als eine Sorte mit geringerer WUE und hat Vorteile bei Trockenphasen während der Vegetationszeit.

Ziel eines Gefäßversuchs war es Unterschiede bezüglich der WUE in einem Sortenspektrum bei Buchweizen unter Trockenstress aufzudecken. Um zu klären, ob es Unterschiede in der WUE zwischen den Kulturen Buchweizen und Quinoa gibt, wurden zusätzlich Blattproben aus einem Feldversuch während einer Trockenperiode im August 2011 genommen und auf ihre ^{13}C-Isotopen-Diskriminierung hin untersucht. Ein positiverer δ^{13}C-Wert deutet dabei eine bessere WUE an (Farquhar & Richards, 1984).

Material und Methoden

Zur Klärung, welche Auswirkungen Wassermangel auf das Wachstum und die Abreife von Buchweizensorten hat, wurde ein Gefäßversuch unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt. In sechs Wiederholungen wurden die Buchweizensorten Lifago, Spacinska, Lileja und Kora mit je vier Saugspannungsstufen (50, 200, 350 und 500 hPa) bewässert. Nach der Aussaat am 19.11.2012 mit 20 Körnern pro Topf erfolgte für alle Töpfe (Volumen: 20 l, Erde-Sand-Gemisch: Verhältnis 2:1) eine einheitliche Bewässerung von 50 hPa. Am 06.12.2012 wurde die Pflanzenanzahl pro Topf auf 12 reduziert. Zu BBCH 60 (*Fagopyrum esculentum*-Sorten) sowie BBCH 33 (*Fagopyrum tataricum*-Sorten) wurden am 21.12.2012 die Saugspannungsstufen eingestellt und mittels eines Tensiometers gehalten. Bei Erreichen des gewünschten TS-Gehalts von 28 % wurde die oberirdische Biomasse je Topf geerntet, getrocknet und verwogen. Zur Prüfung der ^{13}C-Isotopen-Diskriminierung wurden von Pflanzen aus Parzellen eines Feldversuchs von acht Buchweizen- und neun Quinoasorten die jüngst entwickelten Blätter beprobt, getrocknet und nach Vermahlung hinsichtlich δ^{13}C untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zum TM-Ertrag sind getrennt nach Saugspannungsstufe und Sorte in Abb. 1 dargestellt. Die Saugspannungsstufe 50 hPa stellte die optimale Wasserversorgung und die Stufe 500 hPa die höchste Trockenstufe dar. Nach statistischer Auswertung (Varianzanalyse) lag ein signifikanter (sign.) Einfluss für die Haupteffekte Saugspannung und Sorte sowie die Wechselwirkung Saugspannung*Sorte vor.

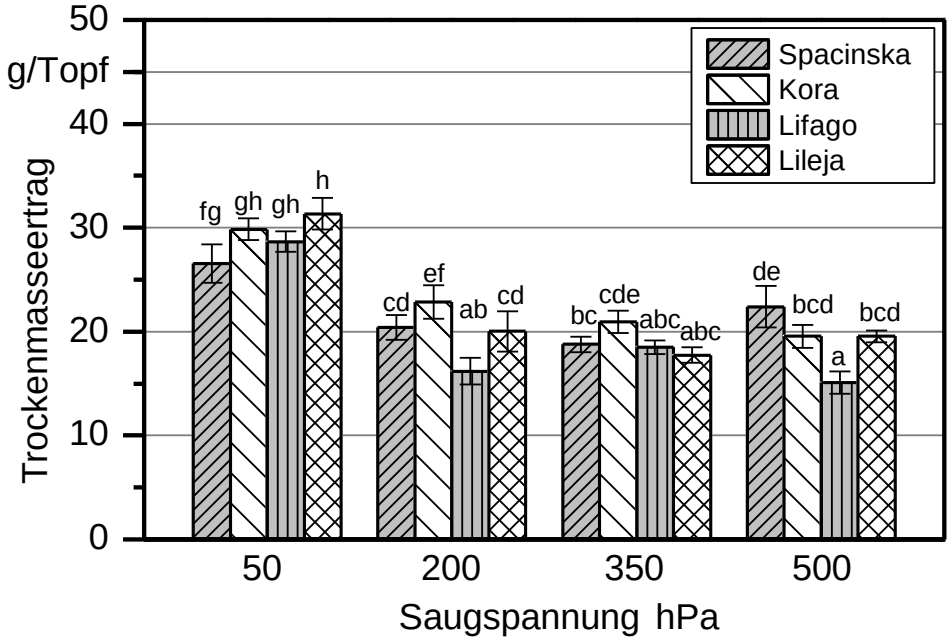


Abbildung 10: TM-Ertrag der Sorten Spacinska, Kora, Lifago und Lileja getrennt nach Saugspannungsstufe; Fehlerbalken = Standardfehler, Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant unterschiedlich ($p < 0,05$, t-Test)

Bei einer Saugspannung von 50 hPa wurde sortenunabhängig der sign. höchste TM-Ertrag pro Topf erreicht (Abb. 1). Wurde die Wasserversorgung auf 200 hPa gedrosselt, sanken die Erträge innerhalb der gleichen Sorte sign. Eine weitere Absenkung der Saugspannung zeigte kaum noch sign. Ertragsunterschiede. Der TM-Ertrag der Sorte Kora nahm graduell mit Zunahme der Saugspannung ab, die Sorten Spacinska und Lifago schwankten dagegen. Im Vergleich der Sorten untereinander getrennt nach Saugspannungsstufe war Lileja bei Stufe 50 hPa am ertragsstärksten, gefolgt von Kora und Lifago. Für die Stufen 200 hPa und 350 hPa zeigte die Sorte Kora den sign. höchsten TM-Ertrag. Bei sehr marginaler Wasserversorgung (500 hPa), erwies sich die Sorte Spacinska am ertragsstärksten. Die Ergebnisse zeigen, dass je nach standortbedingten Niederschlagsniveau zum Anbau verschiedene Sorten zu wählen sind. Für sommertrockene Standorte scheinen die Sorten Kora oder Spacinska empfehlenswert.
Nach Analyse der ^{13}C-Isotopendiskriminierung waren die $\delta^{13}C$-Werte bei Quinoa mit im Mittel -27,91 positiver als für Buchweizen ($\delta^{13}C$-Wert: -30,04). Die geprüften Quinoasorten scheinen eine bessere WUE zu besitzen und das verfügbare Wasser effizienter zu nutzen. Dies deckt sich mit Beobachtungen bei Feldbonituren nach einer Trockenphase (schlaffe, eingefallene Blätter bei Buchweizen vs. kein Effekt bei Quinoa). Der nach Aufhammer (2000) geringere Transpirationskoeffizient bei Quinoa (400) im Vergleich zu Buchweizen (540) stützt diese ersten Ergebnisse zusätzlich.

Literatur

Farquhar, G. D. and Richards, R. A. (1984). Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. Australien Journal of Plant Plant Physiology 11, 539-552

Aufhammer, W. (2000): Pseudogetreidearten – Buchweizen. Reismelde und Amarant. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer. 262 Seiten. ISBN 3-8001-3189-7

Förderung: Das Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. gefördert.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 263–264 (2013)

Sorghum für Biogas –Ergebnisse des bayernweiten Sortenvergleichs 2012

Karen Zeise

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing; E-Mail: *karen.zeise@tfz.bayern.de*

Einleitung

Für eine Beurteilung des Leistungspotenzials von Sorghum unter bayerischen Anbaubedingungen ist eine Sortenprüfung in unterschiedlichen Boden-/Klimaräumen unerlässlich. Über den bayernweiten Sortenvergleich lassen sich standortspezifische Empfehlungen in Anlehnung an die Landessortenversuche anderer Kulturen ableiten. Er ist unverzichtbarer Bestandteil der praktischen Beratung.

Material und Methoden

Der Versuch wurde an den 5 Standorten Straubing, Aholfing, Haibach, Euerhausen und Neuhof als Alpha-Gitteranlage mit doppelter Parzellenbreite in dreifacher Wiederholung angelegt. Die Aussaat erfolgte in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten in einen ausreichend erwärmten Boden (Drillmaschine, Reihenabstand 37,5 cm, Saattiefe 2-5 cm). Die N-Düngung orientierte sich an der standortüblichen Gabe zu Mais abzüglich 30 % zur Verbesserung der Standfestigkeit. Bei Bedarf wurde eine Herbizidbehandlung im Nachauflauf (BBCH 13) mit einem der für Sorghum als Biogassubstrat zugelassenen Herbizide durchgeführt. Geerntet wurden die vier Kernreihen je Parzelle Ende September bis Mitte Oktober. Die Auswahl der Sorghumsorten war darauf abgestellt, die wirtschaftlich relevanten Arten einzubeziehen sowie Verfügbarkeit und Bekanntheitsgrad am Markt und den Anspruch des Versuches auf Mehrjährigkeit der Ergebnisse zu berücksichtigen (Tab. 1).

Tabelle 1: Bayernweiter Sortenvergleich - Geprüfte Sorten im Hauptsortiment in 2012

Lfd. Nr.	Sorte	Sorghumart	Reifegruppe (RG)	Prüfjahre	Saatstärke in Kö./m²
1	Lussi	*S. bic.* x *S. sud.*	1	>3	40
2	KWS Freya	*S. bic.* x *S. sud.*	3	2	40
3	KWS Sole	*S. bic.* x *S. sud.*	2	1	40
4	KWS Tarzan	*S. bicolor*	4	1	25
5	Amiggo	*S. bicolor*	4	2	25
6	Biomass 150	*S. bicolor*	5	3	25
7	EUG 221F	*S. bicolor*	5	1	25
8	Herkules	*S. bicolor*	5	>3	25
9	KWS Merlin	*S. bicolor*	4	1	25
10	RSH 11922	*S. bicolor*	5	1	25

RG 1 – früh, RG 3 – mittelfrüh, RG 5 - mittelspät

Ergebnisse und Diskussion

An allen Standorten wurde eine außerordentlich frühe Aussaat in der ersten Maidekade realisiert. Die Witterungsbedingungen im Verlaufe der

Vegetationsperiode waren für Sorghum nahezu optimal, so dass gute bis massige Bestände heranwuchsen, die ohne große Verluste geborgen werden konnten.
An vier der Standorte lagen die Trockenmasseerträge der Prüfsorten nahe beieinander. Allein in Euerhausen war das Ertragsniveau insgesamt signifikant höher. Im Mittel aller fünf Standorte zeigten sich die früheren Sorten signifikant ertragsschwächer als die später reifenden. Auch im Merkmal Trockensubstanzgehalt zur Ernte unterschieden sich die Sorten signifikant. Dabei widerspiegelten sie perfekt ihre Reifegruppenzugehörigkeit. Die mittelspäten Sorten erreichten nicht den angestrebten TS-Gehalt von 28 %, wenn die Wärmesumme (Basistemperatur von 10 °C) an den Standorten von Aussaat bis Ernte unter 1.000 °C blieb.

Die Ertragsstabilität, dargestellt als relativer Trockenmasseertrag jeder Prüfsorte zum jeweiligen Standortmittel (Bezugsbasis = 100 %), ist in Abb. 1 dargestellt. Danach lag die bereits in den Vorjahren führende Sorte Biomass 150 an allen Standorten deutlich über dem Mittel der Prüfsorten. Auch der neue Stamm EUR 221F erwies sich als überdurchschnittlich ertragsstark. Im Ertragsniveau dicht beieinander und nahe der Bezugsbasis von 100 % lagen die Sorten KWS Tarzan, KWS Merlin und RSH 1192. Etwas stärker gestreut haben die Sorten KWS Sole, KWS Freya und Herkules. Die mit Abstand am frühesten reifende Sorte Lussi erreichte einen Durchschnittsertrag von 80 bis 90 % der Standortmittel.

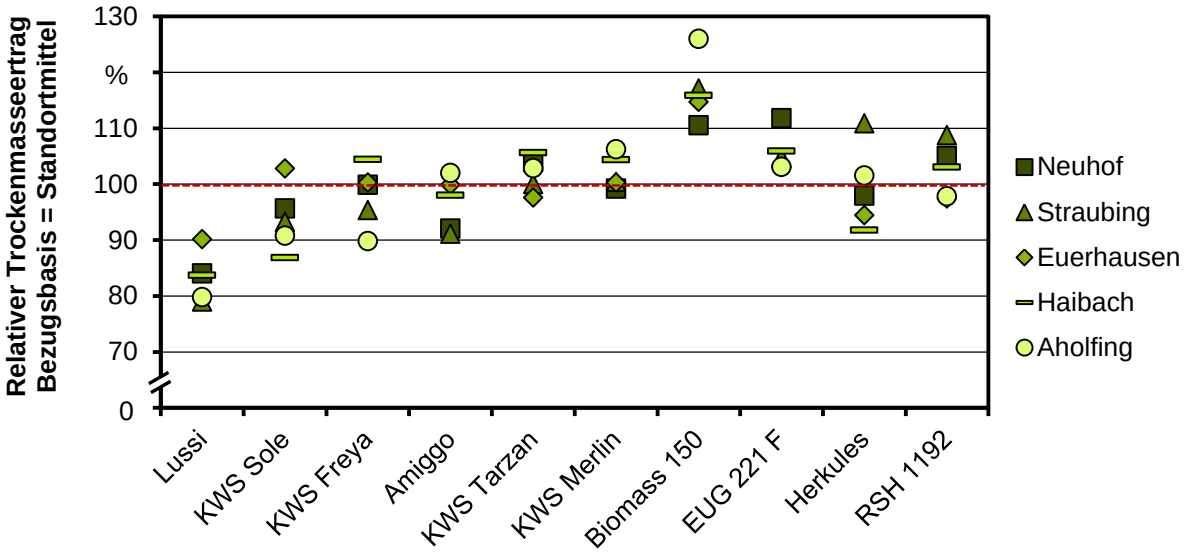


Abbildung 1: Bayernweiter Sortenvergleich – relative Trockenmasseerträge

In Auswertung der erreichten Trockensubstanzgehalte in Beziehung zur Wärmesumme wird deutlich, dass dem wärmebedürftigen Sorghum eine möglichst frühzeitige Aussaat eher dienlich ist als eine lange Standzeit im Herbst. Positive Temperaturwerte (d.h. mittlere Tagestemperaturen > 10 °C) werden im Mai in der Regel häufiger erreicht als im September. Mit der Stagnation im Anstieg der Wärmesumme gibt es auch kaum noch Bewegung in der Abreife der Pflanzen. Somit sind die ertragsstarken mittelspäten Sorten nur als Hauptfrucht an ausgesprochen warmen Standorten bei früher Aussaat im Mai zu empfehlen (repräsentiert durch Euerhausen). Frühe und mittelfrühe Sorten eignen sich überall in Bayern als Zweitfrüchte für eine Aussaat bis Mitte Juni und sind in den kühleren Lagen (hier Haibach) auch die einzige Alternative in Hauptfruchtstellung.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 265–266 (2013)

Einfluss einer verminderten Schnitthäufigkeit und N-Düngung auf den Biogasertrag verschiedener Futtergräser

Ohnmacht, Bernhard[1]

[1] Julius Kühn-Institut/Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig;
E-Mail: *bernhard.ohnmacht@jki.bund.de*

Einleitung

Die Offenhaltung der Landschaft und damit die Erhaltung und Nutzung von Dauergrünland wird als wichtiges Ziel angesehen. Durch den Rückgang der Tierhaltung auf klassischen Grünlandstandorten stehen damit vermehrt Grünlandflächen zur Erzeugung von Biomasse zur Verfügung. In einzelnen Bundesländern wurden bereits gesetzliche Regelungen erlassen, die den Umbruch von Grünland verbieten.

Im Rahmen des FNR Verbundprojektes „Entwicklung der Produktlinie Futterpflanzen als Biomasselieferant“ (FNR 22016209) wurde ein „Nutzungsversuch“ durchgeführt, mit dem Ziel, den Einfluss von Grasart, Sorte und Anbau- bzw. Ernteverfahren auf den Biomasse- sowie den Methanertrag zu untersuchen.

Material und Methoden

Im Nutzungsversuch wurde die übliche 4-Schnitt-Nutzung mit einer Variante mit reduziertem Faktoreinsatz verglichen. In dieser Variante wurde die Zahl der Schnitte von 4 auf 2 und die N-Düngung von 240 kg/ha um 1/3 auf 180 kg/ha und Jahr reduziert (2-Schnitt-Variante). Für den Versuch wurden Futtergräser von 7 Arten mit insgesamt 10 Sorten ausgewählt. Der Versuch wurde 2010 an vier Standorten in Nord- und Süddeutschland als randomisierte Blockanlage mit zwei Wiederholungen angelegt. Zur Aussaat kamen Deutsches (DW) und Welsches Weidelgras (WW), Rohrschwingel, Wiesenschwingel, Wiesenschweidel, Wiesenlieschgras, Knaulgras und Glatthafer, die in den ersten beiden Hauptnutzungsjahren beerntet wurden. Zu jedem Erntetermin wurden der Trockenmasseertrag (TM) sowie der Rohaschegehalt und die enzymunlösliche organische Substanz (Eulos) erfasst. Die Inhaltsstoffe wurden mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) geschätzt. Dazu wurden die Ernteproben 48 Stunden bei 60°C getrocknet, vermahlen und mit einem Foss 5000 Spektrometer gemessen. Über den im Labor bestimmten Aschegehalte und die Schätzwerte für Eulos wurde nach Weißbach (2008) die fermentierbare organische Trockensubstanz (FoTS) ermittelt und daraus die Methanausbeute (420 l Methan/kg FoTS) sowie der Methanertrag je ha berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Hauptnutzungsjahr wurden erwartungsgemäß in beiden Nutzungsvarianten die höchsten Trockenmasseerträge über alle Schnitte in der Gruppe der Weidelgräser ermittelt. Den höchsten Ertrag lieferte Ligrande (WW) mit 1,75 kg/m² in der 4-Schnitt- und 1,35 kg/m² in der 2-Schnitt-Variante. Im zweiten Hauptnutzungsjahr änderte sich die Rangfolge. Ein Grund dafür könnte die späte Etablierung einiger Arten durch den späten Aussaattermin sein. Im zweiten Jahr lieferten Rohrschwingel (Lipalma) und Glatthafer (Arone) in beiden Varianten die besten Erträge. Lipalma und Arone erzielten bei vier Schnitten jeweils 1,22 kg/m², in der 2-Schnitt-Variante übertrafen diese beiden Arten mit 1,23 bzw. 1,27 kg/m² sogar die 4-Schnitt-Variante im Trockenmasseertrag. Im Mittel über beide Jahre war Ligrande (WW) mit 1,34 kg/m³

am ertragreichsten, gefolgt von Arone. In der N-reduzierten Variante mit zwei Schnitten lieferte der Wiesenschweidel (Lifema) mit 1,14 kg/m² im Mittel beider Jahre den besten Ertrag.

Tab.1: Trockenmasseertrag, Methanausbeute und Methanertrag im Mittel über alle Arten/Sorten und Orte; Vergleich der 4-Schnitt-Nutzung, mit einem 2-Schnitt-Nutzungssystem mit reduzierter N-Düngung

Variante	Jahr	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt	Gesamt
Trockenmasse [kg/m²]						
4-Schnitt	2011	0,46	0,28	0,30	0,27	**1,31**
	2012	0,46	0,28	0,17	0,12	**1,03**
2-Schnitt	2011	0,62	0,47			**1,09**
	2012	0,67	0,31			**0,98**
Methanausbeute [l_N/kg TM]						
4-Schnitt	2011	322,3	310,6	308,1	317,3	
	2012	331,4	305,1	308,4	244,2	
2-Schnitt	2011	297,8	282,4			
	2012	287,5	285,8			
Methanertrag [m^3_N/ha]						
4-Schnitt	2011	1462,7	864,7	931,6	833,9	**4092,9**
	2012	1460,7	847,5	509,4	379,1	**3195,7**
2-Schnitt	2011	1835,9	1325,7			**3161,6**
	2012	1873,4	896,7			**2770,1**

Über alle Arten und Sorten erreichte die 2-Schnitt-Variante jedoch nicht die TM-Erträge der 4-Schnitt-Nutzung, lag im 2. Hauptnutzungsjahr jedoch fast gleichauf (Tab. 1). Sowohl die TM-Erträge als auch die Methanausbeute und der Methanertrag waren beim ersten Schnitt am höchsten und die Arten/Sorten differenzierten am stärksten. Aufgrund der fortschreitenden Faserbildung und damit der Zunahme des unverdaulichen Anteils (Eulos) bei verzögertem Schnitttermin war die Methanausbeute in der 2-Schnitt-Variante deutlich geringer. Die höheren TM-Erträge je Erntetermin führten zwar im 2. Hauptnutzungsjahr in beiden Varianten zu vergleichbaren Gesamterträgen, aufgrund der geringeren Verdaulichkeit des Ernteproduktes wurden jedoch in beiden Jahren in der reduzierten Variante Methanerträge erzielt, die im 1. Hauptnutzungsjahr um rund 23% und im zweiten Jahr um 13% unter der 4-Schnitt-Variante lagen. Bei einzelnen Prüfgliedern war die Differenz im Methanertrag zwischen den Varianten im 2. Hauptnutzungsjahr deutlich geringer, bei Respect (DW) betrug sie 3%, bei der ertragsstärksten Sorte Arone (Glatthafer) 7%. Bis zu welchem Minderertrag sich der verringerte Faktoreinsatz bei der 2-Schnitt-Variante rechnet, wäre eine Aufgabe für die Betriebswirtschaftler.

Literatur

Weißbach, F., 2008. Zur Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffen. Landtechnik 63 (6): 356-358.

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) und der Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V. (GFP) gefördert (Förderkennzeichen: FNR 22016209).

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 267–268 (2013)

Ascheerweichungsverhalten bei der Verbrennung von Grünlandbrennstoffen

Lutz Bühle[1], Arnd Urban[2], Gregor Dürl[2], Frank Hensgen[1] und Michael Wachendorf[1]

[1]Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Witzenhausen;
[2]Universität Kassel, Fachgebiet Abfalltechnik, Kassel. E-Mail: *buehle@uni-kassel.de*

Einleitung

Die energetische Verwertung von Biomassen extensiv bewirtschafteter Grünlandflächen bietet eine Nutzungsalternative, wo aufgrund rückläufiger Tierbestände eine regelmäßige Mahd für die Futterproduktion nicht mehr gewährleistet ist. Im Vergleich zu holzartigen Biomassen sind Grünlandaufwüchse mineralstoffreicher und bringen bei der thermischen Verwertung die Gefahr eines erhöhten Verschlackungsrisikos mit sich (Khalsa et al., 2012). Mittels der Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB) werden einige verbrennungstechnisch relevante Mineralstoffe durch Maischung und mechanische Entwässerung weitestgehend aus dem Brennstoff entfernt (Hensgen et al., 2012). In dieser Untersuchung wurden Silagen und die mittels des IFBB-Verfahrens erzeugten Presskuchen von extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen im Hinblick auf die mineralische Zusammensetzung und das Ascheerweichungsverhalten bewertet.

Material und Methoden

Silagen und die nach dem IFBB-Verfahren (Hensgen et al., 2012) erzeugten Presskuchen von 18 extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen in Deutschland, Wales und Estland wurden auf ihre Mineralstoffgehalte (K, Na, Mg, Ca, Cl, P, Si, Al, Fe) untersucht. Des Weiteren wurden experimentell die Erweichungs-, Sphärisch-, Halbkugel- und Fließtemperatur der Brennstoffaschen im Hochtemperaturofen ermittelt. Die Aschen wurden ab einer Temperatur von 550°C in Schritten von 10° pro Minute erhitzt und die charakteristischen Verformungen des zylindrischen Probenkörpers wurden visuell ermittelt. Mithilfe eines linearen Regressionsmodels wurden Einflüsse der Inhaltsstoffe der Brennstoffe auf die genannten charakteristischen Temperaturen untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die Behandlung der Silage führte zu Reduktionen der Brennstoffgehalte an Cl, K und Na von mehr als 73%. Mittlere Reduktionen wurden erreicht für P, Mg und Mn von jeweils 59, 53 und 53%. Im Gegensatz dazu stiegen die Gehalte an Si, A und Fe um jeweils 9, 10 und 16%. Hinsichtlich der Aschezusammensetzung erhöhte sich der Gehalt an SiO_2 von 32% auf 50%, während sich der Gehalt an Alkalimetallen von 20% in der Asche der Silage auf 8% in der Presskuchenasche reduzierte.
Abb. 1 zeigt, dass die charakteristischen Temperaturen des Ascheschmelzverhaltens des Presskuchens höher waren als die der Silage. Während die Ascheerweichung der Silage bei etwa 1.000°C begann, erfolgte die Erweichung der Presskuchenasche bei etwa 1.050°C. Bei den übrigen charakteristischen Temperaturen lag die Differenz zwischen 63 und 67K. Damit verringert sich durch die Brennstoffbereitstellung durch das IFBB-Verfahren das Verschlackungssrisiko bei der Grasverbrennung, dennoch blieb die Ascheerweichungstemperatur unter dem Wert für holzartige Biomassen.

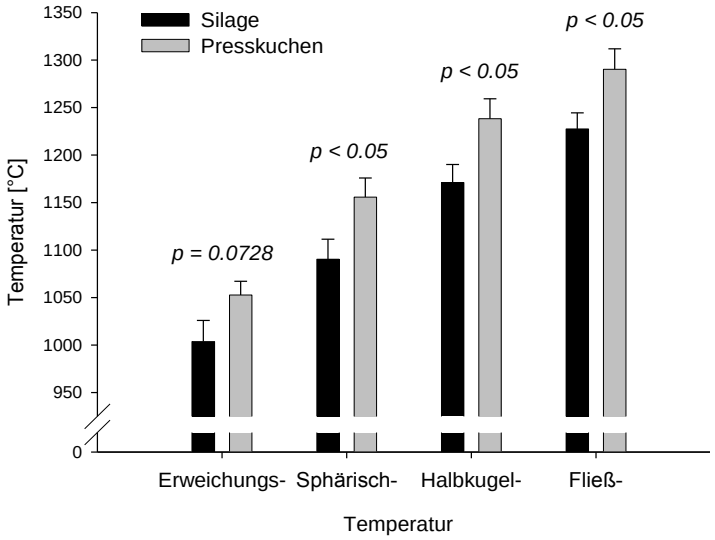


Abb. 1: Erweichungs-, Sphärisch-, Halbkugel- und Fließtemperatur der Asche von Silage und Presskuchen und Signifikanz der ANOVA.

Mithilfe eines linearen Regressionsmodells mit den Regressoren K, Ca, Si und Al in Zweifachinteraktionen und quadratischen Effekten konnte die Ascheerweichungstemperatur mit hoher Schätzgüte (R^2 = 0,88) vorhergesagt werden. Ein steigender Ca-Gehalt führte zu einem Anstieg der Erweichungstemperatur (Abb. 2). Dies war insbesondere der Fall bei hohen K-, geringen Si- und bei hohen Al-Gehalten. Hohe K-Gehalte führten zu einer geringeren Erweichungstemperatur.

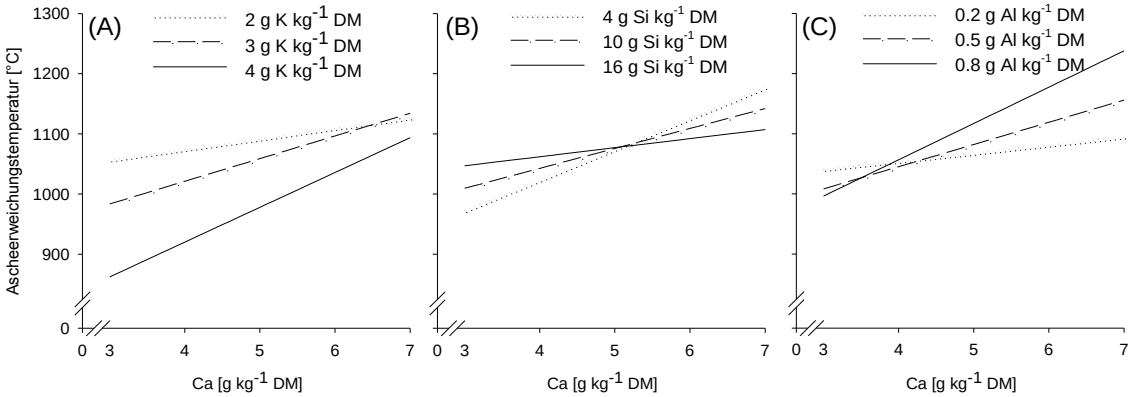


Abb. 2: Vorhersage der Ascheerweichungstemperatur des Presskuchens. Dargestellt sind die Interaktionen von Calcium mit Kalium (A), Silizium (B) und Aluminium (C).

Literatur

Hensgen F.; L. Bühle, I. Donnison, M. Fraser, J. Vale, J. Corton, K. Heinsoo, I. Melts and M. Wachendorf (2012): Mineral concentrations in solid fuels from European semi-natural grasslands after hydrothermal conditioning and subsequent mechanical dehydration. Bioresource Technology 118: 332-342.

Khalsa J.; T. Fricke, W.W. Weisser, A. Weigelt and M. Wachendorf (2012): Effects of functional groups and species richness on biomass constituents relevant for combustion: results from a grassland diversity experiment. Grass and Forage Science 6(4): 569-588.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 269–270 (2013)

Einfluss von Schatten auf die Produktivität und Qualität von Weißkleegras in einem Agroforstsystem aus Grünland und Weiden

M. Ehret, R. Graß, M. Wachendorf

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

Einleitung

Agroforstsysteme sind Landnutzungssysteme, in denen mehrjährige Gehölze in Kombination mit landwirtschaftlichen Kulturen auf einer Fläche angebaut werden. Sie bieten das Potential, die heimische Biomasseproduktion auf umweltverträgliche Weise zu diversifizieren. Anders als in Reinkulturen weisen Agroforstsysteme durch die Interaktionen zwischen Baum- und Unterkultur sowie den dadurch bedingten Veränderungen der Mikroumwelt besondere pflanzenbauliche Herausforderungen auf (Lin et al. 1999). Um die Anwendbarkeit dieses Systems in den gemäßigten Zonen zu prüfen, sind detaillierte Kenntnisse über Entwicklung, Ertragsleistungen und Qualität in räumlicher wie auch zeitlicher Dimension notwendig. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundprojektes „BEST – Bioenergieregionen stärken“ wird ein Agroforstsystem aus Weiden im Kurzumtrieb (*Salix viminalis* ‘Tordis’) und Grünland umfassend untersucht. Die Grünlandproduktivität in einem Agroforstsystem hängt vom Ausmaß der Konkurrenz zwischen Bäumen und Grünland um Licht, Wasser und Nährstoffe ab (Devkota et al. 2009). Der Schattenwurf spielt dabei eine bedeutende Rolle, da alle Pflanzen physiologisch und morphologisch auf verminderten Lichteinfall reagieren (Björkmann und Holmgren 1963). Dieser Beitrag erörtert den limitierenden Faktor Licht in einem Agroforstsystem aus Grünland und Weiden.

Material und Methoden

Die vorliegende Studie wird auf einem Ackerstandort in Südniedersachsen (51° 24‘2.466‘‘N and 9° 59’20.179‘‘E) von 2012−2013 durchgeführt. Die Ansaat des Grünlandes im Jahr 2011 bestand aus *Lolium perenne* L. und *Trifolium repens*. Zur Untersuchung der Konkurrenzeffekte um Licht zwischen Baum- und Unterkultur wurde eine artifizielle Beschattung mit auf Holzrahmen gespannten Schattierungsnetzen über einem Weißkleegrasbestand aufgebaut. Der Beschattungsgradient umfasste 0%, 30%, 50% und 80% Schatten. Zusätzlich wurden mittels einer Lattenkonstruktion mit 50% Beschattung die Effekte von Schlagschatten auf die Grünlandvegetation geprüft. Es wurden die Parameter Bodenfeuchte in den Tiefen 10 und 35 cm, Bodentemperatur in 5 cm Tiefe und photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) kontinuierlich aufgenommen. Im zwei-wöchentlichen Rhythmus wurden der Blattflächenindex, die Anteile der funktionalen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) sowie die Höhe des Weißkleegrasbestandes erfasst. Zu drei Ernteterminen in der Vegetationsperiode wurden Erträge gemessen, die funktionalen Gruppen anteilig fraktioniert und die Proben hinsichtlich wesentlicher wertbestimmender Parameter (Rohfaser, Rohprotein und Energiegehalt) nasschemisch beziehungsweise enzymatisch untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Im 1. Aufwuchs des Weißkleegrasbestandes lieferten die Varianten mit 30% und 50% Schatten die höchsten Trockenmasseerträge von über 4 t TM ha^{-1} (Abb. 1). Die Variante ohne Schattierung erzielte unter 4 t TM ha^{-1}, gefolgt von der Schlagschattenvariante mit unter 3 t TM ha^{-1}. Den geringsten Ertrag erzielte der Weißkleegrasbestand mit einer 80%-Schattierung. Bei den Ernten des 2. und 3. Aufwuchses erzielte jeweils die 0% Schatten-Variante die höchsten Trockenmasseerträge. Die 50%-Schlagschatten-Variante zeigt im Vergleich zur 50%-Variante durch Netze tendenziell geringere Erträge, was auf eine höhere Empfindlichkeit der Vegetation gegenüber Schlagschatten zurückzuführen sein könnte. Nach der Vegetationsperiode 2012 lässt sich zusammenfassen, dass ein Weißkleegrasbestand von Beschattung ungestört (0%) und mit einer Beschattung von 30% die höchsten Trockenmasseerträge liefert. Leichte Ertragsdepressionen sind ab 50% Schatten zu erwarten. Die Einflüsse des Schattens auf die Grünlandqualität sind bis zum jetzigen Zeitpunkt noch in der Prüfung. Es wird aber vermutet, dass mit steigendem Schattierungsgradienten auch der Rohfasergehalt steigt und somit die Verdaulichkeit negativ beeinträchtigt werden könnte.

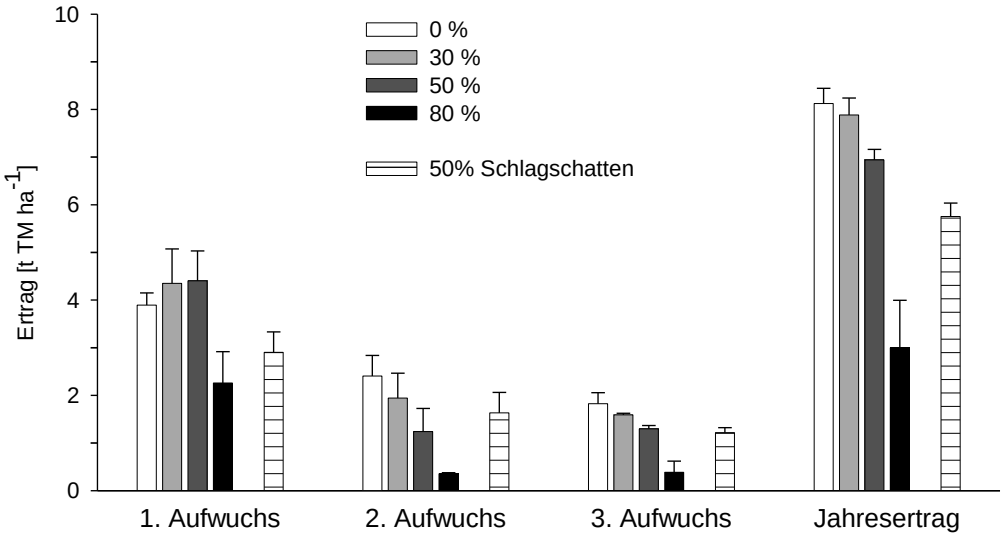


Abb. 1: Trockenmasseerträge von Weißkleegras entlang eines artifiziellen Beschattungsgradienten während der Vegetationsperiode 2012

Literatur

Lin C.H., McGraw R.L., George M.F. and Garret H.E. (1999): Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. Agroforestry Systems 44: 109-119.

Devkota N.R., Kemp P.D., Hodgson J., Valentine I. and Jaya I.K.D. (2009): Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. Agroforestry Systems 76: 363-374. DOI: 10.1007/s10457-008-9192-8. ISSN: 0167-4366.

Björkmann O. and Holmgren P. (1963): Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shaded habitats. Physiologia Plantarum 16-4: 889-914.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 271–272 (2013)

Etablierung und Wuchsleistung von schnellwachsenden Baumarten zur Energieholzgewinnung im ökologischen Landbau

Winterling, A.[1], Borchert, H.[2] und Wiesinger, K.[1]

[1] Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz / Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising; [2] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising. E-Mail: *andrea.winterling@lfl.bayern.de*

Einleitung

Zur Etablierung von Energieholz wird im konventionellen Anbau für die Beikrautregulierung eine Kombination aus mechanischer und chemischer Behandlung empfohlen (KTBL 2008). Da ein Herbizideinsatz im ökologischen Landbau nicht möglich ist, sind hier alternative Verfahren hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zu testen. In dem Kooperationsprojekt der LfL und LWF „Entwicklung und Erprobung eines Agroforst-Systems im ökologischen Landbau zur Energieholzgewinnung“ wird seit 2009 in einem Teilversuch die Anbaumöglichkeit von schnellwachsenden, zu Stockausschlag fähigen Baumarten im Kurzumtrieb im ökologischen Landbau untersucht.

Material und Methoden

Versuchsstandorte sind ein Biobetrieb in Pulling (Münchener Ebene, Pararendzina aus Flussmergel über Schotter, uL, langj. Mittel: 800 mm, 7,5 °C) sowie biozertifizierte Flächen der LfL-Versuchsstation Neuhof (Frankenjura, Braunerden und Pseudogleye aus Löss- bzw. Decklehm, uT, langj. Mittel: 780 mm, 7,5 °C). Seit April 2009 werden in zwei Exaktversuchen die im konventionellen Energiewaldanbau üblichen Hybridpappelklone 'Max 1' und 'Max 3' sowie die heimischen Baumarten Grau- und Schwarzerle geprüft. Zur Beikrautregulierung wurden zusätzlich zu Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung verschiedene Untersaaten (Gelb-, Weißklee, im Frühjahr gesäter Winterroggen, Leindotter) und eine selbstabbaubare Mulchfolie getestet. Eine Null-Variante blieb, außer Bodenbearbeitung, unbehandelt (natürliche Ackerwildkrautvegetation). Die Baumernte ist für den Winter 2015/2016 vorgesehen.

Ergebnisse und Diskussion

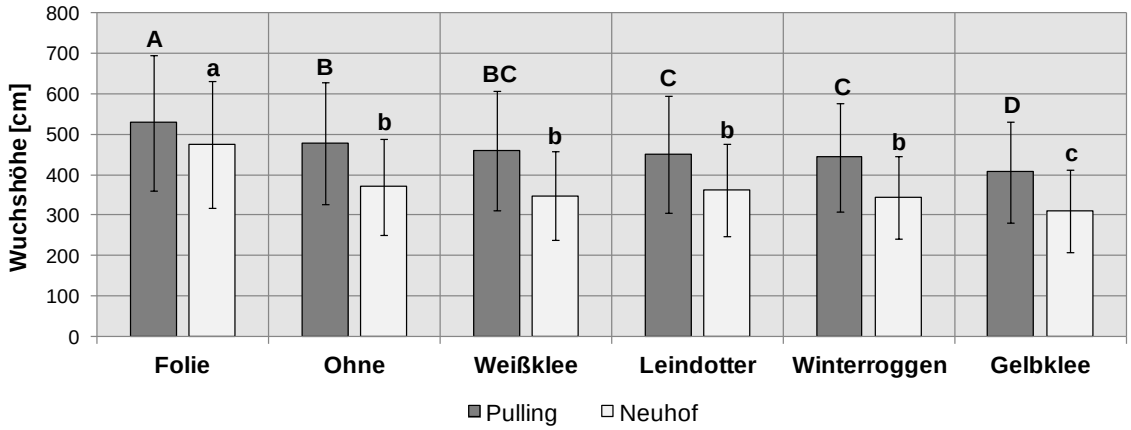
Die Etablierung der Baumarten gelang in allen Beikrautregulierungsvarianten.

Tabelle 1: Anwuchs-, Austriebserfolg nach Begleitvegetationsregulierung

	Folie	Weißklee	Winterroggen	Leindotter	Ohne	Gelbklee
Pulling	91 % **n.s.**	90 %	89 %	89 %	87 %	86 %
Neuhof	90 % **a**	88 % **ab**	88 % **ab**	87 % **ab**	87 % **ab**	83 % **b**

Versch. kleine Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p < 0,05$), n.s. = nicht signifikant.

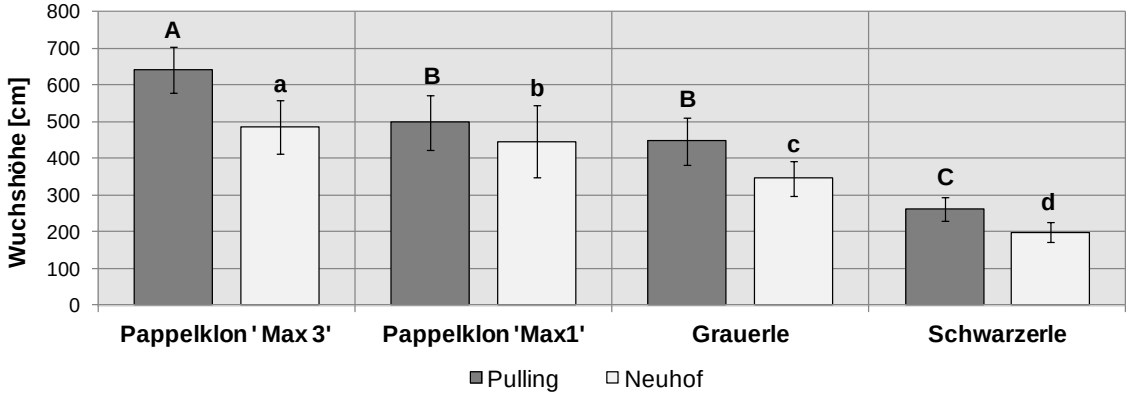
Erste Ergebnisse zeigen, dass die Mulchfolie die Wuchsleistung der Bäume statistisch abgesichert positiv beeinflusste. Dies wird auch bei Spangenberg und Hein (2011) bestätigt. Die getesteten Untersaaten brachten im Vergleich zur Null-Variante (keine Begleitvegetationsregulierung, nur Bodenvorbereitung) an beiden Standorten keinen Wuchsvorteil. Gelbklee als Untersaat war hinsichtlich des Anwuchs- und Austriebserfolgs sowie der Wuchsleistung der Baumarten im Vergleich zu den anderen Varianten eher negativ zu bewerten. Möglicherweise stellt er für die Bäume eine zu starke Konkurrenz um Wasser und/oder Nährstoffe dar. Auch bei Stoll & Dohrenbusch (2009) erhöhten eingesäte Nutzpflanzen wie Buchweizen und verschiedene Kleearten die Überlebensraten und Zuwächse von Pappelklonen im Vergleich zur natürlichen Begleitvegetation nicht.



Verschiedene kleine bzw. große Buchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. Pulling bzw. Neuhof (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = Standardabweichung.

Abbildung 1: Wuchshöhe der Bäume in 2011 nach Varianten zur Beikrautregulierung

Beim Wuchsleistungsvergleich der Pappelklone 'Max 1'und 'Max 3' mit Schwarz- und Grauerle schnitt 'Max 3' nach drei Vegetationsperioden an beiden Standorten signifikant am besten ab, die Schwarzerle zeigte die geringsten Zuwächse. Zwischen 'Max 1' und der Grauerle ergaben sich in Pulling keine statistischen Unterschiede in Bezug auf die Höhe, in Neuhof wuchs 'Max 1' besser.



Verschiedene kleine bzw. große Buchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. Pulling bzw. Neuhof (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = Standardabweichung.

Abbildung 2: Wuchshöhe der Bäume in 2011

Sowohl die gute Wuchsleistung der Pappelklone als auch das schwächere Wachstum der Schwarzerle werden in anderen bayerischen Anbauversuchen auf konventionellen Standorten bestätigt (Burger 2010). Die relativ gute Höhenentwicklung der Grauerle in Pulling erklärt sich zum Teil dadurch, dass der kalkreiche Standort in der Münchener Ebene ihren natürlichen Bedürfnissen entspricht. Abschließende Empfehlungen bezüglich Baumartenwahl und Etablierung können erst nach der Holzernte und einer Wirtschaftlichkeitsrechnung gegeben werden.

Literatur

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.) (2008): Produktion von Pappeln und Weiden auf landwirtschaftlichen Flächen. KTBL-Heft 79, Darmstadt.

Burger F. (2010): Bewirtschaftung und Ökobilanzierung von Kurzumtriebsplantagen. TU München, Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik, 166 S..

Spangenberg G., Hein S. (2011): Herbizidfreie Begründung von Kurzumtriebsflächen, AFZ-Der Wald 10/2011, S.18-20.

Stoll B., Dohrenbusch A. (2009): Der Einfluss der Flächenvornutzung und Begleitwuchsregulierung auf den Anwuchserfolg von Energieholzplantagen. Allg. Forst- u. Jagd-Zeitung 181, S. 71-76.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 273–274 (2013)

Ertragsschätzung von schnellwachsenden Gehölzen in Kurzumtriebs- und Agroforstsystemen während der Etablierungsphase im Rahmen des Verbundprojektes BEST

Linda Hartmann[1], Miriam Ehret[2], Falk Richter[1], Cara Leitch[1] und Norbert Lamersdorf[1]

[1]Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zonen, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen;
[2]Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel, Witzenhausen.
E-Mail: *lhartma2@gwdg.de; m.ehret@uni-kassel.de*

Einleitung

Aufgrund der Endlichkeit fossiler Energieträger sind innovative Anbausysteme notwendig, die es ermöglichen regenerative Energie nachhaltig und möglichst am Ort des Verbrauchs bereitzustellen. Agroforstsysteme (AF) und Kurzumtriebsplantagen (KUP) bieten die Option, Biomasse zur energetischen und stofflichen Nutzung ressourcenschonend herzustellen. Bei KUP werden schnellwachsende Hölzer (z.B. Weide, Pappel) mit dem Ziel angebaut, möglichst viel Biomasse innerhalb kurzer Zeit zu erzeugen. Unter Agroforstwirtschaft versteht man alle Maßnahmen zum Anbau und zur zielgerichteten Bewirtschaftung von Bäumen und Sträuchern auf Ackerflächen oder Weideland.

Bisher liegen hauptsächlich Erfahrungen über Erträge an holziger Biomasse für mehrjährige KUP vor. Informationen über den Ertrag von KUP während der Etablierungsphase sind selten. Ertragsdaten über AF mit schnellwachsenden Gehölzen in Deutschland gibt es bisher hauptsächlich für Bergbaufolgelandschaften.

Dieser Beitrag liefert Angaben zu den Erträgen an holziger Biomasse für KUP und AF während der Etablierungsphase. Dabei werden die Biomasseerträge von zwei KUP Flächen in Süd-Niedersachsen (Standorte Reiffenhausen und Friedland), die zu unterschiedlichen Zeitpunkten, aber jeweils mit dem gleichen Pappelklon "Max 1" angelegt wurden, miteinander verglichen. Ferner wird die Biomasseleistung des Weidenklons "Tordis" unter Anwendung von AF und KUP in Reiffenhausen unter gleichen Witterungs- und Bewirtschaftungsbedingungen vergleichend diskutiert. Dabei werden Faktoren die zu möglichen Ertragsunterschieden führen aufgezeigt.

Material und Methoden

Im Teilprojekt Agroforstwirtschaft und Kurzumtriebsplantagen des Verbundprojektes "BEST - Bioenergieregionen stärken" (www.best-forschung.de) wurden in der Bioenergie-Region "Göttinger Land" erstmals an zwei Standorten KUP und AF angelegt. In unmittelbarer Nähe zur Gemeinde Friedland entstand im Mai 2012 eine ca. 2,0 ha große KUP. In der Nähe der Gemeinde Reiffenhausen konnte im März 2011 eine Kombinationsfläche aus zwei KUP mit Pappel und Weide sowie ein AF mit Grünland- und Weidestreifen, mit einer Gesamtfläche von ca. 1,7 ha, etabliert werden.

Die Etablierungsphase der Untersuchungsfläche Reiffenhausen war vor allem durch starken Unkrautdruck und Trockenheit gekennzeichnet. Im Vergleich zum langjährigen Mittel (1991-2010, DWD-Station Göttingen) fielen von Februar bis Mai 2011 nur ca. 40% an Niederschlag. In Friedland konnten während der Anwuchsphase von April bis Juli 2012 ca. 20% mehr an Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel (1991-2010, DWD-Station Göttingen) und kaum Begleitwuchs beobachtet werden.

Zur Herleitung der Erträge wurden der Gesamtanwuchserfolg der KUP und AF sowie die Brusthöhendurchmesser (BHD) an 240 Bäumen pro Fläche bestimmt. Anschließend wurden 15 gleichmäßig über das Durchmesserspektrum verteilte Bäume pro KUP bzw. AF entnommen und deren Trockengewichte (TG) ermittelt. Mit Hilfe des BHD und der TG konnten anschließend allometrische Biomassefunktionen aufgestellt werden (Röhle 2009). Zur Ermittlung der Hektarerträge wurden die BHD Werte aller erfassten Individuen in die Biomassefunktion eingesetzt und der Anwuchserfolg berücksichtigt.

Ergebnisse und Diskussion

Die größten Baumausfälle wurden auf der Pappel KUP in Reiffenhausen festgestellt (Tab. 1). Durch mehr Niederschlag und verringerten Unkrautdruck erhöhte sich der Anwuchserfolg der Pappel in Friedland auf ca. 90% und ist vergleichbar mit dem Anwuchserfolg der Weide in Reiffenhausen. Auch der Biomasseertrag erhöhte sich bedeutsam unter den verbesserten Wachstumsbedingungen: so fielen nach nur einem Jahr die jährlichen Erträge in Friedland ca. 25% höher aus, als in Reiffenhausen nach 2 Vegetationsperioden (Tab. 1). Die höchsten Erträge in Reiffenhausen wurden von der Weide KUP erzielt. Die Energieholzstreifen im AF lieferten einen ähnlichen Ertrag wie die Pappel KUP. Es wird vermutet, dass die Grünlandstreifen mit den Weidenstreifen um Wasser und Licht konkurrieren, was zu Ertragseinbußen führte.
Eine effektive Unkrautkontrolle und eine optimale Wasserversorgung sind essentielle Faktoren für das Erreichen langfristig hoher Biomasseerträge von AF und KUP.

Tab. 1 Übersicht zu Standort- und Ertragsparameter (±Standardabweichung) der KUP und AF in der Bioenergie-Region "Göttinger Land".

	Friedland	**Reiffenhausen**		
Aktuelle Nutzung	**KUP**	**KUP**	**AF**	**KUP**
Klon	**Max 1**	**Max 1**	**Tordis**	**Tordis**
Vornutzung	Brachland	Acker	Acker	Acker
Fläche [ha]	2,0	0,4	0,7	0,6
Pflanzverband [m]	2,7x0,4	0,75x1,5x1,0	0,75x1,5x0,75	0,75x1,5x0,75
Pflanzdichte	9.250	8.800	4.500	11.700
Alter [Jahre]	1	2	2	2
Baumanzahl	16.081	3.504	3.184	5.752
Anwuchsrate [%]	88,4	62,9	94,6	88,2
Ø Höhe [m]	2,4 (± 0,6)	2,2 (± 1,3)	2,6 (± 0,7)	2,6 (± 1,1)
Ø BHD [mm]	12,6 (± 5,0)	10,0 (± 6,2)	10,9 (± 7,7)	12,7 (± 8,3)
Ertrag [t_{atro} ha^{-1}]	1,20	1,76	1,72	2,06
Zuwachs [t_{atro} $ha^{-1}a^{-1}$]	1,20	0,88	0,86	1,03

Literatur

Röhle, H. (2009): Arbeitskreis Biomasse: Verfahrensempfehlungen zur Methodik der Biomasseertragsermittlung in Kurzumtriebsbeständen. In: J. Nagel (Hg.): DVFFA - Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 25.-27.Mai.2009. Göttingen, S. 220–226.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 275–276 (2013)

Messung von Glucosinolaten in Brokkoli mit Nahinfrarotspektroskopie

Stefanie Wolf[1], Judith Burkard[1], Simone Graeff-Hönninger[1], Sabine Zikeli[1], Nikolaus Merkt[1], Martin Zahner[2] und Wilhelm Claupein[1]

[1] Institut für Kulturpflanzenwissenschaften / Universität Hohenheim, Stuttgart;
[2] Versuchsstation Ihinger Hof / Universität Hohenheim, Renningen.
E-Mail: *Stefanie.Wolf@uni-hohenheim.de*

Einleitung

Glucosinolate geben Kulturpflanzen aus der Familie der Brassicaceae nicht nur ihren typischen scharfen, kohlartigen Geschmack, sondern tragen durch ihre antioxidativen und antikanzerogenen Eigenschaften wesentlich zum Gesundheitswert dieser Nahrungsmittel bei. Um die Konzentration an Glucosinolaten in Ernteprodukten kohlartiger Pflanzen, wie beispielsweise Brokkoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), zeitnah zu messen und zudem einen hohen Probendurchsatz zu gewährleisten, kann die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) eingesetzt werden, sofern eine Kalibration mit Daten aus der HPLC erfolgt. Diese Methode der Glucosinolatmessung soll Anwendung bei der gezielten Selektion von Brokkoli-Genotypen mit einer hohen Konzentration an sekundären Inhaltsstoffen finden, um schnell und kostengünstig große Probenmengen zu bewältigen.

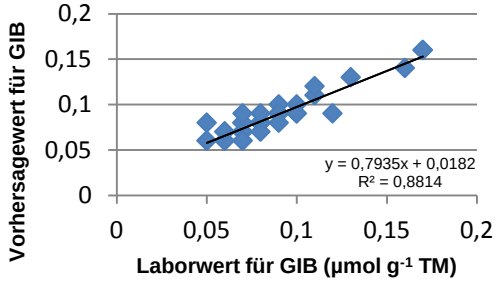
Material und Methoden

Auf der Versuchsstation für ökologischen Landbau der Universität Hohenheim wurden verschiedene Brokkoli-Genotypen mit einer Düngung von 300 kg N ha^{-1} (Bioilsa®), Bewässerung nach Bedarf und einem Kulturschutznetz gegen Schädlinge (Maschenweite 0,8 mm x 0,8 mm) mit einer Pflanzendichte von 4 Pflanzen pro m^2 über zwei Anbauzeiträume (Frühjahr 2012 und Herbst 2012) in einer randomisierten Blockanlage mit drei Wiederholungen angebaut. Die Probenahme erfolgte in wöchentlichem Rhythmus. Von Einzelpflanzen wurden sowohl die Blume als auch das letzte voll entfaltete Blatt mit flüssigem Stickstoff schockgefroren, gefriergetrocknet und vermahlen. Die Analyse der Glucosinolate in Blatt und Blume mittels NIRS erfordert eine Kalibrierung mit Laborwerten, die mittels HPLC gemessen werden. Circa 20% der Proben wurden mittels HPLC analysiert, wobei sechs Glucosinolate identifiziert und quantifiziert werden konnten. Mit der Software WIN ISI® wurden die Werte aus der HPLC-Analyse mit den Werten der NIRS-Analyse korreliert und Vorhersagewerte für die Proben, die nicht in der HPLC gemessen wurden, erstellt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der HPLC ergaben eine Spannweite der Konzentration spezifischer Glucosinolate wie beispielsweise Glucoiberin (GIB) zwischen 0,05 µmol g^{-1} TM und 0,17 µmol g^{-1} TM. In höheren Konzentrationen von 0,14 µmol g^{-1} TM bis 2,88 µmol g^{-1} TM lag das Glucosinolat 4-Methoxyglucobrassicin (4-MGBS) in den untersuchten Brokkoliblumen und -blättern vor. Der Vergleich der Werte aus der HPLC-Messung mit den Vorhersagewerten der NIRS durch eine lineare Regression (Abb. 1 und Abb.2) zeigten auf, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Werten besteht, wobei das Bestimmtheitsmaß Werte von 0,88 für GIB und 0,69 für 4-MGBS

betrug. Zu erkennen war zudem, dass die Vorhersagewerte der NIRS die Glucosinolatkonzentrationen in den höheren Bereichen bei 4-MGBS leicht unterschätzten.



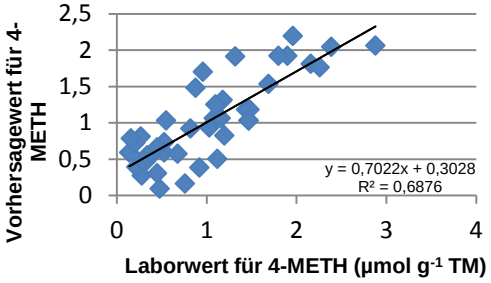


Abb. 1 und 2: Kalibrationskurven als Korrelationen der Laborwerte für Glucoiberin (GIB) und 4-Methoxyglucobrassicin (4-METH) in µmol g^{-1} TM der HPLC mit den Vorhersagewerten der NIRS für Proben der Anbauzeiträume Frühjahr und Herbst 2012.

Eine Analyse von Glucosinolaten mit NIRS scheint auf Basis einer Kalibration mit der HPLC möglich. Ähnliche Ergebnisse wurden für die Brokkolisorten ‚Belstar' und ‚Fiesta' in einem Wellenlängenbereich von 2000-2498 nm mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,69 für 4-MGBS mit NIRS erreicht (Hernández-Hierro 2012). Beim Vergleich des Gesamtglucosinolatgehalts gemessen mit NIRS und HPLC in Samen von *Brassica juncea* konnte ein Bestimmtheitsmaß von 0,82 erreicht werden (Font 2006).

NIRS kann somit eine schnelle und kostensparende Methode zur Quantifizierung von einzelnen Glucosinolaten sowie der Gesamtkonzentration an Glucosinolaten darstellen, die unterstützend in die Züchtungsarbeit von Sorten mit dem Ziel, eine möglichst hohe Konzentration sekundärer Inhaltsstoffe in Brokkoliblumen zu erreichen, einbezogen werden kann. Die Methode könnte auch für andere Kulturpflanzen aus der Familie der Brassicaceae zur Bestimmung von Glucosinolaten in unterschiedlichen Pflanzenorganen, wie Blättern, Blumen oder Samen Anwendung finden.

Literatur

Font, R., Del Río-Celestino, M., De Haro-Bailón, A. 2006. The use of near-infrared spectroscopy (NIRS) in the study of seed quality components in plant breeding programs. Journal of Indutrial Crops and Products. 24:307:313.

Hernández-Hierro, J.M. et al. 2012. Feasibility study on the use of visible-near-infrared spectroscopy for the screening of individual and total glucosinolate contents in broccoli. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 60:7352-7358.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 277–278 (2013)

Dynamische Simulation der Einflussfaktoren auf Nitrifikation und Denitrifikation in Biomasse-Produktionssystemen zur Parametrisierung eines Modells für N_2O-Emissionen

Ulf Böttcher, Astrid Knieß, Kang Ni und Henning Kage

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

Einleitung

Nitrifikation und Denitrifikation im Boden hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab: Wassergehalt und Temperatur des Bodens, Ammoniumkonzentration, Nitratkonzentration, Kohlenstoffumsetzungrate, pH-Wert. Viele dieser Faktoren stehen in engem Zusammenhang mit anderen Prozessen im System aus Boden – Pflanze – Atmosphäre und sind zeitlich hoch variabel.

Zur Entwicklung eines Simulationsmodells, das N_2O-Emissionen aus einem Biomasse-Anbausystem auf Feldversuchsebene berechnet, ist es deshalb notwendig, ein Gesamtmodell für das Anbausystem zu entwickeln, das Pflanzenwachstum, Evapotranspiration, Transportprozesse von Wasser und Stickstoff im Boden und die Mineralisierung von C und N aus der organischen Bodensubstanz unter Berücksichtigung der Einflüsse von Witterung, Standorteigenschaften und Management abbildet. Für die Parametrisierung der direkt für N_2O-Emissionen verantwortlichen Prozesse ist es entscheidend, dass diese Einflussfaktoren in ihrer zeitlichen Dynamik möglichst eng mit Messdaten der relevanten Größen übereinstimmen.

Material und Methoden

In den Jahren 2006/07 und 2007/08 wurde im Rahmen des Biogas-Expert-Projektes an den Standorten Hohenschulen und Karkendamm in der Nähe von Kiel ein Feldversuch mit mehreren Biomasse-Fruchtfolgen zur Energiegewinnung durchgeführt. Hier betrachtet werden eine Mais-Monokultur an beiden Standorten sowie eine Fruchtfolge aus Winterweizen zur Ganzpflanzensilage-Nutzung, Welschem Weidelgras und Mais am Standort Hohenschulen. Es wurde jeweils eine ungedüngte Variante (N1) und zwei mineralisch gedüngte Varianten mit 120 kg N/ha zu Weizen und Mais bzw. 160 kg N/ha zu Gras (N2) sowie 360 kg N/ha zu Weizen und Mais bzw. 160 kg N/ha zu Gras (N4) untersucht. In den betrachteten Versuchsvarianten wurden Blattflächenindex (LAI), Bestandeshöhe und N-Menge in der oberirdischen Biomasse regelmäßig im Vegetationsverlauf erhoben. Außerdem gab es regelmäßige Messungen des Wassergehaltes in verschiedenen Bodentiefen mittels TDR sowie Untersuchungen des mineralischen Stickstoffgehaltes (N_{min}) im Boden jeweils zu Vegetationsende im Herbst, zu Vegetationsbeginn im Frühjahr und nach der Ernte (Wienforth 2011). In den betrachteten Varianten wurden durchschnittlich etwa einmal wöchentlich Lachgasemissionen gemessen (Senbayram 2009).

Die Wassergehalte als Einflussgröße für Nitrifikation und Denitrifikation wurden in einem schichtenbasierten dynamischen Modell für den Bodenwasserhaushalt als Lösung der Richardsgleichung berechnet. LAI und Bestandeshöhe als Eingangsgrößen für die Evapotranspirationsberechnung nach Penman-Monteith wurden zwischen den einzelnen Messterminen auf Basis der Temperatursumme linear zu Tageswerten interpoliert. Die NH_4-Menge als Substrat für die Nitrifikation ergibt sich aus einem gekoppelten C- und N-Mineralisationsmodul auf der Basis von vier C-

Pools. Das dabei entstehende NO_3 wird gekoppelt an das Wasser im Boden verlagert und vom wachsenden Pflanzenbestand aufgenommen. Die N-Aufnahme ergibt sich dabei aus linear interpolierten Messwerten der N-Menge im Pflanzenbestand. Schließlich dient NO_3 als Substrat für die Denitrifikation (Abb. 1).

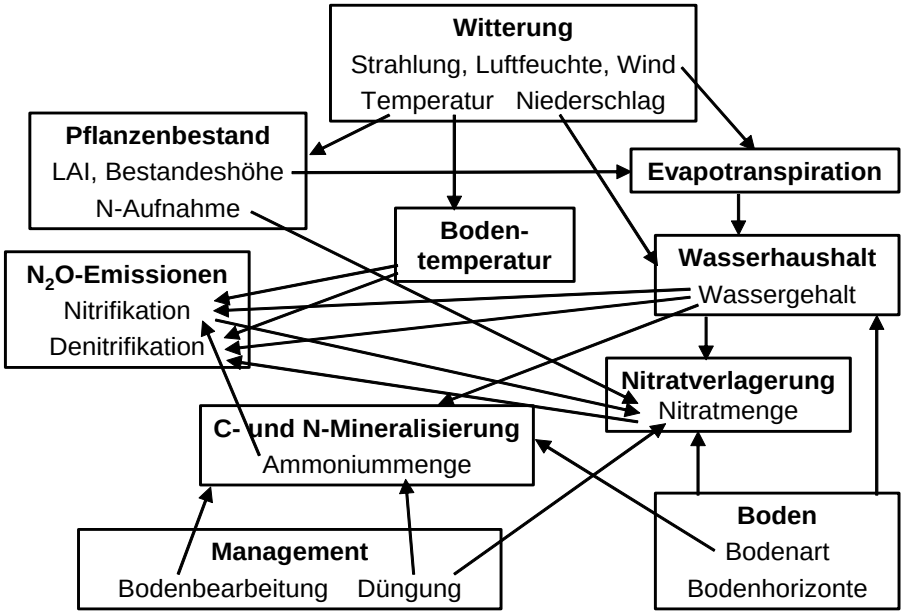


Abb. 1: Vereinfachtes Schema des Gesamtmodells mit einzelnen Submodulen, deren Simulationsgrößen und Prozessen sowie direkten und indirekten Einflüssen auf die Berechnung der N_2O-Emissionen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Bodenarten als Parameter des Wasserhaushaltes wurden anhand von Bodenproben und gemessenen Wassergehalten angepasst. Es zeigten sich aufgrund der Bodenheterogenität am Standort große Unterschiede zwischen den Messwerten der vier Wiederholungen je Versuchsvariante. Mit Hilfe der dynamischen Modellierung gelang es, die gemessenen Wassergehalte im für die N_2O-Emission besonders wichtigen Bodenhorizont 0-30 cm gut abzubilden (RMSE = 0,031 cm^3/cm^3). Die Umsetzungsrate für den Pool der organischen Bodensubstanz wurde N-Stufen-spezifisch angepasst. Für alle übrigen Parameter wurden Literaturwerte verwendet. Damit ließ sich N_{min} in 0-30 cm vergleichsweise gut wiedergeben (RMSE = 21,6 kg N/ha). Zu beachten ist dabei, dass die dynamische Modellierung auch für den Zeitraum plausible Werte liefert, in dem keine Messdaten vorliegen (Haupt-Mineralisierung im Frühjahr, Düngetermine).

Die Kombination aus Messdaten (LAI, Bestandeshöhe, N-Menge im Bestand) und dynamischer prozessorientierter Modellierung (Wasserhaushalt, NO_3-Verlagerung, Mineralisierung) erscheint gut geeignet, um tägliche Werte der Einflussfaktoren für die N_2O-bildenden Prozesse der Nitrifikation und Denitrifikation zu liefern.

Literatur

Wienforth, B. 2011: Cropping systems for biomethane production: a simulation based analysis of yield, yield potential and resource use efficiency. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel.

Senbayram, M. 2009: Greenhouse gas emission from soils of bioenergy crop production systems and regulating factors. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 279–280 (2013)

Anwendung der Fourier-Transform-Infrarot (FTIR) Spektroskopie zur Erfassung der Wurzelverteilung in einem Ackerbohnen-Hafer-Gemenge

Catharina Meinen[1] und Rolf Rauber[1]

[1] Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Göttingen; E-Mail: *catharina.meinen@agr.uni-goettingen.de*

Einleitung

Leguminosen-Getreide-Gemenge erzielen häufig höhere Erträge als Reinsaaten der einzelnen Gemengepartner. Ein Grund für die höheren Erträge kann die verbesserte Ressourceneffektivität der Partner im Gemenge sein. Es gibt Hinweise, dass Leguminosen und Getreide im Gemenge unterschiedliche Bodenhorizonte durchwurzeln und damit Nährstoffe effektiver nutzen. Um diese unterirdischen Prozesse zu untersuchen, müssen Wurzeln von Leguminosen und Getreide unterschieden werden. Eine Möglichkeit, Wurzeln von verschiedenen Arten zu trennen, ist die Fourier-Transform-Infrarot (FTIR) Spektroskopie (Naumann et al. 2010, Rewald et al. 2012). Mit Hilfe der FTIR-Spektroskopie lassen sich nicht nur Ackerbohnenwurzeln von Haferwurzeln unterscheiden, sondern auch die Artanteile beider Arten in Gemengeproben quantifizieren. Auf der Basis von Wurzelmischungen mit bekannter Zusammensetzung wurde ein Modell erstellt. Dieses Modell wurde zur Bestimmung der Artanteile in den Wurzelproben des Gemenges benutzt.

Material und Methoden

Es wurde eine Feldstudie mit Rein- und Gemengesaat (n=4) aus Ackerbohnen (*Vicia faba* L., Sorte Fuego) und Hafer (*Avena sativa* L., Sorte: Contender) im Jahr 2012 angelegt. Die Reinsaaten wurden mit 40 Korn Ackerbohnen/m² und 300 Korn Hafer/m² gedrillt. Das additive Gemenge setzte sich aus 100 % Ackerbohnen und 50 % Hafer in alternierenden Reihen zusammen. Bei BBCH 65 der Ackerbohnen wurde die unterirdische Biomasse auf der Drillreihe bis 60 cm Bodentiefe entnommen, ausgewaschen, bei 50° C getrocknet und gemahlen (0,2 mm). Mit den Wurzelproben der Reinsaaten wurde eine Kalibrierungsreihe in 5 % Schritten (5 % Ackerbohne, 95 % Hafer, usw.) erstellt. Weitere Proben wurden für eine externe Validierung zurückgestellt. Das kalibrierte und validierte Modell wurde zur Bestimmung der Artenanteile in den Wurzelproben des Gemenges benutzt.

Ergebnisse und Diskussion

Das kreuzvalidierte Modell zeigt ein Bestimmtheitsmaß von 93,8 und einen Kreuzvalidierungs-Fehlerwert (RMSECV) von 8,13 (Tab.1).

Tab. 1: Kalibrierungs-, Validierungs- und externe Validierungs-Parameter des FTIR-ATR-Modells für Ackerbohnen und Hafer. Die Modellqualität wird durch das Bestimmtheitsmaß (R^2), die Wurzel des mittleren Fehlerquadrats der Vorhersage (RMSEE) und der Kreuzvalidierung (RMSECV), das Verhältnis von Standardabweichung zu Standardfehler (RPD), Korrelationskoeffizient (r) und dem mittleren Vorhersagefehler (RMSEP) beschrieben. Es wurden die Wellenzahlbereiche 3997-2909 cm^{-1}, 1462-1098 cm^{-1} und 736-374 cm^{-1} sowie die 1. Ableitung der Spektren (n=21) berücksichtigt.

Modell	Kalibrierung (n=21)		Validierung			externe Validierung (n=16)			
	R^2	RMSEE	R^2	RMSECV	Bias	r	RMSEP	RPD	Bias
Ackerbohnen/Hafer	93,8	7,75	92,8	8,13	±0,04	0,95	8,9	3,11	±0,37

Die externe Validierung weist einen hohen Korrelationskoeffizienten (0,95) und einen mittleren Vorhersagefehler von 8,9 auf. Mit diesem Modell wurden die Artanteile in den Wurzelproben des Gemenges bestimmt.

Der Hafer bildet auf der Saatreihe in 0-10 cm Bodentiefe ähnlich hohe Wurzeltrockenmassen in der Reinsaat (135,7 g m^{-2}) und im Gemenge (124,1 g m^{-2}). Mit zunehmender Bodentiefe sinken die Wurzeltrockenmassen auf der Haferreihe besonders im Gemenge stark ab (Abb. 1). Die Ackerbohne weist in der Reinsaat in 0-10 cm Bodentiefe mit 90,7 g m^{-2} eine höhere Wurzeltrockenmasse auf als im Gemenge (52,6 g m^{-2}). Die Wurzeltrockenmasse der Ackerbohne in der Reinsaat sinkt mit zunehmender Tiefe, während im Gemenge die Trockenmassen in 10-20 cm und in 20-30 cm mit 31,2 bzw. 30.6 g m^{-2} annähernd gleich sind.

Im Gemenge finden sich in der Ackerbohnenreihe von 0-60 cm Tiefe auch 13 % Haferwurzeln. Dort sind die meisten Haferwurzeln in 20-40 cm Bodentiefe ausgebildet. Auf der Haferreihe im Gemenge sind in den gesamten 60 cm Tiefe nur 8 % Ackerbohnenwurzeln vorhanden, die sich besonders in den obersten 10 cm akkumulieren.

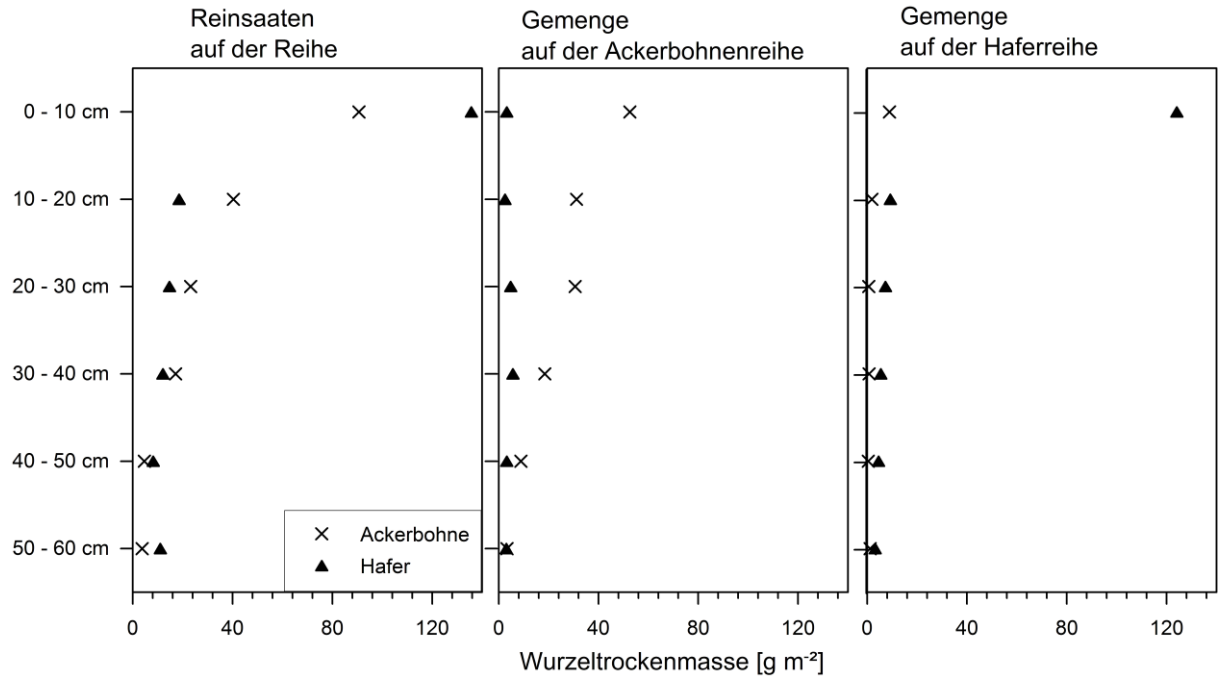


Abb. 1: Wurzeltrockenmasse [g m^{-2}] in Ackerbohnenreinsaat, Haferreinsaat und Ackerbohnen-Hafer-Gemenge. Die Wurzeltrockenmasse ist auf der Saatreihe bis 60 cm Bodentiefe bestimmt worden.

Die Ergebnisse zeigen, dass Ackerbohnen und Hafer ihre Wurzeln im Gemenge in anderen Horizonten platzieren als in ihren Reinsaaten. Die Wurzelsysteme beider Arten überlappen sich im Gemenge. Der Hafer zeigt jedoch eine stärkere Ausbreitung in die Ackerbohnenreihe als die Ackerbohnen in die Haferreihe.

Literatur

Naumann, A.; G. Heine und R. Rauber 2010: Efficient discrimination of oat and pea roots by cluster analysis of Fourier transform infrared (FTIR) spectra. Field Crops Research 119, 78-84.

Rewald, B.; C. Meinen; M. Trockenbrodt; J.E. Ephrath und S. Rachmilevitch 2012: Root taxa identification in plant mixtures – current techniques and future challenges. Plant and Soil 359, 165-182.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 281–282 (2013)

Modellierung der Biomasseproduktion von Extensivgrünland mit dem Simulationsmodell FOPROQ zur Bewertung der Auswirkungen veränderter Klimabedingungen

Burga Thies[1], Rüdiger Graß[1], Christof Kluß[2], Antje Herrmann[2] und Michael Wachendorf[1]

[1]Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel, Witzenhausen; [2]Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung - Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, Christian-Albrechts-Universität, Kiel. E-Mail: *b.thies@gmx.de*

Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojektes KLIMZUG-Nordhessen wurden Anpassungsstrategien an zukünftige klimatische Veränderungen für landwirtschaftliche Anbau- und Nutzungssysteme in den Überschwemmungsgebieten der Fließgewässer untersucht. Hierbei ging es um die Umwandlung von Ackerflächen in extensiv bewirtschaftetes Grünland hinsichtlich positiver wasser- und bodenschutzrelevanter Funktionen. Ziel dieser Studie war es, mit Hilfe eines Simulationsmodells für Grünlandbestände Simulationen des TM-Ertrages und wichtiger Qualitätsparameter mit veränderten Klimabedingungen durchzuführen, um damit mögliche Ertragsänderungen in der Zukunft quantifizieren zu können.

Material und Methoden

Die für eine Kalibrierung des Ertrags- und Qualitätsmodells FOPROQ (FORage PROduction Quality, Kornher et al. 1991) benötigten Daten wurden in zweijährigen Feldversuchen (vollständig randomisierte Block-Anlage) auf Versuchsflächen der Universität Kassel an der Werra in Witzenhausen erhoben. Es erfolgte eine Prüfung von 3 Ansaatmischungen (Standard- (STA), Diversitätsmischung (DIV) und Rohrglanzgras (RG)) in zwei Aufwüchsen mit Schnittzeitpunkten Anfang Juli und Anfang Oktober. Die für die Parametrisierung des Modells benötigten Ertrags- und Qualitätsdaten wurden in zweiwöchigem Turnus erhoben. Nach erfolgter Modellkalibrierung wurden unter Eingabe von Klimamodelldaten (Emissions-Szenario: SRES-A1B, globales Klimamodell: ECHAM5/MPI-OM, Downscaling-Methode: WETTREG2010, Kreienkamp et al. 2010) Simulationen bis 2100 durchgeführt. WETTREG liefert in 10 Simulationsläufen (Lauf 1 bis Lauf 10) täglich simulierte Klimamodelldaten, auf Basis der DWD-Wetterstation Göttingen, die zur Eingabe in das Modell benötigt wurden. Zur Überprüfung der WETTREG-Klimamodelldaten wurde zunächst eine Vergleichsanalyse der FOPROQ-Simulationen mit den gemessenen Daten (DWD-Wetterstation Göttingen) und den WETTREG-Daten von 1961 bis 2010 durchgeführt. Anschließend erfolgte eine Auswertung der Simulation der Trockenmasseerträge und Qualitätsparameter Rohprotein und ADF durch eine Regressionsanalyse zur Quantifizierung der simulierten Ertrags- und Qualitätsänderungen. Im Weiteren wurde untersucht, wie sich eine Verschiebung des Schnittzeitpunktes des ersten Aufwuchses auf die Biomassebildung auswirkt.

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Modellkalibrierung konnten für alle Parameter und Ansaatmischungen gute Anpassungsgüten erreicht werden. Der Vergleich von gemessenen und simulierten Daten durch eine lineare Regression zeigte hohe Bestimmtheitsmaße (R^2) von 0,55 -

0,88. Demnach kann das Modell FOPROQ für Simulationen mit Klimamodelldaten an diesem Standort eingesetzt werden.
Dabei zeigte sich, dass die Gesamterträge von 2011 bis 2100 keinen (STA und RG) oder nur einen sehr geringen positiven Trend (DIV) aufwiesen. Wohingegen sich für den 1. und 2. Aufwuchs jeweils signifikante Trends feststellen ließen. Die Regressionsanalyse zeigte weiterhin Anstiege im TM-Ertrag für den ersten Aufwuchs von 23,9% (STA), 22,1% (DIV) und 28,1% (RG) und Ertragsrückgänge für den zweiten Aufwuchs von -29,8% (STA), -18,5% (DIV) und -27,7% (RG). Aufwuchs 1 profitiert demnach von einem prognostizierten früheren Beginn der Vegetationsperiode mit höheren Temperaturen und gefülltem Bodenwasserspeicher. Der Ertragsrückgang im zweiten Aufwuchs lässt sich auf die von WETTREG2010 ab ca. 2050 prognostizierten Rückgänge in der Niederschlagssumme während der Vegetationsperiode zurückführen.
Neben dem aus den Feldversuchen vorgegebenen Erntetermin am 01. Juli, wurden die FOPROQ-Simulationen mit zwei frühen Schnittzeitpunkten durchgeführt (01. Juni und 15. Juni). Eine Verfrühung der Ernte resultiert in einem Rückgang der Erträge für den ersten Aufwuchs und einem leichten Anstieg der Erträge des 2. Aufwuchses. Der gesamte Jahresertrag kann allerdings durch einen frühen Schnittzeitpunkt auch unter veränderten Klimabedingungen nicht erhöht werden.
Bei einer Betrachtung der Qualitätsparameter Rohprotein und ADF, die für eine energetische Verwertung der Grünlandbiomassen relevant sind, zeigte sich bei der Wahl des späten Schnittzeitpunktes am 01. Juli kein deutlicher Trend bis 2100. Jedoch änderte sich die Qualität bei der Wahl früherer Schnitttermine und es ließ sich mit einem Rückgang der Rohprotein-Gehalte und einem Anstieg der ADF-Gehalte bis 2100 ein eindeutiger Trend feststellen.
Neben den Klimaänderungen wird vermutlich die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre weiter ansteigen. Das hier verwendete Modell hat den CO_2-Anstieg nicht integriert, sodass bei der Betrachtung der Ergebnisse dieser mit einem positiven Düngeeffekt berücksichtigt werden muss. Hierzu existieren hinreichend Untersuchungen, die ein weites Spektrum an Ergebnissen liefern. Im Schweizer FACE-Experiment ermittelten Hebeisen et al. (1997) einen Ertragszuwachs für Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) von durchschnittlich 7% und für Weißklee (*Trifolium repens*) von 10 bis 20%.
Die Ergebnisse zeigen, dass die prognostizierten Klimaänderungen sich insgesamt positiv auf den Jahresertrag auswirken, da der erste Aufwuchs von einem guten Wasserangebot und höheren Temperaturen im Winter und Frühjahr, sowie einem früheren Beginn der Vegetationsperiode profitiert. Die Wahl des Schnittzeitpunktes richtet sich danach, ob der Fokus auf den Ertrag oder die Qualität gelegt wird.

Literatur

Hebeisen, T., Lüscher, A., Zanetti, S., Fischer, B.U., Hartwig, U.A., Frehner, M., Hendrey, G. R., Blum, H. und Nösberger, J. (1997) Growth response of *Trifolium repens* L and *Lolium perenne* L as monocultures and bi-species mixture to free air CO2 enrichment and management. *Global Change Biol*. 3 (2), 149-160.

Kornher, T. Nyman, P. und Taube, F. (1991): Ein Computermodell zur Berechnung der Qualität und Qualitätsveränderung von gräserdominierten Grünlandaufwüchsen aus Witterungsdaten. Das Wirtschaftseigene Futter 37, 232-248.

Kreienkamp, F., Spekat, A. und Enke, W. (2010): Ergebnisse eines regionalen Szenarienlaufs für Deutschland mit dem statistischen Simulationsmodell WETTREG2010. Abschlussbericht des Umweltbundesamtes UBA, 48 S.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 283–284 (2013)

Vertikale und horizontale Wurzelverteilung in einem Erbsen-Hafer-Gemenge mittels Profilwandmethode und FTIR-Analyse

Nicole Legner[1], Catharina Meinen[1] und Rolf Rauber[1]

[1] Abteilung Pflanzenbau, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen. E-Mail: *nicole.legner@agr.uni-goettingen.de*

Einleitung

Im Gemengeanbau sind neben der oberirdischen Konkurrenz um Licht und Raum die Verhältnisse im Wurzelraum von großer Bedeutung. Daher ist es von besonderem Interesse, Erkenntnisse über die genaue Wurzelverteilung und gegebenenfalls wechselseitige Beeinflussung der Gemengepartner im Wurzelraum zu erlangen. Bisher fehlt jedoch eine geeignete Methode, die hierfür erforderlichen Daten mit vertretbarem Aufwand und hoher Präzision direkt im Feld aufzunehmen.

Die herkömmliche Profilwandmethode (Böhm 1979) erlaubt die Wurzelverteilung direkt im Boden zu untersuchen, jedoch nicht die Trennung der Wurzeln nach Arten. Eine solche artspezifische Unterscheidung der Wurzeln wird durch die Fourier-Transform Infrarot (FTIR)-Spektroskopie ermöglicht (Naumann et al. 2010). Dieses Verfahren wurde bisher nur an getrockneten Wurzeln im Labor angewandt.

Erstmals wird in einem Erbsen-Hafer-Gemenge ein mobiles FTIR-Spektrometer direkt an Profilwänden im Feld eingesetzt und die Artbestimmung der Wurzeln *in situ* durchgeführt. Folgende Hypothesen werden geprüft: (1) Die Unterscheidung von Erbsen- und Haferwurzeln ist bereits im Feld möglich, und (2) die räumliche Verteilung der Wurzeln beider Gemengepartner kann erfasst werden.

Material und Methoden

Als Vorversuch wurden im Frühjahr 2013 im Gewächshaus Rhizoboxen (H 30 cm, B 38 cm, T 4,3 cm) mit Erbse- und Haferreinsaaten sowie einem Gemenge angezogen. In jeder Box wuchsen zehn Pflanzen, im Gemenge alternierend. Die Boxen verfügen über seitliche Plexiglasscheiben und bieten einen direkten Zugang zu den dort wachsenden Wurzeln. Die Wurzeln wurden mit einem Flachbettscanner gescannt (Epson Perfection V33) um die Wurzelverteilung zu dokumentieren. Anschließend wurden in den Reinsaat-Rhizoboxen jeweils 5 Wurzeln pro 5 cm Bodentiefe entnommen und mit einem mobilen Fourier-Transform Infrarot (FTIR) Spektrometer (Bruker Optik GmbH, Bremen) als Referenzspektren gemessen. Im Gemenge dagegen wurden alle Wurzeln entnommen und auf ihre Artidentität untersucht, wobei die Reinsaatspektren als Referenz dienten. Anschließend wurden die entnommenen Wurzeln bei 60 °C getrocknet und im Labor mit einem FTIR-Spektrometer (Alpha, Bruker Optik GmbH, Bremen) gemessen um die Ergebnisse des mobilen Spektrometers zu überprüfen.

Der Feldversuch fand auf der Fläche Flöhburg des Versuchsgutes Reinshof im Süden von Göttingen statt. Angebaut wurde jeweils auf einer Fläche von 1,5 x 10 m (in vierfacher Wiederholung) Erbsenreinsaat (*Pisum sativum* L., Sorte Respect) mit einer Aussaatstärke von 100 Körner m^{-2}, Haferreinsaat (*Avena sativa* L., Sorte KWS Contender) mit 300 Körner m^{-2} sowie ein Gemenge mit 80 % Erbse (80 Körner m^{-2}) und 20 % Hafer (60 Körner m^{-2}). Auch hier wurde im Gemenge in alternierenden Reihen ausgesät. Der Reihenabstand betrug 12 cm. Zeitpunkt der Aussaat war der 17.04.2013.

In jeder Parzelle wurde eine Profilgrube von 1,2 x 1,5 m gegraben, die jeweils 10 Pflanzenreihen zugänglich machte. Die Profilwände wurden geglättet und mit dem Flachbrettscanner vertikal gescannt. Wie im Vorversuch wurden exemplarisch Wurzeln aus den Reinsaaten entnommen und mit dem mobilen FTIR-Spektrometer als Referenzspektren gemessen. Im Gemenge wurden alle Wurzeln aus der Profilwand entnommen und mittels FTIR-Spektrometer auf ihre Artidentität untersucht. Wieder wurden sämtliche Wurzeln getrocknet und mit dem FTIR-Spektrometer (Alpha) im Labor erneut überprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Die räumliche Wurzelverteilung konnte in den Vorversuchen mit einem Flachbettscanner erfasst und mit Hilfe der Software Photoshop grafisch dargestellt werden (Abb. 1). Die Artidentität in einem Gemenge an frischen Wurzeln in der Rhizobox mit einem mobilen FTIR-Spektrometer zu erfassen, war prinzipiell sehr gut möglich. Bei der Überprüfung im Labor stellte sich jedoch heraus, dass sehr kleine Wurzeln und vor allem Wurzelspitzen zu abweichenden Ergebnissen führen können. Von besonderer Wichtigkeit ist eine gute Vorbereitung der Referenzwurzeln, bei der sämtliche Erde von den Wurzeln entfernt werden muss.

Über die Ergebnisse der Feldversuche wird berichtet.

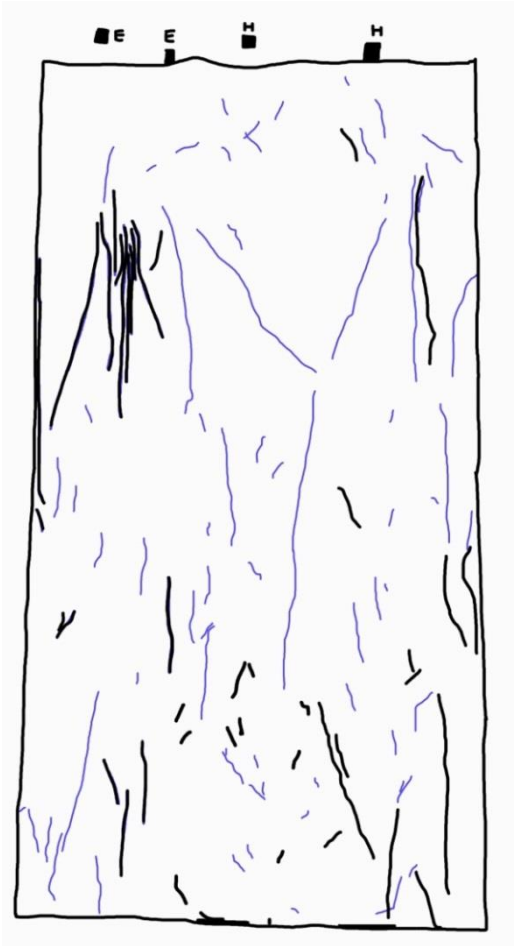


Abb. 1: Verteilung von Erbsen- (dicke Striche) und Haferwurzeln (dünne Striche) einer Rhizobox (B 15 cm, T 27 cm). Die jeweils ersten Pflanzen jeder Art wuchsen an der hinteren Scheibe, die zweiten direkt an der Scheibe, die vermessen wurde. Aufgenommen acht Wochen nach der Aussaat.

Literatur

Böhm W., 1979: Methods of studying root systems. Springer Verlag, Berlin.

Naumann A., G. Heine & R. Rauber, 2010: Efficient discrimination of oat and pea roots by cluster analysis of Fourier transform infrared (FTIR) spectra. Field Crop Research 119:78-84.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 285–286 (2013)

Koexistenz im Maisanbau: Entwicklung einer effizienten Probenahmestrategie zur zuverlässigen Vorhersage des GV-Gehaltes eines konventionellen Nachbarschlages

Gerhard Rühl[1], Maren Langhof[1]

[1] Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Julius Kühn-Institut, Braunschweig.
E-Mail: *gerhard.ruehl@jki.bund.de*

Einleitung

Innerhalb der EU gilt eine Kennzeichnungspflicht für Erntegut, das einen zufälligen und technisch unvermeidbaren gentechnisch veränderten (GV) Anteil von mehr als 0,9 % aufweist. Um die Koexistenz von GV und nicht GV (NGV) Mais beim Anbau in einer Region zu gewährleisten, bedarf es zuverlässiger Maßnahmen, die den Anspruch erfüllen, den GV-Gehalt in der Gesamternte benachbarter NGV-Felder unterhalb des EU-Schwellenwertes zu halten. Im Rahmen des BMELV-Forschungsprogramms zur Sicherung der Koexistenz wurden in den Jahren 2005 - 2012 die Maßnahmen in großflächigen Feldversuchen geprüft, die unter mitteleuropäischen Klimabedingungen anwendbar sind.

Um den GV-Gehalt der Ernte eines benachbarten konventionellen Maisfeldes verlässlich zu prognostizieren, muss eine repräsentative Stichprobe bestimmter Erntepartien genommen und der GV-Gehalt mittels quantitativer PCR bestimmt werden. Aufgrund der hohen Analysekosten sollte die Anzahl der zu analysierenden Proben möglichst gering sein. Daher wurde ein zweijähriger Feldversuch mit dem Ziel konzipiert, eine effiziente Probenahmestrategie zur zuverlässigen Vorhersage des GV-Gehalts der Ernte eines NGV Maisfeldes mit möglichst geringem finanziellen und logistischen Aufwand für den Landwirt zu entwickeln. Aufgrund des nationalen Anbauverbots von Bt-Mais wurden die Versuche mit einem GV-freien Farbmarker-Testsystem durchgeführt.

Material und Methoden

In den Jahren 2011 und 2012 wurde jeweils eine Versuchsanlage am norddeutschen Standort Mariensee etabliert. Die Feldgrößen entsprachen der regionalen Praxis. Ein zentral gelegener Rezipientenschlag (250 x 150 m) war von drei Seiten (Westen, Süden und Osten) von Donormaisfeldern umgeben. Diese lagen 48 bis 70 m vom zentralen Rezipientenschlag entfernt und hatten eine Größe von ca. 10 ha (Westen), ca. 3 ha (Süden) bzw. ca. 2,5 ha (Osten). Die Versuche wurden mit einem GV-freien Farbmarker-Testsystem durchgeführt; als Pollendonor diente die gelbkörnige Sorte NK Delitop und als Pollenempfänger die weißkörnige Sorte DSP 17007. Die gelbe Kornfarbe wird dominant vererbt, d.h. durch jede Befruchtung eines Donorpollen entsteht ein gelbes Korn am Weißmaiskolben. Da die Auskreuzung durch das Auszählen der gelben Körner an den Kolben des weißkörnigen Rezipienten quantifiziert werden kann, handelt es sich um eine einfache und preiswerte Methode, um einen hohen Probenumfang auszuwerten.

Als Berechnungsgrundlage für die Auskreuzungsrate des gesamten Rezipientenschlages, wurden insgesamt 265 Probenahmepunkte rasterartig über das Rezipientenfeld verteilt. Aufgrund der raschen Abnahme der Auskreuzung innerhalb der ersten 10 m eines Feldes war die Dichte an Probenahmepunkten in diesem Bereich höher als im Feldinneren. Mit der Nearest Neighbour-Methode

wurden die Auskreuzungsraten verschiedener 1 m breiter Erntestreifen, die in Nord-Süd- oder Ost-West-Richtung das Rezipientenfeld durchliefen (Abb. 1), sowie verschiedener rechteckiger Erntestreifen berechnet. Die Auskreuzungsrate der gesamten Ernte wurde als Vergleichswert für die Eignung der verschiedenen Probenahmestrategien genutzt.

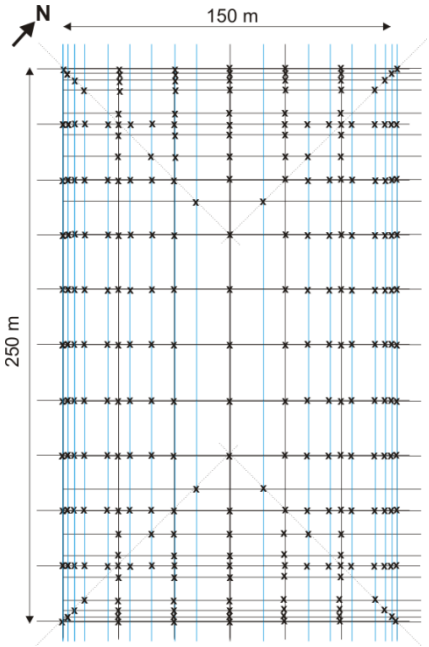


Abb. 11. *Verteilung der Probenahmepunkte (x) innerhalb des Rezipientenfeldes. Die in Nord-Süd- und Ost-West-Richtung verlaufenden Linien stellen die Ernte-Transekte zur Vorhersage der Auskreuzungsrate der Gesamternte dar.*

Ergebnisse und Diskussion

Die berechnete Auskreuzungsrate der Gesamternte des Rezipientenschlages betrug 0,6 % im Jahr 2011 und 0,8 % im Jahr 2012. Die Auskreuzungsraten der das Rezipientenfeld in Nord-Süd-Richtung durchlaufenden Transekte lagen zwischen 0,3 und 0,6 % (2011) sowie 0,3 und 1,1 % (2012). Die Auskreuzungsraten der Ost-West-Transekte lagen zwischen 0,4 und 0,9 % (2011) und 0,5 und 1,5 % (2012). Eine präzise Vorhersage der Auskreuzungsrate der gesamten Ernte anhand eines einzigen durch das gesamte Feld verlaufenden Erntestreifens ist also schwierig. So genannte „hot spots“, also Stellen im Rezipientenfeld, an denen unerwartet hohe Auskreuzungsraten in größeren Feldtiefen auftauchen (z.B. durch vorzeitig oder verspätet blühende Maispflanzen in diesem Bereich), können zu einer Überschätzung der Gesamtauskreuzungsrate führen.

In beiden Jahren kam die berechnete Auskreuzungsrate eines in 25 m Entfernung zum westlichen Feldrand verlaufenden Erntestreifens dem Wert der Gesamternte mit einer Überschätzung um 0,04 (2011) bzw. einer Unterschätzung um 0,05 Prozentpunkte (2012) sehr nahe. In beiden Versuchsjahren war die Auskreuzung im westlichen Teil des Rezipienten am höchsten, da hier aufgrund der Hauptwindrichtung von einem großen Eintrag an Donorpollen auszugehen ist. In einem Abstand von 25 m zum Feldrand könnte die Auskreuzung also ein Niveau erreichen, das dem der Gesamternte ähnelt. Ob dies auch für andere Feldkonstellationen zutrifft, muss allerdings geprüft werden. Die Beprobung entlang eines in 5 m bzw. 50 m vom Feldrand verlaufenden Rechteckes würde zu Auskreuzungsraten von 0,6 % (5 m und 50 m) in 2011 und 0,7 % (5 m) und 0,8 % (50 m) in 2012 führen. Damit spiegeln die ermittelten Werte die Auskreuzungsrate der Gesamternte zwar sehr gut wider und bestätigen z.T. auch experimentelle Ergebnisse von Messeguer et al. (2009); allerdings ist diese Art der Beprobung in der landwirtschaftliche Praxis schwieriger umzusetzen.

Literatur

Messeguer J, Palaudelmas M, Serra J, Salvia J, Nadal A, Pla M, Mele E. 2009. Some aspects influencing the quantification of gene flow in maize fields: flowering heterogeneities and simplified field sampling methods. Book of Abstracts, pp. 1-8, Genetically Modified Crops Coexistence Conference (GMCC’09), Melbourne, Australien.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 287–288 (2013)

Ergebnisse des BMELV-Forschungsprogramms zur Sicherung der Koexistenz beim Anbau von gentechnisch verändertem Mais:

Ist die Anlage einer Mantelsaat eine zuverlässige Koexistenzmaßnahme?

Maren Langhof[1], Gerhard Rühl[1]

[1]Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Julius Kühn-Institut, Braunschweig.
E-Mail: *gerhard.ruehl@jki.bund.de*

Einleitung

In großflächigen Feldversuchsanlagen wurde von 2005 bis 2012 im Rahmen des BMELV-Forschungsprogramms zur Sicherung der Koexistenz geprüft, welche Anbaumaßnahmen geeignet sind, um die Auskreuzung von gentechnisch verändertem (GV) Mais in benachbarte nicht gentechnisch veränderte (NGV) Maisbestände im Praxisanbau in Deutschland deutlich zu reduzieren. Eine Koexistenzmaßnahme, die bereits Eingang in gesetzliche Regelungen einiger EU-Mitgliedsstaaten oder deren Entwürfe gefunden hat, ist die Anlage einer Mantelsaat aus NGV Mais direkt am Feldrand des GV Mais. Experimentelle wissenschaftliche Untersuchungen, die die Effektivität dieser Maßnahme belegen, liegen jedoch bisher nicht vor. Daher haben wir die Wirkung einer 9 m bzw. 18 m breiten Mantelsaat in mehrjährigen Feldversuchen untersucht. Zunächst wurden an drei Standorten im Jahr 2008 die Mantelsaaten mit einem Feldabstand von 51 m zwischen GV- und NGV-Maisfeld kombiniert. Um den Nutzen dieser Maßnahme für kleinräumige Agrarräume zu untersuchen, wurde in einer dreijährigen Versuchsreihe (2010 – 2012) der Feldabstand auf 6 bzw. 12 m reduziert. Aufgrund des nationalen Anbauverbots von Bt-Mais wurden diese Versuche mit einem GV-freien Farbmarker-Testsystem durchgeführt.

Material und Methoden

Im Jahr 2008 wurde jeweils eine Versuchsanlage an den norddeutschen Standorten Groß Lüsewitz und Sickte sowie an dem süddeutschen Standort Rheinstetten-Forchheim etabliert. Eine Versuchsanlage bestand aus drei in Hauptwindrichtung angelegten GV-Maisfeldern (Donor) und, luvseits von diesen, drei konventionellen NGV-Maisfeldern (Rezipient). GV- und NGV-Maisfelder waren durch eine 51 m breite mit Kleegras bestellte Abstandsfläche getrennt. Zusätzlich wurde innerhalb der Abstandsfläche eine 9 bzw. 18 m breite Mantelsaat aus NGV-Mais am Feldrand von zwei GV-Maisfeldern angelegt, während das dritte Feld GV-Maisfeld als Kontrolle ohne Mantelsaat diente. Die verwendete Donor-Maissorte (PR39F56) ist hemizygot für das GV-Event MON810, d.h. ca. 50 % des gebildeten Pollens trägt die gentechnisch veränderte Erbinformation. In den Jahren 2010 bis 2012 wurden die Versuche in abgewandelter Form an den norddeutschen Standorten Mariensee und Braunschweig durchgeführt. Das Versuchsdesign entsprach dem der Feldversuche im Jahr 2008 mit dem Unterschied, dass Donor- und Empfängerfelder durch eine 6 oder 12 m breite Abstandsfläche voneinander getrennt waren (Abb. 1). An jedem Standort wurden dementsprechend zwei Versuchsanlagen etabliert. Diese Versuche wurden mit einem GV-freien Farbmarker-Testsystem durchgeführt; als Pollendonor diente die gelbkörnige Sorte NK Delitop und als Pollenempfänger die weißkörnige

Sorte DSP 17007. Die gelbe Kornfarbe wird dominant vererbt, d.h. durch jede Befruchtung eines Donorpollen entsteht ein gelbes Korn am Weißmaiskolben.
Aussaat, Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten stets praxisüblich und entsprechend regionaler Empfehlungen. Der Verlauf der Maisblüte im GV- und NGV-Maisschlag wurde protokolliert. Während der Dauer der Maisblüte wurden die Wetterdaten direkt am Feld durch den DWD erfasst.

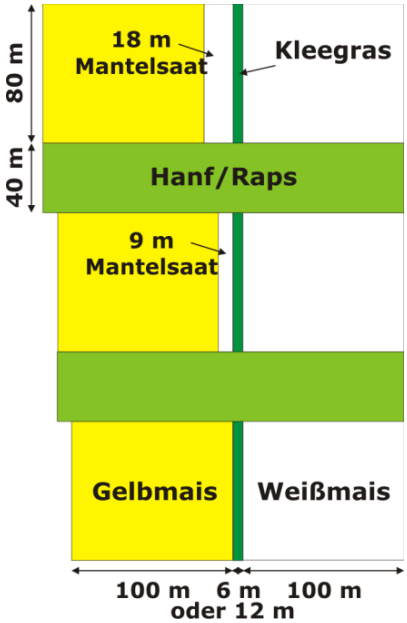


Abb. 1. *Schema der Versuchsanlage in den Jahren 2010-2012.*

Ergebnisse und Diskussion

In Verbindung mit einem Feldabstand von 51 m führte die Anlage einer 9 bzw. 18 m tiefen Mantelsaat nicht zu einer Reduzierung der Auskreuzungsrate im Rezipientenfeld (Rühl et al., 2011). Der berechnete GV-Gehalt der Gesamternte lag immer unter dem Kennzeichnungsschwellenwert von 0,9 %. Bei einem geringeren Feldabstand von 6 bzw. 12 m hatte die Mantelsaat dagegen einen signifikanten Einfluss auf die Auskreuzungshöhe. Dabei konnte statistisch kein Unterschied zwischen den beiden verglichenen Mantelsaatbreiten (9 und 18 m) ermittelt werden. Wird die mittels Farbmarker ermittelte Auskreuzungsrate auf den GV-Gehalt einer hemizygoten GV-Sorte umgerechnet, so unterschreiten die berechneten GV-Gehalte der Gesamternte in den Mantelsaatvarianten mit Werten zwischen 0,2 und 0,8 % den Kennzeichnungsschwellenwert von 0,9 %. In den Kontrollvarianten ohne Mantelsaat lagen die berechneten GV-Gehalte der Gesamternte zwischen 0,5 und 1,3 %.

Eine entscheidende Ursache für die festgestellte Wirkung der Mantelsaat bei geringeren Feldabständen könnte neben den häufig diskutierten Effekten wie „Verdünnung“ des GV Maispollens durch NGV-Maispollen oder veränderter Pollentransportdynamik das veränderte Versuchsdesign darstellen. Im Jahr 2008 betrug der Abstand zwischen Donor- und Rezipientenfeld in allen Varianten konstant 51 m, da die Mantelsaat in die Abstandsfläche eingearbeitet wurde (vgl. Rühl et al., 2011). In den Jahren 2010-2012 wurde die Mantelsaat dagegen zusätzlich zum Feldabstand angelegt, wodurch sich die Distanz zwischen Donor- und Rezipientenfeld in den Mantelsaatvarianten somit um 9 bzw. 18 m im Vergleich zur Kontrolle erhöhte (vgl. Abb.1). Die Verringerung der Auskreuzungsrate mit wachsendem Feldabstand konnte in zahlreichen früheren Feldversuchen belegt werden. Fazit bleibt, dass eine koexistenzsichernde Wirkung einer Mantelsaat weiterhin fraglich bleibt.

Literatur

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. 51:1748-175

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 289–290 (2013)

Erweiterung der „Hohenheim-Gülzower Serienauswertung“ um die Besonderheiten mehrjähriger Futterpflanzenversuche

T.Eckl[1], S. Hartmann[2] und H.-P. Piepho[3]

[1] Abteilung Versuchsbetriebe, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising;
[2] Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising;
[3] Fachgebiet Bioinformatik, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart;

Einleitung

In Bayern werden regelmäßig Sortenversuche für Futterpflanzen angelegt. Die Koordination, Auswertung und Umsetzung in Beratungsempfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis erfolgen durch die Landesanstalt für Landwirtschaft. Zur Erhöhung der Präzision und Effizienz von Sortenprüfungen wird seit Ernte 2006 die „Hohenheim-Gülzower Serienauswertung“ für die Berechnung von Sorteneigenschaften einjähriger Fruchtarten verwendet. Zu diesem Zweck wurden deutschlandweit sogenannte Anbaugebiete definiert, welche sich in ihren Umweltbedingungen unterscheiden. Mehrjährig genutzte Pflanzen sind im Laufe eines Nutzungsjahres diversen Einflüssen ausgesetzt. Die Erträge der Folgejahre sind von den Bedingungen der Vorjahre nicht unabhängig und dürfen damit auch nicht unmittelbar mit diesen verglichen werden. Der Schwerpunkt der Erstellung eines statistischen Modells für Sortenversuche mit mehrjährigen Fruchtarten liegt darin, den Zusammenhang der Messwiederholungen zu modellieren und Jahreseffekte, hervorgerufen durch äußerliche Veränderungen der Umwelt, und Effekte der Nutzungsjahre, welche die interne jährliche Ertragsentwicklung der Pflanze repräsentieren, zu trennen. Dabei gilt es zu erwähnen, dass ein Sortenversuch mit einer mehrjährigen Fruchtart sowohl mehrere Kalenderjahre als auch mehrere Nutzungsjahre umfasst, aber Kalenderjahre und Nutzungsjahre keine identischen Faktoren sind. Präsentiert wird eine Methode, welche das Hohenheimer Verfahren für die Auswertung von mehrjährigen Pflanzenarten geeignet erweitert. Nicht zuletzt dadurch wird erst eine länderübergreifende Verrechnung nach Anbaugebieten auch für diese Fruchtartengruppe in vollem Umfang möglich.

Material und Methoden

Zur Analyse werden Daten von Sortenversuchen mit Deutschem Weidelgras verwendet, welche auf sechzehn Standorten in Süddeutschland, aufgeteilt in fünf Regionen durchgeführt wurden. Insgesamt wurden 48 Sorten zwischen 2001 und 2011, mit Erstnutzungsjahren von 2001 bis 2009 geprüft. Alle Versuche wurden als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Die Zahl der Schnitte reichte, je nach Standort und Wachstumsbedingungen, von drei bis sieben pro Jahr. Dabei wurde für jedes Jahr und jeder Parzelle der Gesamtertrag aufgenommen. Die Landessortenversuche der Ländergruppe „Mitte-Süd“ werden in jedem zweiten Kalenderjahr angelegt. Wertprüfungen dieser Art werden (an nur wenigen Standorten) jährlich neu angelegt. Die Laufzeit eines Versuchs beträgt jedoch ein Ansaatjahr (keine Ertragsfeststellung) und drei folgende Hauptnutzungsjahre (mit Ertragsfeststellung). Hierdurch befinden sich im gleichen Kalenderjahr Parzellen der gleichen Sorte in verschiedenen Hauptnutzungsjahren und schon damit bedingten

unterschiedlichen Leistungsniveaus. Diese Aufteilung der Versuche hat den Vorteil, dass innerhalb eines kurzen Zeitraums die Leistung der getesteten Sorten festgestellt werden kann. Allerdings müssen nun neben der Modellierung des Zusammenhangs der Messwiederholungen zusätzlich die Jahreseffekte von den Effekten der Nutzungsjahre getrennt werden. Es wurden Modelle für die einstufige Analyse entwickelt, welche direkt für die erhaltenen Parzellenwerte angewendet werden können. Nach theoretischen Gesichtspunkten ist dieses Vorgehen zwar meist zu bevorzugen (Piepho et al., 2012). Jedoch sind in der Praxis zweistufige und dreistufige Analysen wegen ihrer Einfachheit und Effizienz (Piepho und Michel, 2000) und wegen der oft guten Übereinstimmung mit einstufigen Methoden (Möhring und Piepho, 2009; Piepho und Eckl, 2013) für die Analyse vorzuziehen.

Ergebnisse und Diskussion

Um die serielle Korrelation der Messwiederholungen zu modellieren, gibt es eine Vielzahl von Kovarianzstrukturen. Es wurden diverse Strukturen für die entwickelten Modelle getestet und mit Hilfe des Akaike Informations-Kriteriums (AIC), welches besagt, wie gut ein Modell zu den verwendeten Daten passt, verglichen. Die Compound Symmetry (CS)-Struktur nimmt eine homogene Korrelation zwischen den Nutzungsjahren an. Diese Struktur ist nach den AIC-Kriterium die für mehrjährige Fruchtarten mit nur wenig geprüften Nutzungsjahren passendste (Piepho und Eckl, 2013). Die CS-Struktur hat zudem den Vorteil, dass sie mit Hilfe einfacher zufälliger Effekte modelliert werden kann. Die Zweistufenanalyse hat gegenüber der einstufigen Analyse, neben individueller Auswertbarkeit der Versuche, den Vorteil, dass etwas Speicherplatz und Rechenzeit eingespart werden kann. Für die verwendeten Daten benötigte die Auswertung mit PROC MIXED für das einstufige Modell 5 Stunden 40 Minuten und etwa 4 Stunden 40 Minuten für das zweistufige. Das Ziel war, eine Methode zu finden, für die große Datensätze, wie sie an der LfL ausgewertet werden, bezüglich Speicherkapazität, Rechenzeit und Konvergenz des Verfahrens kein Problem darstellen. Die Aufteilung der Analyse in drei Schritte macht die jeweiligen Modelle kleiner und weniger komplex, so dass sich die Rechenzeit für die Dreistufenanalyse mit PROC MIXED auf circa 15 Sekunden verringerte.

Literatur

PIEPHO H.P., WILLIAMS E.R. und MADDEN, L.V. (2012) The use of two-waymixed models in multi-treatment meta-analysis. *Biometrics*, **68**, 1269-1277.

PIEPHO H.P. und MICHEL V. (2000) Überlegungen zur regionalen Auswertung von Landessorten-versuchen (Considerations on the regional analysis of cultivar trials). *Informatik, Biometrie und Epidemiologie in Medizin und Biologie*, **31**, 123-136.

MÖHRING J. und PIEPHO H. P. (2009) Comparison of weighting in two-stage analysesof series of experiments. *Crop Science*, **49**, 1977-1988.

PIEPHO H.P. und ECKL T. (2013) Analysis of series of variety trials withperennial crops. *Grass and Forage Science*, doi: 10.1111/gfs.12054.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 291–292 (2013)

Nährstoffdefizite erkennen – Fluoreszenz und Spektrometrie im Vergleich

Christoph W. Zecha[1], Johanna Link[1], Wilhelm Claupein[1]

[1] Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340a), Fruwirthstr. 23, 70599 Stuttgart. E-Mail: *Christoph.Zecha@uni-hohenheim.de*

Einleitung

Die Einsparung von Ressourcen, der Schutz der Umwelt sowie die Dokumentation der landwirtschaftlichen Applikation sind wichtige Gründe für den Einsatz von Sensorlösungen in der modernen Landwirtschaft (Haboudane et al., 2002). Spektrometrie- und Fluoreszenzmessungen sind geeignete und etablierte Methoden zur Erkennung und Überwachung des Stickstoffstatus in Pflanzen (Reyniers et al., 2004; Schächtl et al., 2005). Viele Hersteller bieten Sensorlösungen aus diesem Bereich an. Ziel der vorliegenden Untersuchung war, am Markt verfügbare Sensoren aus dem Bereich der Fluoreszenz und Spektrometrie zur Erkennung von Nährstoffdefiziten im Winterweizen zu vergleichen.

Material und Methoden

Auf der Versuchsstation Ihinger Hof der Universität Hohenheim, Stuttgart wurden mehrjährige Feldversuche in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) durchgeführt, um das Spektrometer HandySpec Field (tec5 AG, Oberursel) und den Fluoreszenzsensor Multiplex (Force-A, Orsay, France) hinsichtlich der Eignung, Nährstoffdefizite im Bestand zu erfassen, zu vergleichen. Das Feld wurde dabei in mehrere Parzellen mit variierenden Stickstoffmengen von 60 – 180 kg ha^{-1} unterteilt. Die Sensoren waren zur Datenerfassung auf der Sensorplattform „Sensicle“ montiert. Für die Datenanalyse wurde der Red Edge Inflection Point (REIP) (Guyot et al., 1988) mit dem Simple Fluorescence Ratio (SFR) (Zhang et al., 2012) im roten Erfassungsbereich (R) herangezogen. Zusätzlich zu den Sensormessungen wurde der Biomassezuwachs, der N-Gehalt der Pflanzen, der Ertrag, sowie der Nmin-Gehalt im Boden erfasst. Alle Daten wurden vor der weiteren Verrechnung mit *R* für die einzelnen Plots gemittelt.

Abb. 1: links: HandySpec Field,
rechts: Multiplex, [Herstellerbilder]

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl mit dem Punktspektrometer HandySpec als auch mit dem Fluorometer Multiplex ein signifikanter Zusammenhang ($\alpha < 0.001$) zwischen der Stickstoffaufnahme der Biomasse und den abgeleiteten Messwerten REIP bzw. SFR ermittelt werden konnte. Abb. 2 und Abb. 3 zeigen beispielhaft die Korrelation zu BBCH 37 (Messtermin Mai 2012), einem Zeitpunkt nach der 2. N-Gabe im Winterweizen. Der N-Gehalt der Biomasse lag zu diesem Zeitpunkt in einem Bereich von 1,4 – 1,9 % in der Trockenmasse.

Im Vergleich der beiden Sensoren wird deutlich, dass die Stickstoffaufnahme des Pflanzenbestands mit dem Spektrometer genauer abgebildet werden kann, als mit dem Fluorometer. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Aufzeichnungsfläche des Fluorometer Multiplex lediglich einen Durchmesser von 8 cm aufweist.

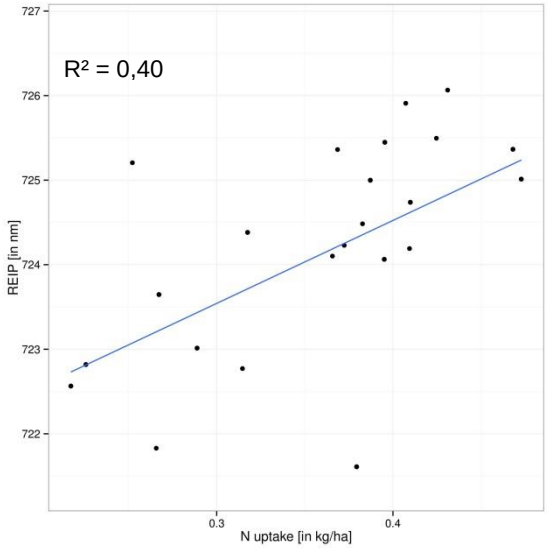


Abb. 2: REIP des HandySpec Field

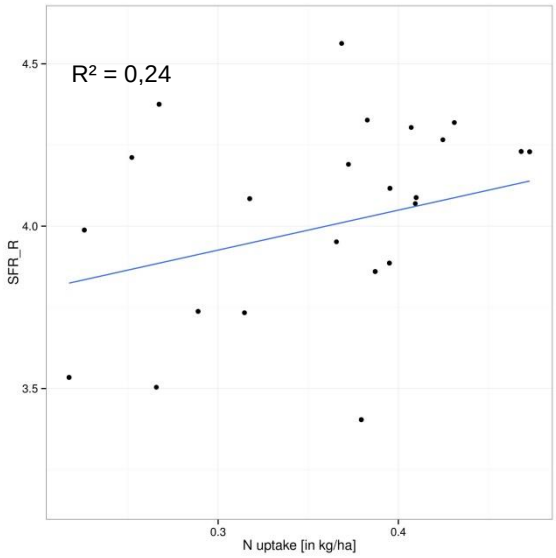


Abb. 3: SFR_R des Multiplex

Um Sensoren mit Fluoreszenztechnologie für die Stickstoffapplikation in der Praxis einzusetzen, sollte die geringere Detektionsfläche der Sensoren dann konsequenterweise durch mehrere installierte Einheiten kompensiert werden. So könnte die Aussagekraft für den Applikationsbereich vermutlich erhöht werden.

Literatur

Guyot, G., Baret, F., Major, D.J. (1988): High spectral resolution: Determination of spectral shifts between the red and the near infrared. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 11, pp. 750–760.

Haboudane, Driss, John R. Miller, Nicolas Tremblay, Pablo J. Zarco-Tejada, and Louise Dextraze (2002). “Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture”. In: *Remote Sensing of Environment,* 81, pp. 416–426.

Reyniers, Mieke, Els Vrindts, and Josse De Baerdemaeker (2004). “Fine-scaled optical detection of nitrogen stress in grain crops”. In: *Optical Engineering* 43, 12.

Schächtl, J., G. Huber, F.-X. Maidl, E. Sticksel, J. Schulz, and P. Haschberger (Apr. 2005). “Laser-Induced Chlorophyll Fluorescence Measurements for Detecting the Nitrogen Status of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Canopies”. In: *Precision Agriculture,* 6, 2, pp. 143–156.

Zhang, Y., Tremblay, N., & Zhu, J. (2012). A First Comparison of Multiplex for the Assessment of Corn Nitrogen Status. *J. Food. Agric. Environ*, 10, 1, pp. 1008-1016.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 293–294 (2013)

Einsatz von Reflexionssensoren zur Bestandsbeschreibung in pflanzenbaulichen Versuchen

Gröblinghoff, F.-F[1]., Westerschulte, M.[1], El Jellouli, A.[1], Weyer, Th.[1]

[1]FH Südwestfalen, Lübecker Ring 2, 59494 Soest, *groeblinghoff.franz-ferdinand@fh-swf.de*.

Einleitung

Ziel ist die Bewertung der Eignung verschiedener Reflexionssensoren für die Beschreibung der Entwicklung von Pflanzenbeständen im Rahmen des „CROP.SENSe.net“ Forschungsverbundes. Ferner wird die Möglichkeit geprüft, die im Versuchswesen und Pflanzenzüchtung üblichen Bonituren zu objektivieren und den Arbeitsaufwand zu minimieren.

Material und Methoden

Je zwei Feldversuche wurden 2012 auf dem Versuchsgut Merklingsen durchgeführt. Im ersten Versuch wurden 18 verschiedene Sommergerstensorten, die die genetische Varianz von Sommergerste repräsentieren (Core Set), mit differenzierter N-Düngung (0, 40, 80 kg N/ha) geprüft. Ein weiterer Versuch wurde mit vier stark differierenden modernen Sommergerstensorten des Core Set mit unterschiedlicher Saatstärke (100 und 300 kf. Körner/m²) und N-Düngung (0 und 60 kg N/ha) angelegt.

Während der beiden Messperioden vom 8. 5. - 5. 6. und vom 28. 6.-23. 7. 2012 (19.-23. und 26.-30. KW) wurden wöchentlich die Reflektionssensoren Greenseeker® (Trimble, Ausgabevariable: NDVI[1]) und ISARIA® (Fritzmeier Umwelttechnik, Ausgabevariablen: IBI[2], REIP[3]) eingesetzt. Je Termin wurden je Parzelle mit dem Greenseeker ca. 40 und mit dem Isaria-Sensor 10-20 Scans aufgenommen und aus den Einzelscans Mittelwert und Variationskoeffizient (VK) berechnet. Parallel erfolgten die üblichen Bonituren, Messungen und Zählungen an den Beständen.

[1]NDVI =Normalized Difference Vegetation Index*100, [2]IBI = ISARIA Biomass Index, [3]REIP = Red Edge Inflection Point)

Ergebnisse und Diskussion

Parzellen mit Fehlstellen (Abb. 1) wurden bei den ersten Messterminen von beiden Sensoren durch hohe VK sicher erkannt. In den Datensätzen wurden die Werte der Scans im Bereich der Fehlstellen eliminiert und so die Parzellendaten verwertbar.

Bei den Messungen in den Sommergerstenbeständen hat sich der Greenseeker® mit dem NDVI als besonders sensitiv hinsichtlich der Biomasseentwicklung herausgestellt. Dadurch eignet er sich zur differenzierenden Beschreibung der Jugendentwicklung und bietet zusätzlich die Möglichkeit den Sensor auch zur Objektivierung der Bonitur „Mängel im Stand“ (Tab. 1) zu nutzen.

Im Laufe des Schossens setzt jedoch ab einem BFI von rund 2,5 – 3 eine Sättigung ein, ab der keine Differenzierung der Biomasse mehr möglich ist. Diese Sättigung endet mit Beginn des Chlorophyllabbaus in der Reifephase. Dadurch wird es möglich, neben der Jugendentwicklung auch das Abreifeverhalten in Abhängigkeit der unterschiedlichen Versuchsvarianten (Sorte, N-Düngung, Saatstärke) durch den NDVI gut zu charakterisieren (Tab. 1).

Der ISARIA® - Sensor misst die beiden Vegetationsindices REIP und IBI. Der REIP weist eher schwache Zusammenhänge mit der „Massenbildung“ und den „Mängeln

im Stand“ in der Jugendentwicklung auf und scheint diesbezüglich im Vergleich mit dem NDVI des Greenseeker® weniger gut geeignet (Tab. 1).

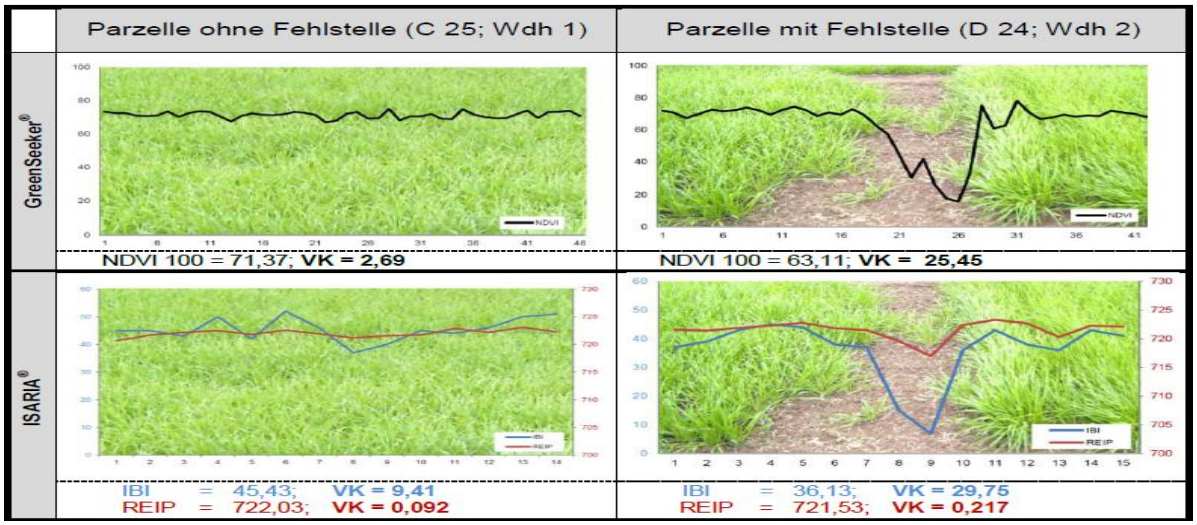


Abb. 1: Reaktion der Sensoren auf Fehlstellen in Parzellen

Tab. 1: Korrelationskoeffizienten (n=32) zwischen den Vegetationsindices der Sensoren und Bonituren der Pflanzeneigenschaften sowie dem Ertrag (dt/ha) im Bestandsdichteversuch

Merkmal	Greenseeker (NDVI)	Termin (EC)	ISARIA (REIP)	Termin	ISARIA (IBI)	Termin
Mängel	-0,713**	29/31	-0,531**	29/31	-0,638**	29/31
Grünfärbung	0,644**	49/51	0,825**	49/51	0,131	49/51
Abreife	-0,920**	85/87	-0,706**	83/85	-0,691**	85/87
Abreife	-0,953**	75-90	-0,803**	75-85	-0,797**	75-90
Ertrag	0,634**	39/49	0,747**	39/49	0,604**	39/49

Allerdings kennzeichnet den REIP eine deutlich geringere Sättigungsanfälligkeit. Somit hat er seine Vorzüge ab Bestandsschluss bis zu höheren BFI von rund 4-5. Dabei könnte der Index besonders zur Beschreibung physiologischer Merkmale dienlich sein. Das ist darauf zurückzuführen, dass sich der REIP äußerst sensitiv in Bezug auf die N-Versorgung und die damit verbundene Chlorophyllkonzentration erwiesen hat (Tab. 1). Aufgrund der geringeren Sättigungseffekte, einer gewissen Biomassesensitivität und die empfindliche Reaktion bezüglich der N-Versorgung hat der REIP in der vorliegenden Studie im Vergleich zu den anderen Vegetationsindices das beste Ertragsprognosepotential bereits zum Stadium EC 39/49 gezeigt. Weiterhin weist der REIP eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Fehlstellen (z. B. Maulwürfe oder Säfehler) als der NDVI und v. a. der IBI auf. Zur Beschreibung der Abreife erscheint der REIP weniger gut geeignet wie der NDVI (Tab. 1).
Die Ergebnisse machen deutlich, dass es möglich ist durch den Einsatz von aktiven Reflexionssensoren in Feldversuchen wichtige Informationen über Pflanzenzustände und Sortenmerkmale von Sommergerste zu gewinnen. Dabei weisen die beiden untersuchten Sensoren mit ihren spezifischen Vegetationsindizes Vorteile bei verschiedenen Merkmalen und in unterschiedlichen Entwicklungsstadien auf. Für eine abschließende Bewertung sind weitere Untersuchungen auch an anderen Kulturpflanzen erforderlich.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 295–296 (2013)

"Hexe": eine unbemannt fliegende Multi-Sensor-Plattform zur Erfassung hyperspektraler Daten

Jakob Geipel[1], Gerassimos G. Peteinatos[2], Johanna Link[1], Wilhelm Claupein[1]

[1] Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart; [2]Institut für Phytomedizin, Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: *jakob.geipel@uni-hohenheim.de*

Einleitung

Unbemannt fliegende Sensorplattformen (Unmanned Aircraft Systems (UAS)) entwickeln sich in den letzen Jahren immer mehr zu zuverlässigen Helfern bei der Erhebung teilflächenspezifischer Parameter zur effizienteren Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Flächen. Dabei bedienen sich diese Plattformen Prinzipien der berührungslosen Messung, beispielsweise der multispektralen Photographie, wie sie auch in traditionellen Fernerkundungssystemen Anwendung finden (Primicerio et al., 2012).

Im SenGIS Projekt der Universität Hohenheim wurde ein prototypischer Hexacopter um einen kleinen Steuer-Computer und ein hyperspektrales Punktspektrometer erweitert, um die Reflexionskurve von Nutzpflanzen und Bodenoberfläche im Spektralbereich von 400 bis 900 nm aufzunehmen. Das neue System mit dem Namen „Hexe“ wurde zudem mit weiteren Sensoren zur Erfassung von Luftbildern und Wetterdaten ergänzt und so zu einer Multi-Sensor-Plattform mit Echtzeit-datenverarbeitung weiterentwickelt. Diese Arbeit beschreibt die System-komponenten, deren Interaktion und gibt überdies einen Einblick in die bei einem Überflug eines Winterweizenschlags gewonnenen Spektraldaten.

Material und Methoden

Die Multi-Sensor-Plattform "Hexe" setzt sich aus drei Komponenten zusammen. Basiskomponente ist das Trägersystem. Dieses besteht aus einem prototypischen Hexacopter, welcher mit handelsüblicher Steuer- und Navigationselektronik von Mikrokopter (HiSystems GmbH, Moormerland, Deutschland) bestückt ist. Diese Elektronik besteht aus Microcontrollern und Navigationssensoren, wie etwa Beschleunigungs- und Drehratensensoren, einem magnetischen Kompass, einem Barometer sowie einem Global Positioning System (GPS) Empfänger.

Die zweite Komponente besteht aus einem Steuercomputer für die Messsensorik. Hierbei wird ein Raspberry Pi Model B (Raspberry Pi Foundation, Caldecote, Cambridgeshire, UK) verwendet. Mittels eines selbst entwickelten, plug-in-basierten C/C++ Software-Frameworks übernimmt der Raspberry Pi folgende wichtige Echtzeit-Aufgaben: Steuerung aller Messsensoren, Fusion von Navigations- und Messdaten, Datenspeicherung und letztlich drahtlose Datenübermittlung an eine Bodenstation.

Zur dritten Komponente werden alle zusätzlich angebrachten Messsensoren gezählt. Momentan bietet "Hexe" eine RGB-Webcam für Luftbildaufnahmen, einen kombinierten Temperatur- und Luftfeuchtesensor für die Erfassung von mikroklimatischen Bedingungen während der Datengewinnung und ein hyper-spektrales Punktspektrometer (MMS1 NIR enh., Tec5 AG, Oberursel, Deutschland) zur Erfassung der Reflexionseigenschaften von Pflanzenbeständen.

Seit April 2013 wird die Funktionalität der Multi-Sensor-Plattform in einem Feldversuch in Winterweizen getestet. Dazu werden Parzellen mit unterschiedlicher

N-Düngung (60-180 kg N ha^{-1}) erfasst und die spektralen Reflexionskurven im Hinblick auf Chlorophyll-Gehalt und Biomasse der Pflanzen ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Im Feldversuch bewährte sich die entwickelte Multi-Sensor-Plattform bei der Erfassung von Pflanzenparametern. Alle Sensoren konnten erfolgreich angesteuert und ausgelesen werden. Ebenso konnte die Fusion und die Speicherung der Daten, wie auch deren drahtlose Übermittlung an die Bodenstation durchgeführt werden.

Abb. 1 zeigt die Flugroute zur Erfassung hyperspektraler Daten über einem Schlag mit Winterweizen im Wachstumsstadium BBCH 39. Jedes Kreissymbol repräsentiert eine Spektrometermessung, die der entsprechenden GPS-Position zugeordnet wurde. Auf Basis dieser Messungen wurde der jeweilige Red Edge Inflection Point (REIP) berechnet (Guyot et al., 1988) und über die Versuchsfläche interpoliert.

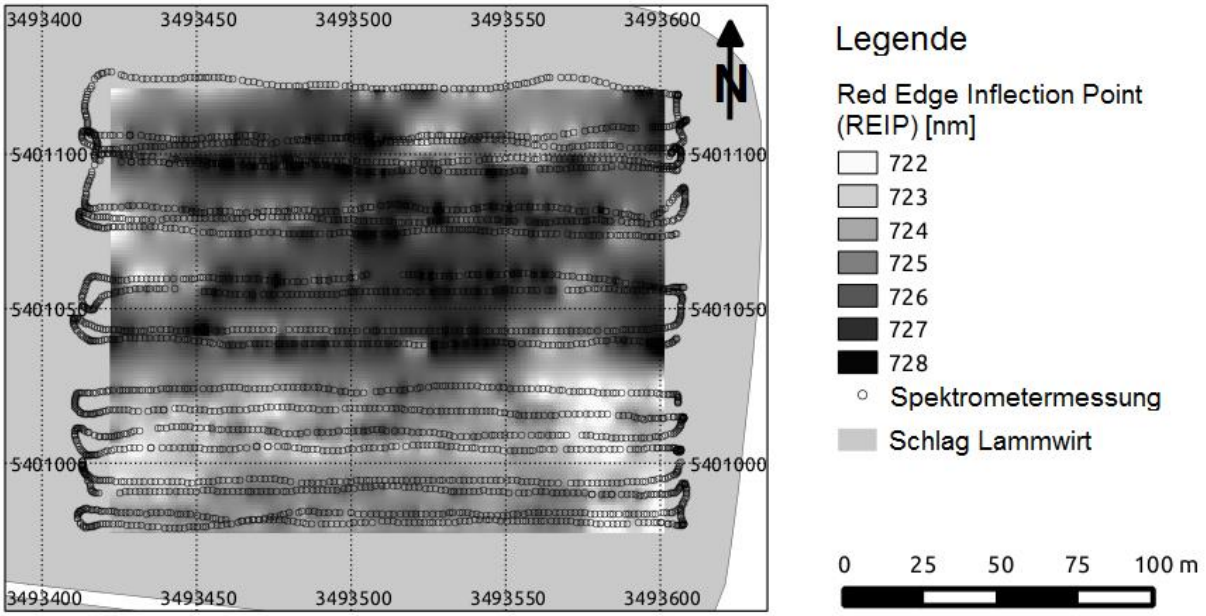


Abb. 1: Auf eine Versuchsfläche interpolierte Werte des REIP, gemessen bei einem Überflug mittels UAS

Aussagen über den Chlorophyll-Gehalt und die Biomasse lassen sich aus den hyperspektralen Daten ableiten. Eine tiefer gehende Evaluation der Daten in Bezug auf den Stickstoffernährungszustand des Pflanzenbestandes folgt am Ende des Versuchsjahres.

Literatur

Guyot, G., Baret, F. and Major, D. J. 1988. High spectral resolution: Determination of spectral shifts between the red and infrared. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 11, 750-760.

Primicerio, J., Di Gennaro, S. F., Fiorillo, E., Genesio, L., Lugato, E., Matese, A. and Vaccari, F. P. 2012. A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. Precision Agriculture 2012, 13, 517-523.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 297–298 (2013)

Aussagekraft von Umweltindikatoren am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebs „Gladbacherhof“

T. Bryzinski[1], G. Leithold[2], K.-J. Hülsbergen[1]

[1] Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
[2] Professur für Organischen Landbau, Justus Liebig-Universität, Gießen.
E-Mail: *taras.bryzinski@tum.de*

Einleitung

Zunehmend erfolgen Umweltbewertungen landwirtschaftlicher Produktionsprozesse unter Verwendung unterschiedlicher Indikatoren, Methoden und Systemgrenzen. Je nach Fragestellung und Untersuchungsziel werden verschiedene methodische Ansätze mit unterschiedlicher Aussagekraft verwendet; oft sind diese Ergebnisse folglich nicht direkt vergleichbar. Am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebs „Gladbacherhofes“ wird in diesem Beitrag gezeigt, dass unter sonst gleichen Bedingungen (gleiche Datengrundlage, Methodik und gleiche Systemgrenzen) konträre Aussagen erzielt werden können, die auf unterschiedliche Aggregationsverfahren von Ernteprodukten zurückzuführen sind.

Material und Methoden

Die Betriebsdaten im Wirtschaftsjahr 2010 des ökologisch bewirtschafteten Lehr- und Versuchsbetriebs „Gladbacherhof“ (670 mm Niederschlag; 140 bis 230 m ü.NN; mittlere Ackerzahl: 56) bildeten die Datengrundlage für eine ökologische Nachhaltigkeitsbewertung mit dem Modell REPRO (Bryzinski, 2011).
Zur Einordnung der Ergebnisse wurden Vergleichsdaten aus dem Projekt „Netzwerk von Pilotbetrieben“ (Schmid, Braun und Hülsbergen, 2012) und weiteren Betriebsanalysen (Hülsbergen und Schmid, 2010) verwendet. Für den Betriebsvergleich stand somit ein Datensatz von 158 Betrieben zur Verfügung.

Ergebnisse und Diskussion

Die Untersuchungsergebnisse aus den Daten zum Gladbacherhof liegen meist nahe an den Mittelwerten ökologischer Betriebe. Das Ertragsniveau, zu Getreideeinheiten (GE) aggregiert, lag im Jahr 2010 mit 34 GE ha^{-1} deutlich unter dem Durchschnitt von 39 GE ha^{-1} ökologischer Marktfrucht- und Milchviehbetriebe. Im Vergleich zum Ertragsniveau Milchvieh haltender Betriebe beträgt dieser Abstand sogar 10 GE ha^{-1}. Dieses Ertragsniveau wird auf die eher ungünstigen Standortbedingungen (relativ geringe Ackerzahl) zurückgeführt.
Die Energieintensität in Höhe von 188 MJ GE^{-1} liegt leicht über der Energieintensität von 186 MJ GE^{-1} im Mittel konventioneller Betriebe und um 10 MJ GE^{-1} über dem Mittel ökologischer Betriebe. Aufgrund der geringen GE-Erträge fällt jeder Bezug auf diese Einheit, z.B. das produktbezogene Treibhauspotenzial in Höhe von 42 kg CO_2 eq GE^{-1} ungünstig aus. Dieses Potenzial liegt im Mittel ökologischer Betriebe bei 25 kg CO_2 eq GE^{-1} und 32,1 kg CO_2 eq GE^{-1} im Mittel konventioneller Betriebe.
Die Energieintensität resultiert aus der Höhe des Ertragsniveaus (s. o.) und der Höhe des Energieinputs, welcher beim Gladbacherhof mit 6,4 GJ ha^{-1} dem mittleren Energieinput ökologischer Betriebe (5,9 GJ ha^{-1}) nahe kommt. Die höhere Energieintensität ist somit eher durch das Ertragsniveau in GE zu erklären, welches seinerseits vom Standort- und Ertragspotenzial abhängt.

Das auf Energie bezogene Output-Input-Verhältnis des Gladbacherhofes fällt dagegen mit 13:1 recht günstig aus und entspricht dem Mittel ökologischer Marktfrucht- und Milchviehbetriebe; konventionelle Betriebe erreichen im Mittel ein Verhältnis von 10:1. Für dieses Verhältnis werden die Erträge unterschiedlicher Fruchtarten nach dem physikalischen Brennwert in Abhängigkeit von den Inhaltsstoffen bewertet, wobei der Nettoenergieoutput (exkl. Energieinput) ins Verhältnis zum Energieinput gesetzt wird. Der Nettoenergieoutput ökologischer Betriebe liegt im Mittel bei 82,9 GJ ha^{-1} und wird vom Gladbacherhof im selben Jahr mit 79,8 GJ ha^{-1} nahezu erreicht.
Neben diesen Ergebnissen stellt Abbildung 1 weitere Ertrags- und Umweltindikatoren des Betriebs „Gladbacherhof“ in einem dimensionslosen Netzdiagramm dar.

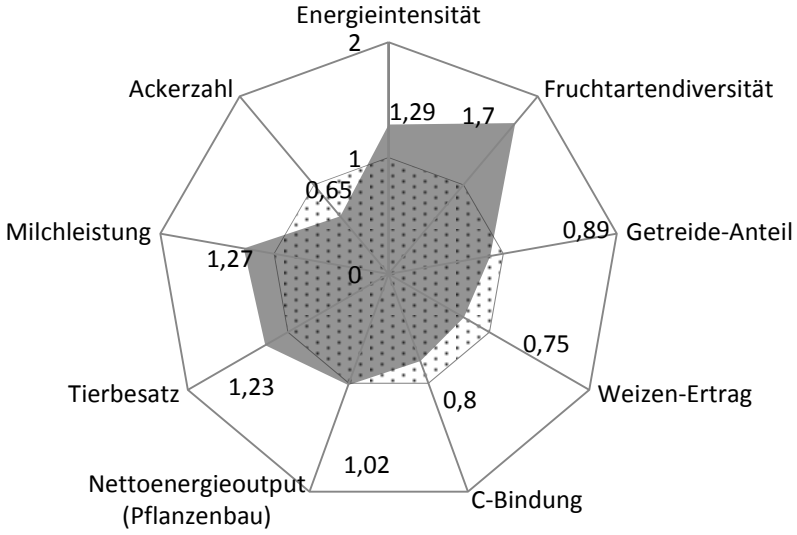


Abbildung 1: Für ökologischen Landbau normierte Aussagekraft einiger Ertrags- und Umweltindikatoren über den Gladbacherhof im Wirtschaftsjahr 2010 (auf Bezugswerte relativierte, dimensionslose Angaben)

Im Betriebsvergleich entspricht der Gladbacherhof den Mittelwerten ökologischer Betriebe sehr oft. Mit diesem Ergebnis kann die bereits erhaltene Auszeichnung des Betriebes zum „Demonstrationsbetrieb für Ökologischen Landbau“ bestätigt werden.
Unter den 158 Betrieben des Betriebsvergleichs sind zwar auch Betriebe mit geringem Standort- und Ertragspotenzial berücksichtigt. Die Mehrheit der Betriebe hat jedoch eher günstige Standortbedingungen.
Folglich kann die Aussagekraft von Ertrags- und Umweltindikatoren verbessert werden, wenn beim Betriebsvergleich beispielsweise das Ertragsniveau anhand des Standort- und Ertragspotenzials differenziert ausgewiesen würde. Anderenfalls werden ertragsreiche und ertragsschwache Standorte nicht differenziert bewertet.

Literatur

Bryzinski, T. (2011): Energiehaushalt und Treibhauspotenzial im Kontext ökologischer Nachhaltigkeitsbewertung des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof im Wirtschaftsjahr 2010. Master-Thesis. Justus Liebig-Universität, Gießen.

Hülsbergen, K.-J.; Schmid, H. (2010): Treibhausgasemissionen ökologischer und konventioneller Betriebssysteme. KTBL-/vTI-Tagung. In: KTBL-Schrift 483, S. 229–244.

Schmid, H.; Braun, M.; Hülsbergen, K.-J.: Treibhausgasbilanzen und ökologische Nachhaltigkeit der Pflanzenproduktion. In: Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Forschungsbericht, Technische Universität München, S. 204-233.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 299–300 (2013)

Optimierter Klimabetrieb – Ertragsmodellierung und Risikominimierung in unterschiedlichen Anbausystemen mit dem Ziel einer optimalen Anpassung an den Klimawandel

Martin Heckmann[1,2], Viola Richter[1], Bernhard C. Schäfer[2] und Jörg-Michael Greef[1]

[1] Julius Kühn-Institut/Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig; [2]Fachhochschule Südwestfalen/Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest. E-Mail: Martin.Heckmann@jki.bund.de

Einleitung

Vor dem Hintergrund der vielfältigen Prognosen zum Klimawandel werden die landwirtschaftlichen Ackerbausysteme der Zukunft mit teils stark veränderten Anbaubedingungen konfrontiert sein. Dies erfordert eine Überprüfung vorhandener Anbauverfahren, um ggf. frühzeitig mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen und einem zielgerichteten Risikomanagement entgegenwirken zu können. Im Teilprojekt „Risikominimierung“ des Forschungsvorhabens „Optimierter Klimabetrieb“ werden daher mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf das Produktionsrisiko landwirtschaftlicher Nutzpflanzen mit Hilfe eines Modellansatzes identifiziert und praxisnahe Anpassungsstrategien für die betroffenen Ackerbaubetriebe verglichen.

Material und Methoden

Durch die Ertragsmodellierung im australischen Modell APSIM (Keating *et al.*, 2003) können nach erfolgreicher Modellkalibrierung und -validierung die wesentlichen Wachstumsabläufe verschiedener Kulturen mit relativ geringem Aufwand simuliert und deren Ertragsentwicklung unter verschiedenen Klimaszenarien abgebildet werden. In dieser Weise erfolgt ein Vergleich dreier virtueller Modellbetriebe, deren jeweiliger Betriebszweig „Ackerbau“ in praktischen Feldversuchen an den Standorten Soest und Braunschweig abgebildet wird. Die Betriebe unterscheiden sich in ihren Strategien bei der Bodenbearbeitung, Düngung und Fruchtfolgegestaltung. Durch die Ergebnisse aus der Modellierung inklusive einer begleitenden ökonomischen Auswertung können sowohl pflanzenbauliche, als auch wirtschaftliche Rückschlüsse auf die Ertragsstabilität und das absolute Ertragspotential der einzelnen Anbausysteme gezogen werden.

Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung von vier unterschiedlichen Klimaszenarien (DWD, 2013) für die genannten Standorte im Zeitraum von 1970-2050 zeigen, dass je nach Annahmen im Modell und vorhandener Datengrundlage erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Prognosen existieren. Dies deutet auf eine hohe Unsicherheit von Klimaszenarien hin. Erst ein Vergleich von mehreren Klimaszenarien ermöglicht eine wage Aussage über zukünftige Entwicklungen.

Diese Unsicherheiten übertragen sich auf die Ertragsmodellierung, da die wesentlichen Wachstumsparameter Niederschlag, Strahlung und Temperatur je nach Szenario mehr oder weniger stark ausgeprägt sind. Dies führt zu einer hohen Spannweite bei den Ertragsprognosen. Am Beispiel von Winterweizen am Standort Braunschweig ist zu erkennen, dass der durchschnittliche Kornertrag über einen Zeitraum von 10 Jahren je nach verwendetem Klimaszenario zwischen 68 dt/ha TM und 95 dt/ha TM liegt, jedoch kaum vom derzeitigen Ertragsniveau abweichen wird.

Winterweizen besitzt laut Ertragsmodellierung also ein hohes Kompensationsvermögen im Bezug auf klimatische Veränderungen.
Demgegenüber wird bei der Ackerbohne unter allen Klimaszenarien ein leichter Ertragsrückgang um rund 0.05 dt/(ha*a) für den Standort Soest und 0.07 dt/(ha*a) für den Standort Braunschweig prognostiziert. Die zehnjährigen Durchschnittserträge liegen dabei in Abhängigkeit der Klimaszenarien zwischen 40 dt/ha TM und 69 dt/ha TM. Die Ursache könnte darin liegen, dass die Ackerbohne sehr sensibel auf Klimaänderungen und extreme Wetterereignisse reagiert. Dies bestätigen auch die bekannten und empirisch bewiesenen hohen jährlichen Ertragsschwankungen der Ackerbohne. Steigende Temperaturen im Juli und August in Verbindung mit geringeren Niederschlägen sowie Tagesextrema zur Aussaat und beim Auflaufen könnten somit zu einer Unterversorgung mit Wasser während der Blüte- und Kornfüllungsphase oder zu Wachstumsstörungen während der Jugendphase führen.

Literatur

DWD, 2013. Klimaszenarien-Rechnungen für Deutschland. Online: http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=P27200165321293012986287&T1760002653212930131187 76gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FHomepage%2FKlimawandel%2FKlimawandel__neu__Klimasz__D__node.html%3F__nnn%3Dtrue (Stand 06.03.2013).

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. Eur J Agron 18, 267-288.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 301–302 (2013)

Verminderung von Stickstoffverlusten durch Anwendung des Gülle-Strip-Till-Verfahrens in Maisfruchtfolgen

Nadine Tauchnitz[1], Joachim Bischoff[1], Matthias Schrödter[1], Holger Rupp[2], Frank Wiese[3] und Ralph Meissner [2]

[1] Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg; [2]Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH-UFZ, Falkenberg. [3]Agrargenossenschaft „Altmärkische Höhe Lückstedt e.G.“, Lückstedt. E-Mail: *joachim.bischoff@llfg.mlu.sachsen-anhalt.de*

Einleitung

Ziel des Projektes ist die Minimierung von Stickstoff (N)-Verlusten in Maisfruchtfolgen durch Anwendung des Gülle-Strip-Till-Verfahrens. Bei diesem Verfahren wird eine reduzierte Bodenbearbeitung (Streifenbearbeitung, strip tillage) mit der Gülle-Unterflurdüngung kombiniert. Die Streifenbearbeitung ist ein aus den USA stammendes Bodenbearbeitungsverfahren, bei dem eine tiefere Lockerung des Bodens nur in der Saatreihe erfolgt, während etwa zwei Drittel des Bodens unbearbeitet und mit abgestorbenem Bodenmaterial bedeckt bleiben (Bischoff, 2012). Aufgrund des geringeren Anteils bearbeiteter Fläche und der gezielten Applikation des Düngers in die Wurzelzone besitzt das Gülle-Strip-Till-Verfahren ein hohes Potential, die N-Ausnutzung des Düngers zu erhöhen sowie N-Verluste zu minimieren.

Material und Methoden

In einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekt werden die N-Verluste bei Einsatz des Gülle-Strip-Till-Verfahrens in Praxis-, Parzellen- und Lysimeterversuchen untersucht. Dabei werden folgende Untersuchungsvarianten berücksichtigt:

a) Ganzflächige Gülleausbringung und Bodenbearbeitung ohne Nitrifikationsinhibitor (NI)
b) Ganzflächige Gülleausbringung und Bodenbearbeitung mit NI
c) Gülle-Strip-Till ohne NI
d) Gülle-Strip-Till mit NI

Untersuchungsschwerpunkte sind die N-Austräge über die Pfade Sickerwasser (Lysimeter) und Dränabfluss (Dränagemessfeld), der potentiell im Boden verlagerbare N (Dränagemessfeld und Parzellen) sowie die gasförmigen N-Verluste, NH_3 (Gericke et al., 2011) und N_2O (closed chamber, Hutchinson und Mosier, 1981).

Ergebnisse und Diskussion

Bisherige Untersuchungen bei konventioneller Bewirtschaftung (Variante a) im Dränagemessfeld zeigen die höchsten NO_3^--Konzentrationen und –Austräge in der vegetationsfreien Zeit (insbesondere Januar und März) verbunden mit hohen Dränabflüssen (Abbildung 1). Demgegenüber waren in der Vegetationsperiode deutlich geringere NO_3^--Konzentrationen und –Austräge nachweisbar.

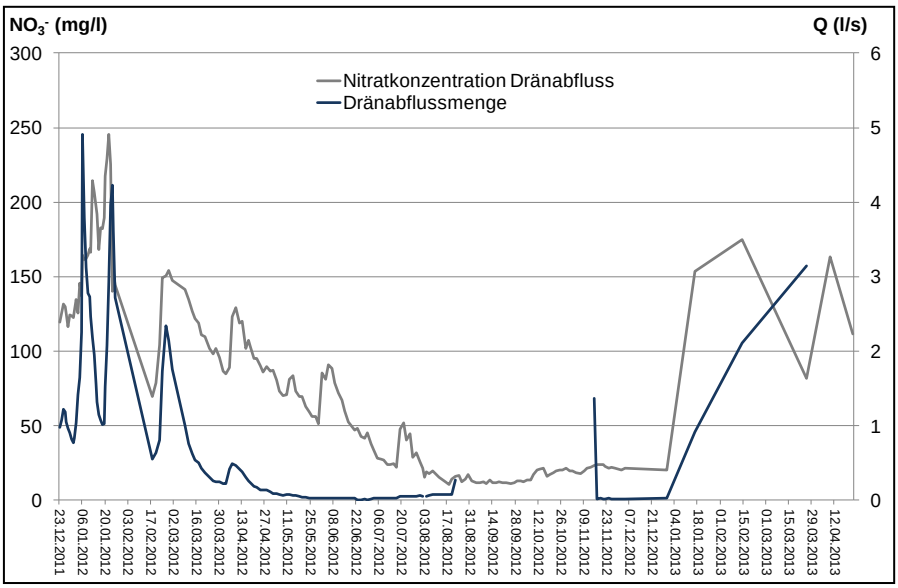


Abb. 1: Nitratkonzentrationen im Dränabfluss und Dränabflussmengen

Erste Voruntersuchungen in Parzellen deuten darauf hin, dass bei Einsatz des Gülle-Strip-Till-Verfahrens in Kombination mit NI (Variante d) der überwiegende Teil des mineralischen N über die Wintermonate in Form des weniger auswaschungsgefährdeten Ammonium-N erhalten blieb. Eine Verlagerung in tiefere Bodenschichten wurde nicht beobachtet. Hieraus lässt sich eine Reduzierung des Nitratauswaschungsrisikos ableiten.

Literatur

Bischoff, J. (2012): Mit Strip-till direkt an die Wurzel. dlz agrarmagazin, 82-86.

Gericke, D., Pacholski A., Kage H. (2011): Measurement of ammonia emissions in multi-plot field experiments, Biosystems Engineering, 108(2) 164-173.

Hutchinson, G.L. and A.R. Mosier. (1981): Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. Soil Science Society of America Journal 45:311-316.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 303–304 (2013)

Untersuchungen zur Stickstoffeffizienz von Sorghum

Karen Zeise

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing; E-Mail: *karen.zeise@tfz.bayern.de*

Einleitung

Sorghum reagiert weit weniger sensitiv auf eine Unterversorgung mit Stickstoff als der Mais [1]. Ziel der Versuche ist es, Düngungsstrategien zu entwerfen, die strikt an der unterstellten hohen Nährstoffeffizienz ausgerichtet sind. Insgesamt gilt es, den Sorghumanbau auch eingedenk seiner im Vergleich zum Mais um ca. 25 % geringeren Methanhektarerträge ausreichend effizient zu gestalten.

Material und Methoden

Um Nachbarschafts- und Randeffekte der hochwüchsigen Kultur Sorghum auszuschließen, ist eine Blockanlage mit 7,5 Meter breiten Parzellen und 1,5 m tiefen Stirnrändern angelegt worden. Für die Provokation von Stickstoffmangel stand als unmittelbare Vorfrucht ungedüngter Grünroggen. Zur Absicherung der Ergebnisse und zur Einschätzung des Standorteinflusses (hohes und niedriges N-Nachlieferungsvermögen des Bodens) wurde der Versuch an zwei Standorten, in Straubing (Niederbayerisches Gäu) und in Aholfing (Schotterebene/ Donauniederung), angebaut. Je zwei Sorghumsorten (EUG 221F, *S. bicolor*, mittelspät, 25 Körner/m² und KWS Freya, *S. bicolor* x *S. sudanense*, mittelfrüh, 35 Körner/m²) standen in 4-facher Wiederholung von sieben N-Steigerungsstufen (0, 25, 50, 75, 100, 150, 200 kg/ha). Die Stufen verstehen sich als die verabreichte Mineraldüngung. Der N_{min}-Wert betrug zur Aussaat in Straubing (SR) 50 und in Aholfing (AHO) 64 kg/ha. Die Applikationen von Herbizid und N-Dünger nach Düngestufen erfolgten in BBCH 13. Von den extrabreiten Parzellen gelangten lediglich die Kernparzellen von 1,5 Meter Breite zur Auswertung.

Ergebnisse und Diskussion

Im Versuchsjahr 2012 lagen die Einzelergebnisse beider Sorten an beiden Standorten so dicht beieinander, dass sich der Zusammenhang zwischen Trockenmasseertrag und N-Düngestufe durch ein gemeinsames Modell darstellen ließ. Die resultierende quadratische Funktion ist in allen Bestandteilen statisch hoch signifikant abgesichert (Abb. 1). Danach wurde ein Maximalertrag von 189 dt/ha Trockenmasse bei einem Einsatz an N-Dünger von 154,4 kg/ha erzielt. Werden Preise für Sorghum von 7,80 €/dt TM frei Feld und für Stickstoff von 1,21 €/kg unterstellt, wurde der maximale Gewinn bei einer Gabe von 129 kg N/ha erreicht.

Zwar ist für den Einsatz von Sorghum als Biogassubstrat sein Gehalt an Nitrat unkritisch, doch liegt der Stickstoff hier in einer verwertungstechnisch unproduktivsten Form in der Pflanze vor. Bei der Sorte EUG 221F sind bereits ab einer Düngung von 137 (AHO) bzw. 138 kg N/ha (SR) Nitratgehalte von 0,5 % in der TM gemessen worden. In der höchsten Düngestufe von 200 kg N/ha lagen sie bei 1,1 bzw. 1,3 %. Bei KWS Freya bedurfte es in AHO eines Düngeraufwandes von 176 kg N/ha, um eine Nitratkonzentration in der Pflanze von über 0,5 % zu erreichen, in SR blieb der Wert auch in der höchsten Düngestufe unter dieser Grenze. Grund dafür ist mit Sicherheit, dass die deutlich früher reifende KWS Freya zur Ernte bereits

das Stadium BBCH 71/73 (Beginn Fruchtbildung) erreicht hatte und die sich ausbildenden Körner als Assimilatsenke zur Verfügung standen. Die Sorte EUG 221F befand sich zur Ernte erst im Stadium BBCH 55 (Mitte Rispenschieben).

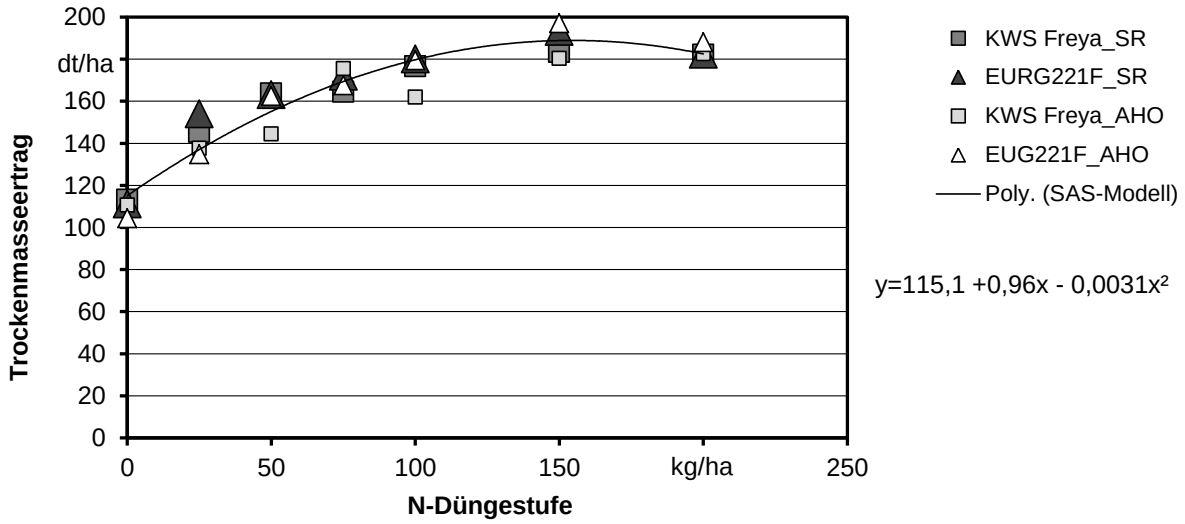


Abbildung 1: *TM-Ertrag von Sorghum in den Düngestufen*

Gemäß Sichtbonitur eine Woche vor der Ernte waren klare N-Mangelsymptome ab einer Düngung von 100 kg N/ha und darunter feststellbar (Abb. 2). Die zeitgleiche Ermittlung des Versorgungsstatus der Pflanzen mit einem YARA-N-Tester nahm dazu einen reziproken Kurvenverlauf. Die Werte auf beiden Kurven unterscheiden sich zwischen den N-Düngestufen bis 150 kg N/ha jeweils signifikant voneinander.

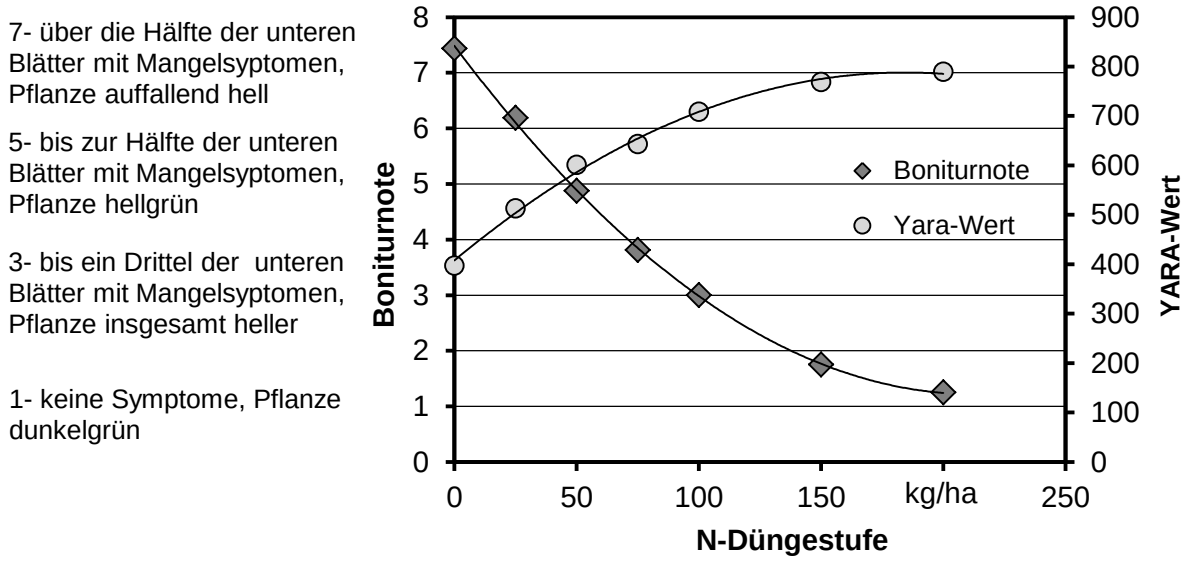


Abbildung 2: *N-Mangel in den Düngestufen*

Literatur

[1] LEMAIRE, G.; CHARRIER, X.; HEBERT, Y. (1996): Nitrogen uptake capacities of maize and sorghum crops in different nitrogen and water supply conditions. Agronomie. Jg 16, Heft 4, S. 231-246

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 305–306 (2013)

Kulturartspezifische NH_3-Emissionen nach Gärrestdüngung von Biogaskulturen - eine modellgestützte Szenarioanalyse

Andreas Pacholski[1,2], Kang Ni[2], Dirk Gericke[2] und Henning Kage[2]

[1] Inkubator/Graduate School, Leuphana-Universität Lüneburg, pacholski@inkubator.leuphana.de,
[2] Institut für Pflanzenbau- und Pflanzenzüchtung, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität Kiel

Einleitung

Seit der Verabschiedung des Erneuerbare Energien Gesetzes im Jahre 2000 und vor allem seit dessen 1. Novellierung im Jahre 2004 hat die Zahl von Biogasanlagen in Deutschland nahezu exponentiell zugenommen. Zusammen mit der Anzahl der Biogasanlagen ist die Menge der als Kuppelprodukt entstehenden Biogasgärreste angestiegen. Die ausgebrachten Gärreste beinhalten einen sehr hohen Anteil an Vergärungssubstrat aus Energiekulturen (NawaRo) und besitzen hohe pH-Werte und NH_4^+-N-Gehalte. Sie besitzen ein gegenüber konventionellen, rein tierischen Güllen spezifisch erhöhtes Potenzial der NH_3-Verflüchtigung bei Lagerung und Feldausbringung (Ni et al. 2012). Ammoniakemissionen sind eine Schlüsselkomponente der Bewertung der Nachhaltigkeit von landwirtschaftlichen Produktionssystemen, welche bei der Bewertung von Biogasproduktionssystemen eine besonders große Bedeutung zukommt. Aufgrund unterschiedlicher Düngezeitpunkte, Düngemengen und Ausbringungstechnik können NH_3-Emissionen nach Gärrestausbringung zwischen Energiekulturen variieren. Durch die Verwendung von mechanistischen Modellansätzen auf Grundlage eines möglichst umfangreichen Datenmaterials kann ein hinreichendes Prozessverständnis erarbeitet werden, welches eine umfassende Bewertung von Emissionen nach Gärrestausbringung unter Berücksichtigung langjähriger Witterungsverhältnisse ermöglicht. Ziel dieser Studie war die Berechnung von über einen weiten Zeitraum gemittelten NH_3-Emissionen nach Gärrestdüngung zu den bedeutendsten in Deutschland angebauten Energiekulturen unter den Witterungsbedingungen Norddeutschlands.

Material und Methoden

Zur genauen Beschreibung von NH_3-Verlustverläufen bei Berücksichtigung der aktuellen Witterung und Bestandesbedingungen wurde auf Basis von langjährig erhobenen Daten ein dynamisches Modell entwickelt (Gericke et al. 2012). Im Grundsatz beruht es auf der NH_3-Verflüchtung aus der Grenzschicht Boden-Atmosphäre in Abhängigkeit vom NH_3-Konzentrationsgradienten und Widerständen, welche den Übergang von NH_3 in die freie Atmosphäre begrenzen. Das Modell wurde dazu genutzt, auf Basis von Witterungsdaten aus 12 Jahren am Standort Hohenschulen bei Kiel (1997 – 2008) NH_3-Verluste (-5 Tage nach Ausbringung) aus verschiedenen Energiekulturen nach Biogasgärrestdüngung (pH 7.8, 56% NH_4^+-N Anteil) mit kulturtypischen Dünger-Mengen (Abb. 1) zu berechnen. Die Kulturen umfassten Silomais, Wintergetreide GPS, Ackergras, Zuckerrübe und Winterraps. Winterraps wurde als alternative Kultur zur Nutzung von Gärresten berücksichtigt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Simulation der NH_3-Verluste mit dem dynamischen Modell zeigte deutliche Unterschiede zwischen den Energiekulturen und eine sehr große Variabilität zwischen den Jahren (Abb. 1). Trotz der hohen Variabilität in den Emissionen wurde

berechnet, dass die Nutzung von Silomais und Zuckerrüben mit den signifikant geringsten NH_3-Emissionen verknüpft ist, v.a. wegen der Möglichkeit der Einarbeitung der Dünger (Median 3 – 10% NH_4^+-N bei Einarbeitung). Diesen beiden Kulturen folgen Winterraps (<20%) und dann Wintergetreide und Weidelgras (>20%). Die höchsten absoluten Emissionen traten bei Weidelgras auf. Bezogen auf relative NH_3-Verluste sind große Ausbringungsmengen aufgeteilten Gaben vorzuziehen.

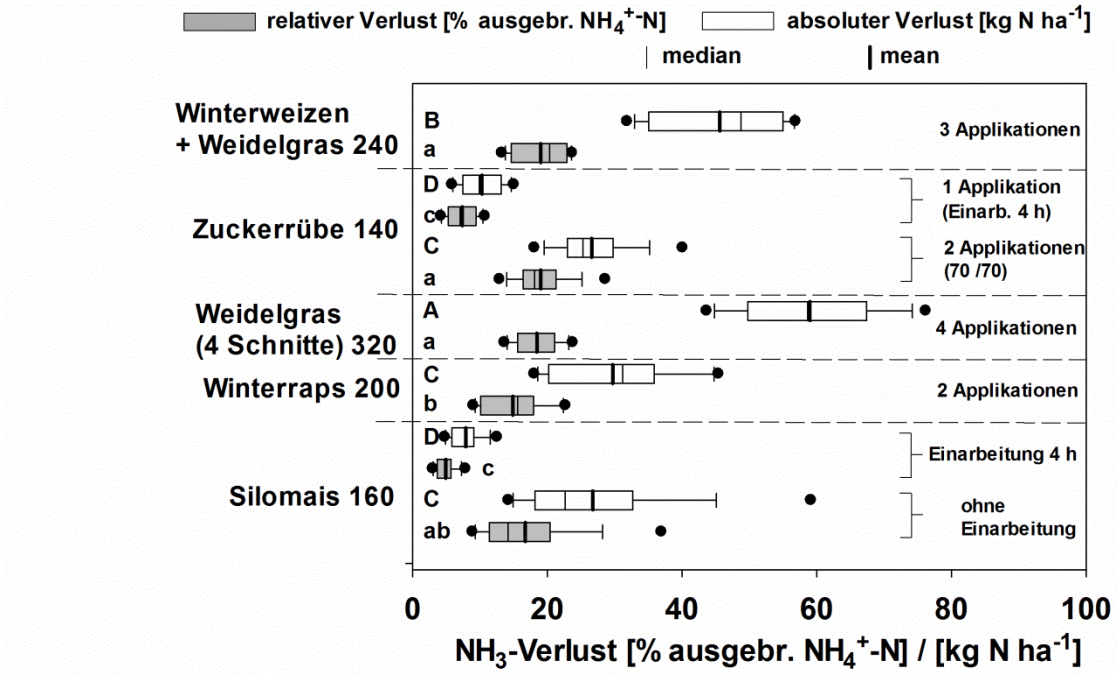


Abb. 2: NH_3-Emissionen nach Gärrestdüngung (N_{tot}, pH 7.8, 56% NH_4^+-N, Schleppschlauch) verschiedener Bioenergiekulturen, Hohenschulen, 1997-2008, Zahlen = N-Menge/ha; Kruskal-Wallis-Test (p<0.05), Großbuchstaben = abs. Verlust, Kleinbuchstaben = relativer Verlust

Bei Berücksichtigung des Ertragsniveaus der Energiekulturen weisen Silomais und Zuckerrübe an geeigneten Standorten die höchsten Trockenmasseerträge auf, was die spezifischen NH_3-Emissionen noch weiter absenkt. Die gleiche Abfolge in den kulturspezifischen NH_3-Emissionen wurde auch in einem Vergleichsversuch in der Marsch Schleswig-Holsteins ermittelt (Quakernack et al. 2012). Wahrscheinlich wurden in der Modellierungsstudie die NH_3-Verluste überschätzt, da Gärreste auch zu sehr ungünstigen, sehr heißen und trockenen Zeitpunkten ausgebracht wurden. Allerdings treten in verschiedenen Jahren Großwetterlagen auf, die eine Ausbringung von organischen Düngern unter solchen Bedingungen notwendig machen, so dass die Spannweite der berechneten Werte realistisch ist. Es zeigt sich, dass auch eine Ausbringung von organischen Düngern mit Schleppschläuchen in Pflanzenbestände mit sehr hohen NH_3-Verlusten verknüpft sein kann. Weitere technische Maßnahmen, wie z.B. Gülleansäuerung, sind erforderlich, um das Emissionsniveau abzusenken.

Literatur

Gericke, D., Bornemann L, Kage H., Pacholski A. (2012): Modelling ammonia losses after field application of biogas slurry in energy crop rotations, Water, Air & Soil pollution, 223:29–47

Ni K., Pacholski, A., Dirk Gericke, D. and Kage H. (2012): Analysis of ammonia losses after field application of biogas slurries by an empirical model, JPNSS, 175(2): 253-264

Quakernack R.; Pacholski A., Techow A.; Herrmann A., Taube F., Kage H. (2012): Ammonia volatilization and yield response after application of biogas residues to energy crops in a coastal marsh of Northern Germany, Agriculture, Ecosystems & Environment,

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 307–308 (2013)

Charakterisierung der N- Aufnahme und Biomasseentwicklung von Pflanzen mit Hilfe des Spektralsensors „OpSeN“

Dominik Holland[1] und Franz-Xaver Maidl[2]

[1] Hochschule Weihenstephan – Triesdorf, Lehrstuhl für Land- und Ernährungswirtschaft, Freising
[2] TU München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising
Alte Akademie 12,85354 Freising, Email: dominik.holland@hswt.de

Einleitung

Zur Durchführung der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung von Pflanzenbeständen wurden in den letzten Jahren Sensoren entwickelt, die über die Pflanzenreflexion den N-Düngebedarf der jeweiligen Kulturart ermitteln können. Bisher werden häufig relativ teure, aktive Sensoren mit eigener Lichtquelle verwendet. In einem Projekt der TU München, der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und der Fa. Fritzmeier Umwelttechnik sollte ein kostengünstiger, passiverReflexionssensorohne eigene Lichtquelle (OpSeN) entwickelt und auf seine Einsatztauglichkeit bei der Erfassung der N-Aufnahme der Pflanzen und deren Biomasseentwicklung geprüft werden.

Material und Methoden

Der Sensor wurde inStickstoffsteigerungsversuchen auf Hoch- und Niedrigertragsstandorten von Wintergerste und Winterraps mit bis zu 16 Varianten sowie entsprechenden Sortenversuchengetestet. Die Varianten enthielten unterschiedliche Stickstoffmengen, die sich in ihrer Höheund Verteilung zu den verschiedenen Entwicklungsstadien unterschieden. Aus den Versuchen wurden zu wichtigen Entwicklungsstadien Pflanzenproben entnommen, um den Biomasseaufwuchs und die N- Aufnahme zu ermitteln. Zudem wurden zum Vergleich Messungen mit dem geeichten Referenzsensor tec5 durchgeführt. Anschließend wurden die Daten der Sensoren und der Pflanzenproben über eine Regressionsanalyse verglichen. Sowohl beim tec5 als auch beim neu entwickelten Reflexionssensor OpSeN handelt es sich um Multispektralsensoren. Das tec5 misst im Bereich von 360-980 nm mit einer Auflösung von 2,8nm. Das OpSeN-Gerät misst im Bereich von 640-1080nm mit einer Auflösung von 20nm. Im nachfolgenden Gerätevergleich wird nur der Vegetationsindex REIP betrachtet, da die Mess- und Düngealgorithmen der TUM ebenfalls auf dem REIP basieren (Maidl, 2011)

Ergebnisse und Diskussion

Beim Vergleich der Sensordatensätze von tec5 und OpSeN konnte ein sehr enger, Zusammenhang festgestellt werden. Die REIP-Werte der beiden Reflexionssensoren korrelierten mit einem R^2-Wert von 0,98. Jedoch waren die Absolutwerte nicht identisch. Zwischen den beiden Sensoren gibt es einen Versatz von rund 4 nm, der bei der Anwendung von Düngealgorithmen berücksichtig werden muss.

Beim Vergleich der REIP-Werte beider Sensoren mit der N-Aufnahme und der Biomassebildung von Wintergerste (Abb. 1, 2 und Tab. 1)istebenfalls eine sehr enge Beziehung zu erkennen. Zu Schossbeginnin EC 30 konnte für das OpSeN-Gerät ein Bestimmtheitsmaß von 0,84 festgestellt werden. Das Referenzgerät erzielte mit R^2=0,86 einen ähnlichen Wert (Tab. 1). Die Kurven verlaufen dabei annähernd parallel. Auch bei Winterraps zeigten die REIP-Werte beider Reflexionssensoren

hohe R²-Werte zur Biomassebildung und der Stickstoffaufnahme (Tab. 1).In diesem frühen Stadium, ebenso wie in EC 32, in welchem ähnlich hohe Bestimmtheitsmaße ermittelt wurden, ist es demnach möglich die N-Aufnahme anhand der REIP-Werte darzustellen.

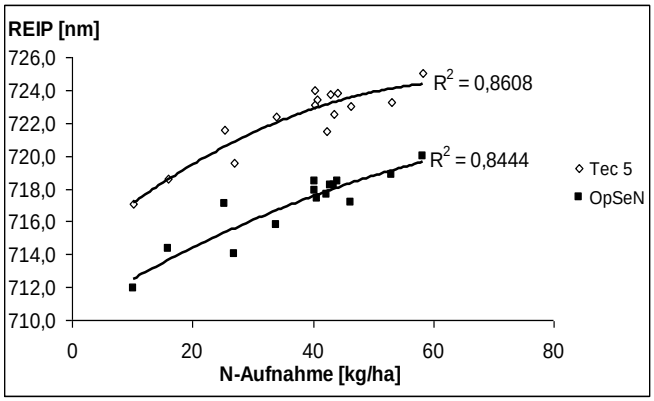


Abbildung 1: Beziehung der REIP- Werte des tec5 und des OpSeN- Sensors zur N-Aufnahme von Wintergerste in EC 30

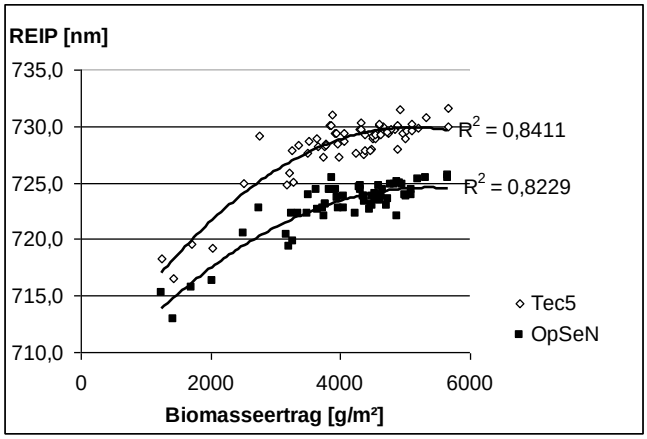


Abbildung 2: Beziehung der REIP- Werte des tec 5- und des OpSeN- Sensors zur Biomassebildung von Wintergerste in EC 65

Wintergerste	OpSeN/ Biomasse	Tec5/ Biomasse	OpSeN/ N-Aufnahme	Tec5/ N-Aufnahme
	R²			
EC32	0,79	0,77	0,84	0,86
EC32	0,63	0,6	0,79	0,74
EC49	0,79	0,77		
EC69	0,82	0,84		

Winterraps	OpSeN/ Biomasse	Tec5/ Biomasse	OpSeN/ N-Aufnahme	Tec5/ N-Aufnahme
	R²			
Herbst	0,53	0,42	0,50	0,32
VB	0,46	0,76	0,41	0,66
EC30	0,52	0,49	0,56	0,53
EC50	0,75	0,66	0,84	0,75

Tabelle 1: R²-Werte der REIP-Werte des tec5- und OpSen-Sensorszur Biomassebildung und N-Aufnahme von Wintergerste und Winterraps zu verschiedenen EC-Stadien

Literatur

Maidl F.-X., 2011: Verfahren zur Bestimmung des Düngerbedarfs, insbesondere des Stickstoff-Düngerbedarfs und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Dt. Patentamt 2011060618544100DE.

Maidl, F.-X., 2012: Voraussetzungen für eine sensorgesteuerte teilflächenspezifische N-Düngung. GI-Edition 2012, 199-202.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 309–310 (2013)

Ammoniakverluste nach Ausbringung und Einarbeitung hoher Gärrestmengen zu Mais

Seidel, A.[1], Pacholski, A.[2], Kage, H.[1]

[1] Institut für Pflanzenbau- und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
[2] Nachhaltige Landwirtschaft, Leuphana Universität Lüneburg
E-Mail: *seidel@pflanzenbau.uni-kiel.de*

Einleitung

Die Biogasproduktion in Deutschland besitzt aufgrund der Energiewende in Deutschland eine tragende Rolle bei der Bereitstellung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen. Dabei entstehen jährlich schätzungsweise 65,5 Mio. m^3 Gärrest (GR), die etwa 390.000 t N enthalten [Möller und Müller, 2012]. Bei der Verwertung der GR besteht die Herausforderung, diesen Wirtschaftsdünger möglichst effizient einzusetzen. Da das am häufigsten verwendete Substrat Silomais ist, ist der Zeitraum der GR-Düngung in den meisten Fällen auf den Zeitpunkt von Bodenbearbeitung bis vor Bestandesschluss des Mais beschränkt. Zur Vermeidung weiter Hof-Feld-Entfernungen wird häufig auf hofnahen Flächen die gesamte N-Düngung über GR abgedeckt. In Folge kann es zu Nährstoffüberschüssen durch ungleichmäßige Verteilung innerhalb des Betriebes kommen. Generell problematisch sind bei der GR-Düngung wie auch bei der Gülledüngung die entstehenden N-Verluste durch Ammoniak (NH_3). Grundsätzlich steigen zwar bei höherer Ausbringmenge die absoluten NH_3-Verluste (kg N ha^{-1}) an, die relativen NH_3-Verluste (% ausgebrachtes NH_4^+-N) können jedoch absinken. Es bestehen allerdings noch Datenlücken bezüglich der NH_3–Verluste nach Einarbeitung von Biogasgärresten.

Material und Methoden

In einem von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) geförderten Projekt wurden über 2 Jahre Feldversuche an 5 Standorten in Deutschland (Ascha = BY, Dedelow = BB, Dornburg = TH, Gülzow = MV, Hohenschulen = SH) mit unterschiedlichen klimatischen und Bodenverhältnissen durchgeführt, wobei neben den Spurengasen N_2O und CH_4 auch die NH_3-Emission erfasst wurde. Vor der Maissaat wurden verschiedene Mengen GR mittels Schleppschlauch ausgebracht und mit konventioneller Bearbeitungstechnik (Grubber) eingearbeitet; Am Standort Gülzow wurde der GR injiziert. Die GR-N-Mengen wurden bei standorttypisch optimaler N-Düngemenge als 100% gesetzt. In 5 Varianten wurden 50 – 200% GR gedüngt. Die verwendeten GR-Volumina betrugen somit standortabhängig 20 – 90 m^3 ha^{-1}. Die NH_3-Messung erfolgte parzellenbasiert mit einer kalibrierten Kammermethode (Pacholski et al. 2006).

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Höhe der NH_3-N-Verluste zeigten sich Standortunterschiede, welche zum einen auf unterschiedliche standortspezifische Bewirtschaftung wie Einarbeitungszeitpunkt, Gärresteigenschaften, Böden und die Witterung zur Ausbringung zurückzuführen sind. Bis auf Dedelow und Dornburg im Jahr 2011 lagen die relativen NH_3-Verluste wie häufig in der Literatur beschrieben unter 10% vom applizierten NH_4^+-N, was auf eine verzögerte Einarbeitung an diesen Standorten zurückzuführen sein könnte. Die absoluten NH_3-Verluste stiegen mit gesteigerter

Ausbringmenge erwartungsgemäß an. Jahres- und standortbedingt zeigte sich bei der höchsten Ausbringmenge von 200% GR im Vergleich zur niedrigsten Ausbringmenge (50% GR) eine Änderung der relativen NH_3-Verluste um -67% bis +57% (Abb. 1). Zum anderen erfolgte an einzelnen Standorten offensichtlich keine effiziente Einarbeitung hoher GR-Volumina, sodass die Einarbeitung hoher GR-Mengen eine geringere Minderung der NH_3-Emissionen als bei kleineren Mengen zeigte. Im Jahr 2013 wird dieser Versuch fortgeführt und um zu zeigen, welchen Einfluss die angewandte Einarbeitungstechnik und -intensität auf die NH_3-Emission hat, sollen separate Einarbeitungsversuche durchgeführt werden.
Obwohl laut Düngeverordnung die Obergrenze von 170 kg N_{ges} ha^{-1} aus organischen Düngemitteln besteht, zeigen die großen Variationen bei den NH_3-Emissionen nach Einarbeitung großer Gärrestmengen die damit verknüpften Unsicherheiten in der Bewertung von Biogasproduktionssystemen. Daher ist es Ziel, unabhängig von den Einflussfaktoren Witterung, GR-Eigenschaften und Aufwandmengen modellgestützt einen Standortvergleich der NH_3-Emissionen durchzuführen.

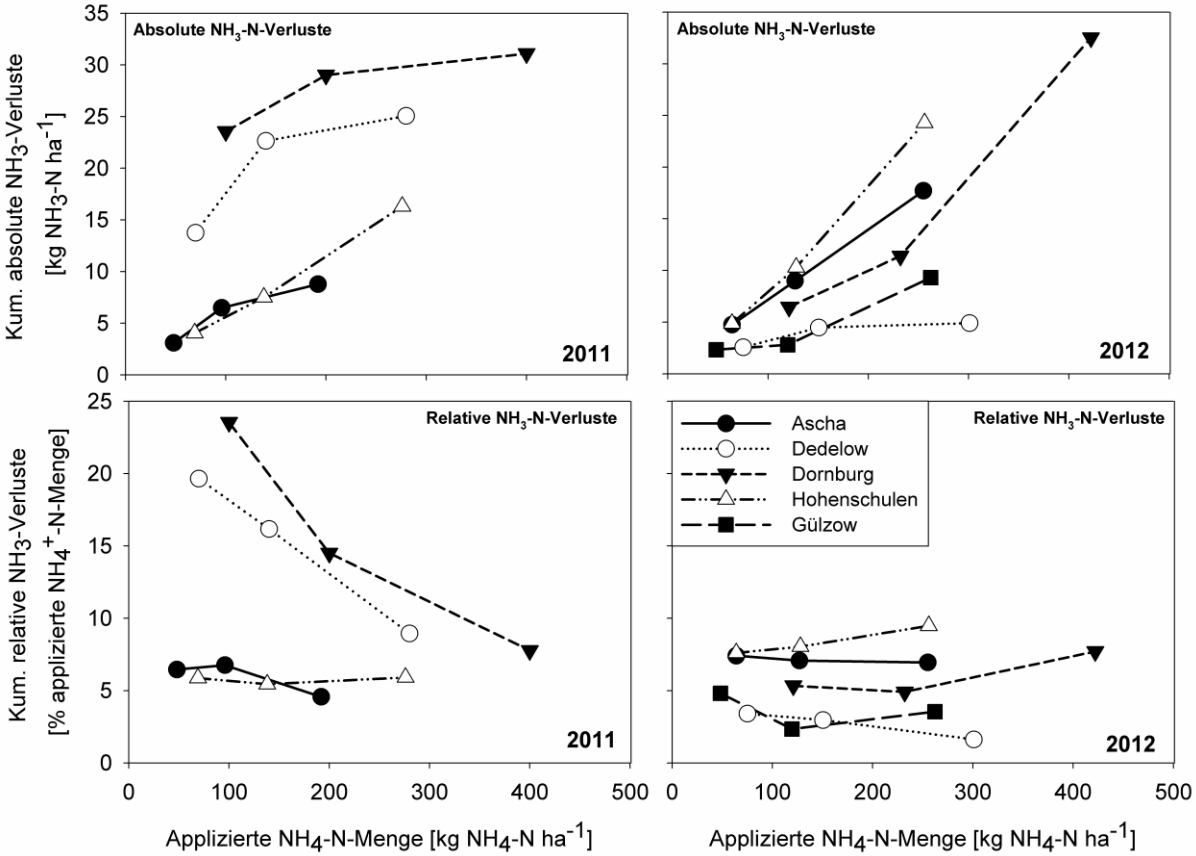


Abbildung 1: Absolute und relative kumulative NH_3-N Verluste in Abhängigkeit von gedüngter NH_4^+-N-Menge, Standort und Jahr. 2011 für Gülzow keine Daten.

Literatur

Pacholski,et al., 2006. Calibration of a simple method for determining ammonia volatilization in the field – comparative measurements in Henan Province, China. Nutrient Cycling in Agroecosystems 74: 259 –273

Möller, K., Müller, T., 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. Eng Life Sci., 12, No. 3, 242 - 257

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 311–312 (2013)

Sind frühe Düngungstermine bei kompensationsfähigen Winterweizensorten und Standorten mit einem hohen N-Nachlieferungspotential noch notwendig?

Thomas Makary[1], Rudolf Schulz[1], Torsten Müller[1] und Carola Pekrun[2]

[1] Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Düngung und Bodenstoffhaushalt (340i) Universität Hohenheim 70593 Stuttgart, [2]Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Fg. Pflanzenbau 72622 Nürtingen E-Mail: Thomas.Makary@uni-hohenheim.de

Einleitung

Niedrige Frühjahrstemperaturen haben eine langsame Entwicklung von landwirtschaftlichen Kulturen zur Folge. Trotz dessen verfolgen viele Landwirte die Strategie, insbesondere Winterweizen früh, meist noch vor BBCH 25 mit Stickstoff zu versorgen. Argumente für diese frühen Applikationstermine sind eine rasche Bestockung, speziell von Bestandesdichtetypen. Unter den modernen Winterweizensorten finden sich kaum ausgeprägte Bestandesdichtetypen (Beschreibende Sortenliste, 2011). Fast alle Sorten besitzen ein hohes Kompensationsvermögen. Das Zeitfenster für die Applikation von Stickstoff müsste damit weiter sein als in der Vergangenheit. Das Zeitfenster für die erste N-Gabe könnte auch deshalb weit sein, weil auf einigen Betrieben, insbesondere Betrieben mit hoher Viehdichte, ein hohes N-Nachlieferungspotential besteht und damit die Nachlieferung aus dem Bodenvorrat über einen langen Zeitraum gewährleistet ist. Frühe Düngungstermine stehen zudem in der Diskussion bezüglich ihrer Umweltrelevanz.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die Bedeutung des Zeitpunkts der ersten N-Gabe zu Winterweizen in Feldversuchen zu prüfen.

Material und Methoden

Randomisierte Blockanlagen mit 4-5 Wiederholungen wurden an 4 Standorten in den Jahren 2011 und 2012 in Süddeutschland angelegt. Standorte 1-3 repräsentieren tiefgründige Parabraunerden aus Löss (60-70BP). Standort 1 wird bereits langjährig mit Wirtschaftsdünger versorgt. Auf Standort 2 werden bereits seit ca. 10 Jahren und auf Standort 3 seit ca. 30 Jahren keine Wirtschaftsdünger mehr appliziert. Standort 4 stellt ebenfalls eine Parabraunerde dar, die langjährig mit Wirtschafsdünger versorgt wird, jedoch besteht diese zum Großteil aus Kies und zeigt sich als flachgründig mit nur ca. 40 BP. Die getestete Sorte war "Akteur", welche als Kompensationstyp eingestuft ist. Die betriebsübliche Düngung stellte die Variante 3xKAS (Kalkammonsalpeter) dar. Bei dieser wurden 30% des N zu BBCH 25/27, 40% zu BBCH 29/31 und nochmals 30% zu BBCH 49/51 appliziert. Als Vergleich wurde eine Variante getestet bei der der Stickstoff auf zwei Gaben aufgeteilt wurde. 70% wurden bei dieser Variante erst zu BBCH 29/31 und schließlich 30% des N zu BBCH 49/51 appliziert. Um das Mineralisationspotential abschätzen zu können, wurden an allen Standorten ungedüngte Kontrollen angelegt. Neben den Kornerträgen wurden die N-Gehalte im Korn bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

In beiden Jahren lagen die Erträge der gedüngten Varianten auf einem ähnlichen Niveau und die Variante 3xKAS zeigte keine signifikanten Mehrerträge. Große

Unterschiede zeigen jedoch die Erträge der mit N ungedüngten Varianten. Auf Standort 1 (langjährig organisch gedüngt) erbrachte diese Variante in beiden Jahren ca. 70% des Ertrages der gedüngten Varianten. Der bodeneigene N-Pool reichte auf allen Standorten bis BBCH 29/31 aus, um die Bestände mit N zu versorgen (Abb.1).

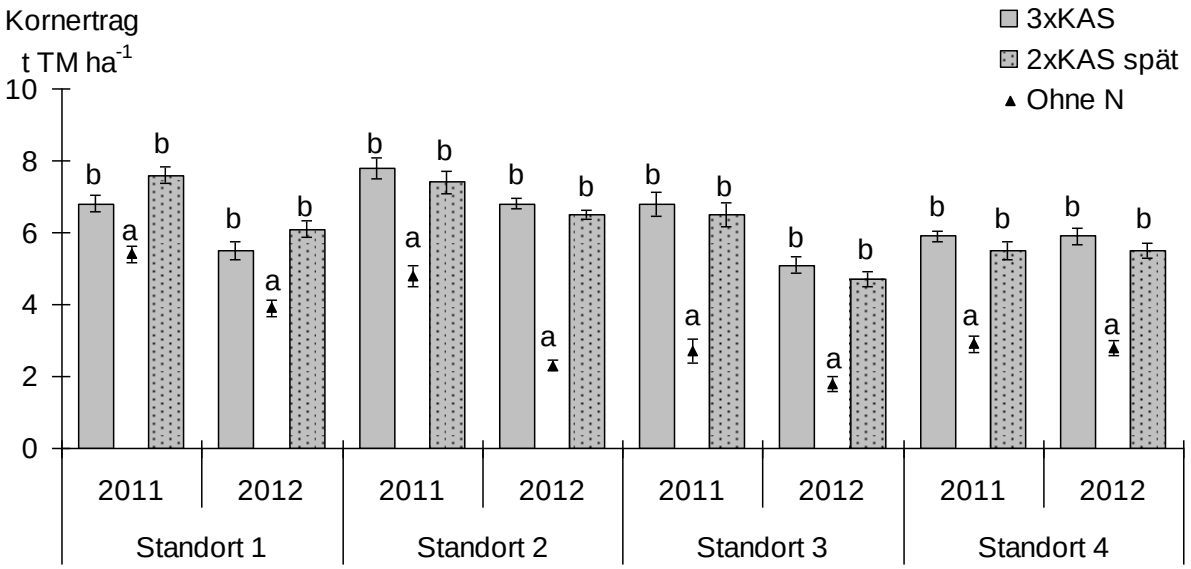


Abb.: 1 Kornerträge (t TM ha^{-1}) der Standorte 1-4 und in den Varianten 3 x KAS und 2xKAS spät, Fehlerbalken= Standardfehler, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb eines Versuchsjahres und eines Standortes, Tukey-Test, p<0,05.

Auch zwischen den Rohproteingehalten der gedüngten Varianten zeigten sich in keinem Jahr signifikante Unterschiede. Lediglich die Proteingehalte der Kontrolle lagen darunter (Tab. 1). Den Ergebnissen zufolge ist auf den getesteten Standorten keine frühe Applikation von N zu BBCH 25/27 notwendig, um hohe Erträge und Rohproteingehalte zu erzeugen. Kompensationsfähige Sorten, sowie das Nachlieferungspotential vieler Standorte führen zum Funktionieren von Strategien wie z.B. 2xKAS spät.

Tab.: 1 Rohproteingehalte (% in TM) aller Varianten und Standorte, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb eines Versuchsjahres Tukey-Test, p<0,05.

	Standort 1		Standort 2		Standort 3		Standort 4	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
3xKAS	15,9^{b}	14,7^{b}	15,3^{b}	12,6^{b}	13,0^{b}	14,8^{b}	15,2^{b}	14,5^{b}
2xKAS spät	16,2^{b}	13,9^{b}	16,4^{b}	12,7^{b}	14,0^{b}	14,8^{b}	16,0^{b}	14,5^{b}
Ohne N	10,8^{a}	9,7^{a}	10,6^{a}	9,9^{a}	8,9^{a}	11,3^{a}	12,6^{b}	11,5^{a}

Literatur

Beschreibende Sortenliste 2011,
http://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/bsl_getreide_2011.pdf

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 313–314 (2013)

Strip-Till im Weißkohlanbau – Wasserhaushalt und N-Düngestrategie

Annegret Übelhör[1], Norbert Billen[2], Helena Ziegenhagel[2], Sabine Gruber[1] und Wilhelm Claupein[1]

[1]Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Allgemeiner Pflanzenbau/Universität Hohenheim, Stuttgart; [2]Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Fg. Allgemeine Bodenkunde und Gesteinslehre/Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: *Annegret.Uebelhoer@uni-hohenheim.de*

Einleitung

Das konservierende Bodenbearbeitungsverfahren Strip-Till gewann in den letzten Jahren vor allem bei Mais und Zuckerrüben zunehmend an Bedeutung. Verbesserter Erosionsschutz und eine erhöhte Wasserspeicherkapazität der Böden machen das Verfahren im Zuge des Klimawandels mit vermehrten Starkniederschlägen und gleichzeitig längeren Trockenperioden zu einer Alternative zur Pflugbearbeitung. Im Strip-Till Verfahren sollen die Vorteile des Pfluges (gesicherte hohe Erträge) und der Direktsaat (Erosionsschutz und Bodenschonung) miteinander verbunden werden. Auch im Feldgemüsebau mit erhöhter Erosionsgefahr wird das Strip-Till Verfahren derzeit geprüft. Weißkohl (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *alba*) ist hierbei eine Kultur, die sich auf Grund weiter Reihenabstände grundsätzlich für den Anbau im Strip-Till Verfahren eignet. In einem Feldversuch wurden 2012 Untersuchungen zum Wasserhaushalt und zu Effekten einer platzierten Stickstoffdüngung im Strip-Till Verfahren vorgenommen.

Material und Methoden

Auf der Versuchsstation „Ihinger Hof“, der Universität Hohenheim wurde der Anbau von Weißkohl in vier Verfahren mit vier Wiederholungen geprüft (Parzellengröße 20 m x 6 m). Neben einer klassischen Strip-Till Variante (ST) wurden zwei intensive Strip-Till Varianten mit platzierter (ST_pN) bzw. breitflächiger N-Düngung (ST_bN) sowie eine Kontrolle mit praxisüblicher Pflugbearbeitung (P) angelegt. Im Herbst 2011 wurde in allen Strip-Till Varianten die späteren Pflanzstreifen 20 cm breit und 20 cm tief mit einem Streifenlockerer (Horsch ‘FOCUS‘) bearbeitet. Die restliche Fläche blieb mit Strohresten der Vorfrucht (Wintertriticale) bedeckt. Bei ST_pN und ST_bN erfolgte eine zusätzliche flachere Streifenbearbeitung im Frühjahr kurz vor der Pflanzung. Zur exakten Bestimmung der Pflanzreihen für die Pflanzung wurde ein RTK-GPS-Lenksystem eingesetzt. Die Stickstoffdüngung (ENTEC 26, bis zu 270 kg N ha^{-1}) erfolgte in den Varianten P, ST und ST_bN einmalig und breitflächig, bei der Variante ST_pN wurden zwei Gaben appliziert. Die erste Gabe erfolgte während der zweiten Lockerung kurz vor der Pflanzung durch die Lockerungsschare, die zweite Gabe wurde während der Weißkohlpflanzung (02.05.2012, Sorte ‘Marcello‘), durch das Pflanzschar appliziert. Zur Ermittlung der Wassergehalte wurden von Mai bis August 2012 Bodenproben (0-10 cm, 10-30 cm und 30-40 cm) genommen. Weiterhin wurden in zweiwöchigem Abstand Bodenproben (N_{min}-Gehalt; je nach Entwicklungsstadium in 0-30 cm, 30-60 cm oder 60-90 cm) und Pflanzenproben (N_t-Gehalt) zur Ermittlung des N-Status in Boden und Pflanze genommen. Die Bodenprobenahme erfolgte in den Strip-Till Varianten sowohl in der Pflanzreihe (idR) als auch zwischen der Pflanzreihe (zdR).

Ergebnisse und Diskussion

Im Oberboden (10 cm) fanden sich bei vier von fünf Messterminen signifikant höhere Wassergehalte im Strip-Till Verfahren zwischen der Reihe (ST_bN_zdR) verglichen zur Pflugbearbeitung (P). Die Wassergehalte in P lagen mit durchschnittlich 16,3 % über den gesamten Probenahmezeitraum hinweg rund 2 % unter den Werten von ST_bN_zdR (18,2 %). In 30 cm Tiefe wurden signifikante Unterschiede ausschließlich zwischen ST_bN_idR und ST_bN_zdR festgestellt. In 40 cm Tiefe wurden an drei der fünf Termine keine signifikanten Unterschiede bei den Wassergehalten gemessen (Abb. 1). Es kann somit bestätigt werden, dass die Wasserspeicherung im unbearbeiteten Bereich im Strip-Till Verfahren vor allem im Oberboden höher ist, als bei der Pflugbearbeitung (Licht und Al-Kaisi, 2005).

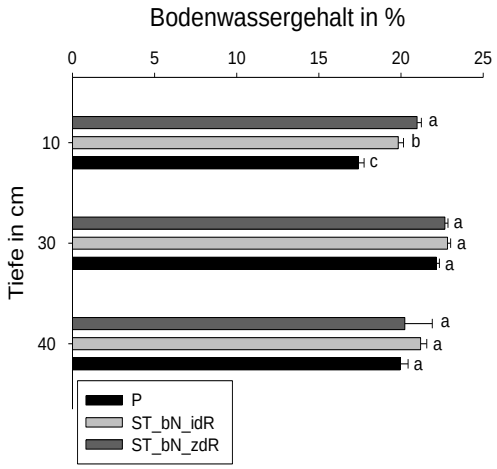


Abb. 1: Bodenwassergehalte in % in unterschiedlicher Tiefe, 9 Tage nach Pflanzung. Mittelwerte, die mit dem gleichen Buchstaben versehen sind, sind nicht signifikant verschieden, p<0.05;

Bei den N_{min}-Probenahmen in der Pflanzreihe wurden die höchsten Werte über die gesamte Kulturdauer in ST_pN_idR nachgewiesen. 14 TnP (Tage nach Pflanzung) wurde in 0-30 cm Tiefe ein Wert von 182,9 kg N ha^{-1} in der ST_pN_idR Variante, verglichen zu 84,1 kg N ha^{-1} in P, gemessen. 28 TnP wurden mit 57,4 kg N ha^{-1} in der klassischen Strip-Till Variante (ST_idR) verglichen zu ST_pN_idR (145,8 kg N ha^{-1}) signifikant geringere N_{min}-Gehalte gemessen. 43 TnP konnte wiederum ein signifikanter Unterschied zwischen ST_pN_IR (109,6 kg N ha^{-1}) und P (46,0 kg N ha^{-1}) detektiert werden. 56 TnP und zur Ernte wurden keine signifikanten Unterschiede mehr festgestellt (Tab. 1). Zwischen den Reihen war 14 TnP der N_{min}-Gehalt bei ST_bN_zdR mit 172,8 kg N ha^{-1} signifikant höher als bei ST_pN_zdR (75,6 kg N ha^{-1}). An allen anderen Terminen konnten keine signifikanten Unterschiede gemessen werden.

Die Erträge lagen nach einer 100-tägigen Kulturdauer in der klassischen Strip-Till Variante signifikant höher (74 t ha^{-1}) als in der Pflugvariante (65 t ha^{-1}; nicht dargestellt). Die intensiven Strip-Till Varianten mit breitflächiger und platzierter N-Düngung wiesen keine signifikanten Unterschiede zu klassischen Strip-Till Variante und zum Pflug auf.

Das Strip-Till Verfahren im Weißkohlanbau könnte auf Grund der guten Wasserspeicherung im Oberboden und der ausreichenden Stickstoffverfügbarkeit (auch bei breitflächiger N-Düngung) eine Alternative zum Pflug darstellen.

	P	*ST*	*ST_pN*	*ST_bN*
14 TnP	84.1^{b}	133.8^{ab}	182.9^{a}	124.2^{ab}
28 TnP	109.9^{ab}	57.4^{b}	145.8^{a}	92.2^{ab}
43 TnP	46.0^{b}	63.1^{b}	109.6^{a}	76.0^{ab}
56 TnP	$27.7^{n.s.}$	$14.6^{n.s.}$	$41.2^{n.s.}$	$36.3^{n.s.}$
Ernte	$4.0^{n.s.}$	$5.1^{n.s.}$	$3.2^{n.s.}$	$5.1^{n.s.}$

Tab. 1: N_{min}-Gehalte im Boden (in der Pflanzreihe, 0-30 cm) während der Kulturdauer. Werte, die mit demselben Buchstaben versehen sind (Zeile), sind nicht signifikant verschieden, p<0.05; n.s.: nicht signifikant.

Literatur

Licht, M. A., Al-Kaisi, M., 2005. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. Soil Tillage Res. 80, 233-249

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 315–316 (2013)

Einfluss von Biokohle und deren Behandlung auf die Ertragsbildung von Kulturpflanzen

Katharina Reibe und Frank Ellmer

Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Acker-und Pflanzenbau, Berlin.
E-Mail: katharina.reibe@agrar.uni-berlin.de

Einleitung

Zur Erhöhung der Kohlenstoffgehalte in Böden kann Biokohle zum Einsatz kommen. Sie entsteht bei der Karbonisierung von organischem Material (z.B. Holz, Maissilage, Stroh, Abfall). Dabei müssen zwei Herstellungsprozesse unterschieden werden. Zum einen das Verfahren der Pyrolyse, bei dem nur trockenes organisches Material eingesetzt werden kann und zum anderen das Verfahren der Hydrothermalen Carbonisierung (HTC), bei dem sowohl feuchtes als auch trockenes Material als Ausgangssubstrat nutzbar ist (Libra et al. 2011). Festes Endprodukt beider Verfahren sind Biokohlen, die je nach Prozess und Ausgangssubstrat unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften aufweisen.

In der Landwirtschaft können positive Effekte der Biokohlen unter anderem die Erhöhung des Wasserhaltekapazität des Bodens, eine Verbesserung des Nährstoffspeichervermögens und letztlich Ertragssteigerungen sein (Kammann et al. 2010; Helfrich et al. 2011).

Zur Quantifizierung des Einflusses von Pyreg-Biokohle und deren Behandlung durch die Zugabe von Gärrest und/oder Stickstoffdüngung auf die Ertragsbildung von Kulturpflanzen wurden zwei Gefäßversuche durchgeführt.

Material und Methoden

Im Sommer 2012 wurden zwei Gefäßversuche in Mitscherlich-Gefäßen begonnen. Die Prüffaktoren waren die Pyreg-Biokohle (A), die Zugabe von Gärrest (B) und eine Stickstoffdüngung (C) in Form von Kalkammonsalpeter mit den jeweiligen Faktorstufen ‚mit` und ‚ohne´. Alle Faktorstufen der Prüffaktoren wurden miteinander kombiniert und sechsfach wiederholt.

Die Biokohle wurde von der Firma PYREG GmbH, Dörth mit dem Verfahren der Pyrolyse aus Holzabfällen hergestellt.

Für die Gefäßversuche wurde der natürliche Boden C-Gehalt (ca. 0,5 %) in den mit Biokohle (Pyreg) versorgten Varianten einheitlich auf 1,0 % erhöht. Bei der Zugabe von Gärrest zur Pyreg-Kohle wurde Gärrest der Firma Bioworks GmbH verwendet. Als mineralischer Stickstoffdünger diente Kalkammonsalpeter mit 1 g je Gefäß.

Im ersten Gefäßversuch wurden nacheinander die Kulturen Gelbsenf-Hafer-Mais und im zweiten Versuch die Kulturen Hafer-Gelbsenf-Mais genutzt, wobei die Gefäße für die folgenden Kulturen wiederverwendet wurden und lediglich erneut Stickstoff gedüngt wurde. Im April 2013 wurden die Versuche abgeschlossen.

Ergebnisse und Diskussion

In beiden Gefäßversuchen ergaben sich deutlich abgestufte Unterschiede zwischen den Behandlungen. In Tabelle 1 sind die Trockenmassen der drei Kulturen des zweiten Gefäßversuchs dargestellt.

Tab 1: Trockenmasseerträge (g je Gefäß) des zweiten Gefäßversuchs (Hafer-Gelbsenf- Mais). Unterschiedliche Buchstaben stellen signifikante Unterschiede dar. ANOVA, Tukey-Test, p<0,05.

Behandlung	Biokohle	Gärrest	N-Düngung	Hafer	Gelbsenf	Mais
1	+	+	+	62,23 a	16,64 a	14,39 a
2	+	+	-	51,37 bc	4,27 de	11,19 abc
3	+	-	+	58,98 ab	14,80 ab	13,39 ab
4	+	-	-	39,82 de	1,18 e	6,25 d
5	-	+	+	44,74 cd	12,00 bc	14,56 a
6	-	+	-	35,93 e	5,53 d	10,72 bc
7	-	-	+	34,53 e	9,95 c	9,94 c
8	-	-	-	24,54 f	2,02 e	5,49 d

Erkennbar ist, dass im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle die reine Zugabe von Pyreg-Biokohle nicht zu konsistenten Ertragssteigerungen führte. Ebenfalls wird ersichtlich, dass die Behandlung 1 bei Hafer und Gelbsenf zu den höchsten mittleren Trockenmasseerträgen geführt hat. Beim Mais erreichte die Behandlung 4 einen unwesentlich höheren Trockenmasseertrag als die Behandlung 1. Es lässt sich auch erkennen, dass die Stickstoffdüngung zu einer Erhöhung der Trockenmasseerträge führte. Die Ergebnisse in Tabelle 1 spiegelten sich mit geringen Abweichungen auch im ersten Gefäßversuch wider (Daten nicht dargestellt).
Sowohl beim Gelbsenf als auch beim Hafer waren in beiden Gefäßversuchen die Interaktionen zwischen Biokohle-Zugabe und Stickstoff-Düngung signifikant. Beim Mais hingegen ergaben sich in beiden Gefäßversuchen keine signifikanten Interaktionen zwischen Biokohle-Zugabe und Stickstoff-Düngung.

Die sehr variablen Ergebnisse der Gefäßversuche zeigen Tendenzen, die deutlich machen, dass weitere Untersuchungen durchgeführt werden müssen, um genaue Aussagen zum Einfluss von Biokohle und deren Behandlung auf die Ertragsbildung von Kulturpflanzen treffen zu können.

Literatur

Helfrich, M., N. Eibisch, H. Flessa (2011): Biokohle in der Landwirtschaft- Potenzial und mögliche Einschränkungen beim Einsatz als Bodenverbesserer und zur Kohlenstoffsequestrierung. First INTERREG NSR Biochar Conference, Berlin, 05./06.10.2011, 1-16.

Kammann, C., L. Grünhage, D. Busch, Ch. Müller, G. Dörger, K. Hanewald, Th. Schmid (2010): Biokohle: Ein Weg zur dauerhaften Kohlenstoff-Sequestrierung. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 1-8.

Libra, J.A., K.S. Ro, C. Kammann, A. Funke, N.D. Berg, Y. Neubauer, M.-M. Titirici, C. Fühner, O. Bens, J. Kern, K.-H. Emmerich (2011): Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. Biofuels, 2, 89-12

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 317–318 (2013)

Einfluss von Zerkleinerungsintensität und Stickstoff auf den Strohabbau am Beispiel von Winterweizenstroh

Paul Schattschneider[1], Stefan Schrader[2], Frank Ellmer[3], Bernd Honermeier[4], Harald Laser[1], Bernhard C. Schäfer[1]

[1] Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest; [2]Thünen-Institut, Institut für Biodiversität, Braunschweig; [3]Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Berlin; [4]Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Gießen. E-Mail: *schattschneider.paul@fh-swf.de*

Einleitung

Die Wirkung der mechanischen Zerkleinerung von Ernterückständen und der Zugabe von mineralischem Stickstoff auf den Abbau von Stroh ist bekannt. Die praktische Bedeutung solcher Maßnahmen zum Zweck der gezielten Strohrotte wird allerdings häufig überschätzt und muss unter dem Gesichtspunkt der Effizienz kritisch hinterfragt werden. In einem Klimakammerversuch wurde deshalb unter kontrollierten Bedingungen die Wirkung der Faktoren Strohzerkleinerung und Stickstoffzugabe auf den Abbau von Winterweizenstroh in Gegenwart von Regenwürmern untersucht.

Material und Methoden

Der Modellversuch (randomisierte Blockanlage, sechs Wiederholungen) wurde im Jahr 2012 durchgeführt. Als Gefäße dienten aufrecht stehende Plastikrohre (Außendurchmesser: 110 mm, Höhe: 500 mm). Das untere Ende der Säulen war durch eine Gaze (Maschenweite 25 µm) verschlossen. In diese Gefäße wurde feldfrischer, auf 2 mm gesiebter und somit gestörter Boden aus dem Ap-Horizont einer langjährig pfluglos bewirtschafteten Ackerfläche (Soester Börde, Pseudogley, Ut3, pH 6,6) entsprechend einer Lagerungsdichte von 1,3 g cm^{-3} eingebracht. Die Bodensäulen lagerten in einer Klimakammer bei 14,5 °C unter permanentem Lichtabschluss (Lowe und Butt 2005). Um evtl. auftretende Staunässe zu vermeiden und der natürlichen Durchlässigkeit eines Bodens weitestgehend nachzukommen, standen die Bodensäulen auf einer Drainage aus Feinsand (Körnung 0 bis 2 mm). In jede Säule wurden zwei Individuen der Regenwurmart *Lumbricus terrestris* nach vorheriger Biomassebestimmung eingesetzt. Die Art ist ein vertikal grabender Zersetzer. Nach einer Akklimatisationsphase von 14 Tagen erfolgte die Anlage der Prüffaktoren (Tab. 1). In jede Säule wurden 7 g TM Winterweizenstroh (Abb. 1) eingebracht und im Anschluss mit 10 ml einer unterschiedlich stark verdünnten AHL-Lösung benetzt.

Tab. 1: Prüffaktoren und Faktorstufen (n=6)

Faktor	Faktorstufen	
1. mechanische Zerkleinerung	1.1	ohne
	1.2	extensiv
	1.3	intensiv
2. mineralischer Stickstoff	2.1	0 kg N ha^{-1}
	2.2	80 kg N ha^{-1}
	2.3	160 kg N ha^{-1}

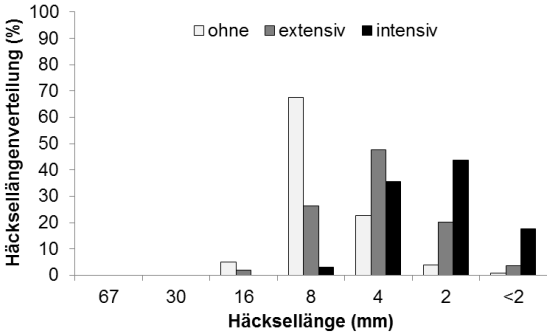


Abb. 1: Häcksellängenverteilung der eingesetzten Substrate

Die Variante 0 kg N ha^{-1} wurde mit 10 ml reinem H_2O benetzt. Bei der mechanischen Zerkleinerung wurde das Stroh in den Stufen extensiv und intensiv unterschiedlich stark in einem Kutter zerkleinert. Die Fraktion „ohne“ wurde lediglich auf ca. 5 cm gekürzt ohne die Gerüststruktur des Strohs zu zerstören. Nach einer Versuchslaufzeit von neun Wochen wurden die Bodensäulen ausgewaschen und das Stroh mit Hilfe eines Siebes (Maschenweite 63 µm) abgeschieden. Die Biomasse der *Lumbricus terrestris* sowie die Trockenmasse des Weizenstrohs wurden bestimmt. Auf Grund einer möglichen Restverschmutzung der Proben wurden diese bei 550 °C verascht und die TM um den Rohaschegehalt korrigiert. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit PROC UNIVARIATE und PROC MIXED in SAS 9.3.

Ergebnisse und Diskussion

Die Biomassebestimmung der Lumbriciden zu Versuchsende ergab eine leichte sowie über die Varianten homogene Abnahme der Lebendmassen von unter 20 % gegenüber den Lebendmassen zu Versuchsbeginn, weshalb von validen Versuchsergebnissen ausgegangen werden kann (Fründ et al. 2010). Für beide Prüffaktoren konnten statistisch gesicherte Hauptwirkungen nachgewiesen werden. Die mechanische Zerkleinerung des Winterweizenstrohs führte mit zunehmender Intensität zu einer signifikanten Zunahme des Strohabbaus (Abb. 2). Die Zugabe von mineralischem Stickstoff bewirkte ebenfalls einen signifikant stärkeren Strohabbau. Allerdings konnte bei einer Steigerung der N-Mengen von 80 kg ha^{-1} auf 160 kg ha^{-1} keine weitere Zunahme der Strohabbauleistung nachgewiesen werden (Abb. 3). Eine Wechselwirkung von mechanischer Zerkleinerung und Zugabe von mineralischem N auf die Strohabbauleistung von Weizenstroh konnte nicht beobachtet werden.

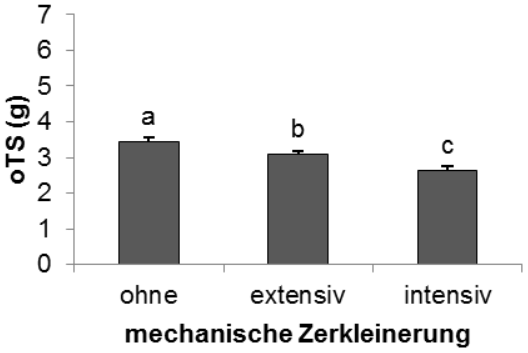


Abb. 2: Strohabbau in Abhängigkeit der mechanischen Zerkleinerung (Mittelwert und Standardfehler, Laborversuch, Winterweizenstroh, Menge 7 g TM ≈ 83 dt TM ha^{-1}). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet (Tukey α=0,05).

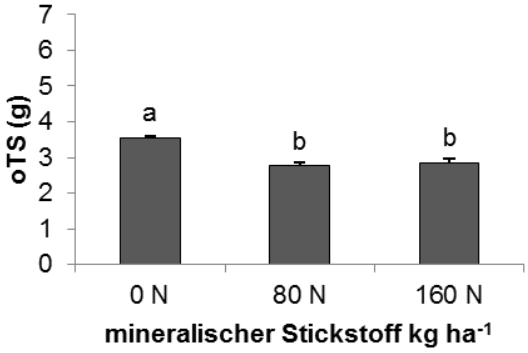


Abb. 3: Strohabbau in Abhängigkeit der Zugabe von mineralischem Stickstoff (Mittelwert und Standardfehler, Laborversuch, Winterweizenstroh, Menge 7 g TM ≈ 83 dt TM ha^{-1}). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet (Tukey α=0,05).

Literatur

Fründ, H.-C.; Butt, K.; Capowiez, Y.; Eisenhauer, N.; Emmerling, C.; Ernst, G.; Potthoff, M.; Schädler, M.; Schrader, S. (2010): Using earthworms as model organisms in the laboratory: Recommendations for experimental implementations. Pedobiologia 53, 119-125.

Lowe, C. N.; Butt, K. R. (2005): Culture techniques for soil dwelling earthworms: A review. Pedobiologia 49, 401-413.

Danksagung

Das Projekt wird durch die BLE mit Mitteln des BMELV und des MKULNV finanziell unterstützt.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 319–320 (2013)

Screening von Amarant-Akzessionen vier verschiedener Spezies hinsichtlich ihres Ölgehaltes unter Süddeutschen Anbaubedingungen

Lisa Schwemmlein[1], Simone Graeff-Hönninger[1] und Wilhelm Claupein[1]

[1] Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Allgemeiner Pflanzenbau, Universität Hohenheim, Stuttgart; E-Mail: Lisa.Schwemmlein@uni-hohenheim.de

Einleitung

Das Interesse an dem aus Südamerika stammenden Amarant (*Amaranthus* spp.) steigt seit einigen Jahren immer weiter an. Einerseits wird die Eignung zur Verwendung als Nachwachsender Rohstoff zur Bioenergieproduktion geprüft, andererseits erfüllt Amarant als glutenfreies Nahrungsmittel die Anforderungen bestimmter Verbraucher, beispielsweise bei Zöliakie-Erkrankung. Darüber hinaus werden Amarant auf Grund der Zusammensetzung der primären und sekundären Inhaltsstoffe noch weitere mögliche positive Eigenschaften, wie Stärkung des Immunsystems, Senkung des Cholesterinspiegels, Reduzierung des Herzinfarkt-risikos, zugeschrieben. Dadurch lässt sich das Pseudogetreide in die Gruppe der Funktionellen Lebensmittel eingliedern. Ein Teil der etwa 60 verschiedenen Amarant-Spezies ist zum Verzehr geeignet (Caselato-Sousa & Amaya-Farfán, 2012). Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Untersuchung des Kornertrages und Ölgehaltes mehrerer Amarant-Akzessionen, die den vier zur Kornnutzung am häufigsten angebauten Spezies *A. caudatus*, *A. cruentus*, *A. hybridus* und *A. hypochondriacus* zugeordnet werden.

Material und Methoden

Im Jahr 2012 wurde ein Feldversuch mit 24 Amarant-Akzessionen der vier oben erwähnten Spezies als Blockanlage mit drei Wiederholungen auf dem Ihinger Hof, Versuchsstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim, durchgeführt (48° 44’ N, 8° 56’ E, 450 - 508 m ü. NN, Niederschlag: 714 mm, mittlere Jahres-temperatur: 9,1 °C). Die Aussaat (100 Körner m^{-2}) erfolgte am 25.05.2012 mit einer Parzellensämaschine (Parzellengröße 2 m x 10 m, Reihenabstand 12 cm). Während der Vegetationsperiode wurde als pflanzenbauliche Maßnahme eine manuelle Unkrautbekämpfung durchgeführt. Die Ernte (manuell: 6 m²; Mähdrusch: 13 m²) fand zur spezifischen Abreife der einzelnen Akzessionen im Oktober 2012 statt. Anschließend wurde sortenreines Korngut von der Handernte durch Drusch mit einer stationären Druschmaschine erzeugt. Nach Trocknung (60 °C; 1,5 - 2 d) erfolgte die Reinigung des Korngutes. Zur Berechnung des Kornertrages ha^{-1} diente zusätzlich die Kornfeuchte (bestimmt durch Gefriertrocknung) nach Reinigung. Die Kornerträge ha^{-1}, jeweils Mittelwerte aus drei Wiederholungen der Handernte, wurden berechnet bezogen auf die absolute Trockenmasse (ATM). Für die Ölgehalt-Analyse wurde das sortenreine Korngut zu Mehl (Maschenweite 0,5 mm) vermahlen und mittels Nahinfrarotspektroskopie untersucht. Die Bestimmung des Ölgehaltes der Kalibrations- und Validationsproben erfolgte durch Soxhlet-Extraktion (5 g Mehl, Lösungsmittel: Petrolether). Die Ergebnisse, jeweils Mittelwerte aus drei Wiederholungen, sind angegeben als Rohölgehalt in Prozent in der Frischmasse im Mehl.

Ergebnisse und Diskussion

Die erzielten Kornerträge mit Werten zwischen 1,92 t ha^{-1} und 4,21 t ha^{-1} waren vergleichbar mit anderen auf die gleiche Weise errechneten Erträgen (Gimplinger et al., 2007). Die Streuung zwischen den Erträgen innerhalb der Spezies war bei *A. hypochondriacus* und *A. cruentus* mit 2,24 bzw. 1,8 t ha^{-1} höher ausgeprägt als bei den anderen zwei untersuchten Spezies. Jedoch lag hier eine größere Anzahl der getesteten Akzessionen vor. Generell wird der Ertrag aus der Berechnung über die Handernte eher überschätzt, da die Kornverluste geringer ausfallen als bei einem Mähdrusch. Die Rohölgehalte lagen zwischen 4,9 % und 7,2 % und somit ebenfalls im erwarteten Bereich (He & Corke, 2003; Gimplinger et al., 2007). Hier zeigten die untersuchten Akzessionen der Spezies *A. hypochondriacus* die höchste Spannweite. Dies bestätigt auch, dass die Gehalte selbst innerhalb einer Spezies teilweise sehr stark variieren können (He & Corke, 2003). Trotzdem scheint die Spezies *A. cruentus* im Vergleich zu den weiteren untersuchten Spezies in der Lage zu sein, höhere Ölgehalte zu produzieren.

Für eine Anbauempfehlung für den Süddeutschen Raum käme daher am wahrscheinlichsten eine Akzession der Spezies *A. cruentus* in Frage. Jedoch sollten auch andere Parameter, wie Toleranz gegenüber niedrigeren Temperaturen, so dass eine frühere Aussaat möglich wäre, und gutes Abreifeverhalten, für eine bessere Mähdruscheignung, mit berücksichtigt werden.

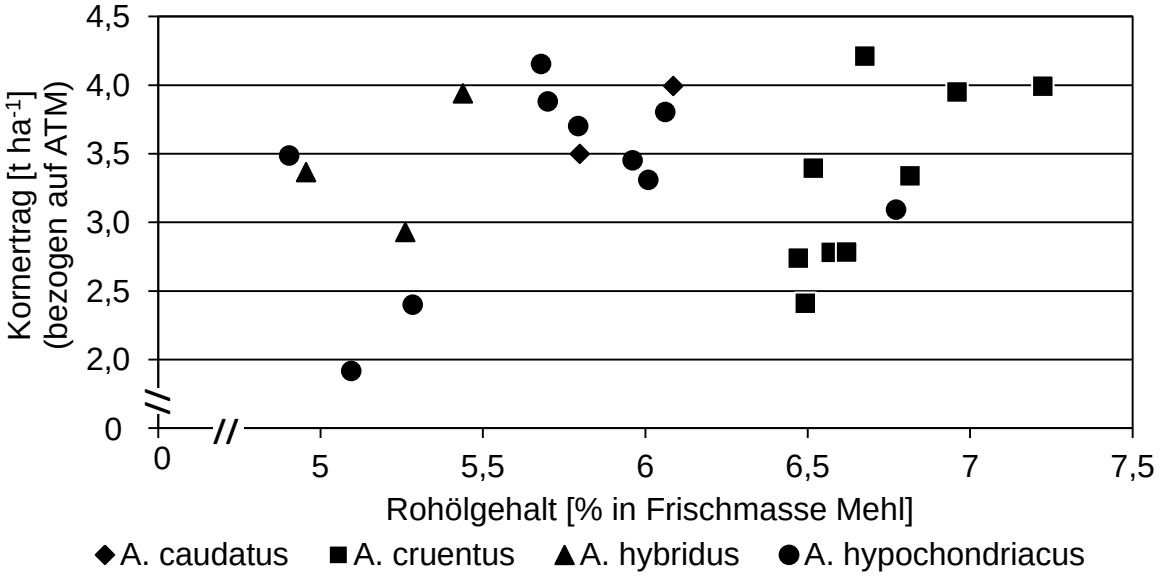


Abbildung 12. Kornerträge t ha^{-1} (bezogen auf absolute Trockenmasse (ATM), Handernte) und Rohölgehalte [% in Frischmasse Mehl] der im süddeutschen Raum im Jahr 2012 angebauten Amarant Akzessionen aus vier verschiedenen Spezies. (Dargestellt sind jeweils Mittelwerte aus drei Wiederholungen).

Literatur

Caselato-Sousa, V. M., Amaya-Farfán, J., 2012. State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. Journal of Food Science 77 (4): 93-104. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02645.

Gimplinger, D. M., Dobos, G., Schönlechner, R., Kaul, H.-P., 2007. Yield and quality of grain amaranth (*Amaranthus* sp.) in Eastern Austria. Plant Soil Environment, 53 (3): 105-112.

He, H.-P., Corke, H., 2003. Oil and squalene in Amaranthus grain and leaf. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 7913-7920.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 321–322 (2013)

Das Konzept des Konservierenden Ackerbaus

Carola Pekrun[1], Thomas Würfel[2], Björn Stauß[1], Karlheinz Köller[3], Alfons Bunk[4], Katharina Weiß[5]

[1] Institut für Angewandte Agrarforschung, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, 72622 Nürtingen; [2] Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, 76227 Karlsruhe; [3] Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart; [4] Landwirtschaftsbetrieb Bunk, 72108 Rottenburg; [5] Landratsamt Tübingen, 72072 Tübingen; E-Mail: *carola.pekrun@hfwu.de*

Einleitung

In der landwirtschaftlichen Praxis findet derzeit eine Entwicklung hin zu intensiverer und tieferer Bodenbearbeitung statt. Aufgrund der hohen und in absehbarer Zeit möglicherweise noch weiter steigenden Preise für Agrargüter besteht die Tendenz intensiver zu arbeiten. Diese Entwicklung läuft den Bestrebungen des Boden- und Gewässerschutzes zuwider. Gleichzeitig könnte diese Intensivierung der Bodenbearbeitung nicht die gewünschten Ertragssteigerungen bringen. Angesichts der in Zukunft mit verstärkter Häufigkeit zu erwartenden Trockenphasen, die sich mit Phasen intensiver Niederschläge abwechseln, könnte es sinnvoller sein, die Bodenbearbeitungsintensität zurückzunehmen, um die Ertragsbildung in Trockenphasen zu fördern und die Regenverdaulichkeit und die Befahrbarkeit des Bodens in Phasen überhohen Wasserangebots zu erhöhen.

Conservation Agriculture

Das Konzept des „Konservierenden Ackerbaus“ („Conservation Agriculture“) stützt sich auf drei Säulen: Minimale Bodenbearbeitung, kontinuierliche Bodenbedeckung durch Anbau von Zwischenfrüchten sowie Belassen von Mulchmaterial an der Bodenoberfläche in Kombination mit einer weiten Fruchtfolge (Hobbs et al., 2008). Erhöhte Regenwurmpopulationen und intensives Wurzelwachstum sollen eine biologische Lockerung und Erweiterung des durchwurzelbaren Horizonts zur Folge haben, eine Mulchschicht auf der Bodenoberfläche die unproduktive Verdunstung verringern. Der wenig oder gar nicht mechanisch bearbeitete Boden soll die Regenverdaulichkeit erhöhen und Erosion vermindern

Das System des Konservierenden Ackerbaus könnte auch unter den Anbaubedingungen Mitteleuropas relevant sein. Es zielt auf eine Erweiterung des effektiven Wurzelraums und damit auf eine erhöhte Wasser- und Nährstoffnutzungseffizienz ab.

Konservierender Ackerbau in Europa?

Dass eine geeignete Fruchtfolge und Zwischenfruchtbau der Schlüssel zum Erfolg von Direktsaat bzw. sehr flacher Bodenbearbeitungsverfahren sein könnte, zeigen die Versuchsergebnisse des Oberackers in Rütti, Zollikofen (Schweiz) (Sturny et al., 2007).

Seit 1994 wird dort Direktsaat mit konventioneller Bodenbearbeitung (jährlich Pflugbearbeitung) verglichen. Entgegen aller Erwartungen und konträr zu den Versuchsergebnissen anderer Autoren sind unter den dortigen Verhältnissen die Erträge bei Direktsaat ebenso hoch, teilweise höher als in den gepflügten Varianten. Erklären kann man sich dieses Ergebnis nur damit, dass in dem dortigen Versuch eine relativ weite Fruchtfolge gefahren wird und Zwischenfruchtanbau wo immer möglich betrieben wird. Die Voraussetzungen für die Direktsaat sind in dem Versuch

somit sehr günstig. Gleich hohe oder höhere Erträge als bei jährlicher Pflugarbeit zeigen, dass der Konservierende Ackerbau nicht nur in Regionen mit regelmäßigem Wasserstress das Potential der Ertragssteigerung besitzt, sondern auch in Regionen, wo i.d.R. während der Vegetationsperiode ausreichend Wasser zur Verfügung steht.

Nicht nur die Versuchsansteller am Oberacker in der Schweiz haben gute Erfahrungen mit ständiger Bodenbedeckung bei Direktsaat gemacht. Auch in ökologisch wirtschaftenden Betrieben zeigt sich, dass flache, nicht wendende Bodenbearbeitung immer dann möglich ist, wenn eine weite Fruchtfolge gefahren wird und Mulchmaterial der Unkrautunterdrückung dient. Einige wenige ökologisch wirtschaftende Landwirte führen sogar Direktsaat durch, zumindest temporär, wie auch in Projekten von Köpke und Co-Autoren getestet.

Versuchsansatz zum Konservierenden Ackerbau

In einem Konsortium aus Praktikern, Beratern und Wissenschaftlern wurde ein Versuchskonzept zum Konservierenden Ackerbau entwickelt. In diesem soll die Ertragswirkung des Konservierenden Ackerbaus geprüft werden. Gleichzeitig sollen die ökologisch relevanten Messgrößen untersucht worden, insbesondere im Hinblick auf die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie.

Hierzu sollen Versuche an möglichst vielen Standorten angelegt werden: auf Praxisbetrieben jeweils ohne Wiederholungen und in Versuchsbetrieben mit Wiederholungen. Da Landwirte ihre Fruchtfolge für ein derartiges Projekt nicht dauerhaft abändern würden, sollen in dem Projekt jeweils Systeme mit intensivem Zwischenfruchtbau und ohne Zwischenfruchtbau getestet werden. Hierbei sollen nach Möglichkeit Zwischenfruchtmischungen eingesetzt werden, um die Vielfalt der Wirkungen unterschiedlicher Zwischenfruchtarten auf den Boden nutzen zu können.

Mit dem geplanten Vorhaben sollen die folgenden Hypothesen geprüft werden:

1) Durch intensiven Anbau von Zwischenfruchtgemengen können in einem System mit Direktsaat ebenso hohe oder höhere Erträge erzielt werden wie bei betriebsüblicher Bodenbearbeitung.
2) Die erhöhte Biodiversität führt zu verminderten Unkrautproblemen sowie einem verminderten Auftreten von bodenbürtigen Schaderregern und Krankheiten. Auf einen Teil der Pflanzenschutzmaßnahmen kann deshalb verzichtet werden.
3) Die kontinuierliche Bodenbedeckung führt zu einer Verringerung der Bodenerosion und der Nitratauswaschung ins Grundwasser.
4) Der intensive Zwischenfruchtbau und die Bodenruhe führen infolge von biologischer Lockerung zu einer verbesserten Bodenstruktur (Eindringwiderstand, Tiefe der Durchwurzelung, Regenwurmaktivität).

Literatur

Hobbs, P.R., Sayre, K., Gupta, R. 2008: The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B **363**, 543-555.

Sturny et al., 2007: Direktsaat und Pflug im Systemvergleich – eine Synthese. Agrarforschung 14, 350-357.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 323–324 (2013)

Development of post-harvest strategies for oilseed rape (*Brassica napus*) to control volunteers in following crops

S. Huang, S. Gruber, E.A. Weber & W. Claupein

Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Fruwirthstr. 23, 70599 Stuttgart,
E-Mail: *shuang@uni-hohenheim.de*

Introduction

Oilseed rape (OSR, *Brassica napus*) seed can develop secondary dormancy when they drop onto the soil before and during harvest, and can then result in a big soil seed bank and problematic volunteers in following crops for several years. Various measures have been studied and tried to tackle the above problems in agricultural practice, in which post-harvest stubble tillage was proved to be the key to control the number of OSR seeds that survive in the soil; timing of stubble tillage was more important than depth in controlling seedlings and soil seed bank (Gruber et al., 2010). Though there is evidence that immediate stubble tillage (8-10cm depth) after OSR harvest will result in a big soil seed bank, and 4 weeks delayed stubble tillage could strongly minimize the soil seed bank, little information is available about what happens within the first four weeks. Additionally, stubble tillage would be beneficial during this time e.g. in terms of water saving, weeds and disease control if there were not the risk to raise the OSR soil seed bank. In order to find out the suitable timing and depth of stubble tillage after OSR harvest on reducing seedlings and the soil seed bank, a field experiment was set up at the University of Hohenheim in 2012.

Materials and Methods

A two-factorial field experiment was conducted at the experimental field “Goldener Acker” of the University of Hohenheim, South West Germany in 2012. 5,000 seeds m^{-2} of the high-dormancy winter oilseed rape variety Cindi were broadcast on field plots of 4×10m size in September 2012 to simulate a scenario of average harvesting seed loss. The soil was then tilled in two different tillage depths (non-inversion tillage) of 1cm (curry comb) and 6 cm (chisel plough) at five dates (immediately; 1, 2, 3, 4 weeks after harvest; 3rd, 10th, 17th, and 24th September; 1st October) with three replicates. OSR seedlings were counted on the field once on 10×0.1m^2 per plot in October 2012. After counting the seedlings, primary tillage was performed by a mouldboard plough (inversion tillage) at 25cm depth on 13th December 2012. Faba beans (*Vicia faba*) were sown on the area on 4th April 2013. Finally, 40 soil samples per plot were taken by random by an auger with a diameter of 11×15mm in three soil layers (0-10, 10-20, 20-30cm) on May 6th and 8th 2013, and frozen for storage over two weeks. The seeds were then washed out from soil samples with a 4mm and a 1mm sieve to determine the OSR soil seed bank.

Results and Discussion

The number of OSR seedlings between stubble and primary tillage was smaller the longer was the duration of the untilled fallow. Seedling numbers varied from 147 to 550 seeds m^{-2} corresponding to 3% to 11% of the broadcast seeds for the treatment “1cm”. The treatment “6cm” resulted in 10 to 1590 seedlings m^{-2}, which represents 0.2% to 32% of the total seed input (Table.1).

Table 1. Number of volunteer seedlings of winter oilseed rape on the stubble (emerged from initially 5,000 seeds m^{-2} broadcast), as effect of varied timing of stubble tillage by non-inversion tillage at 1cm and 6cm depth.

Depth of tillage	Time (weeks) between broadcasting the seeds and stubble tillage				
	zero	one	two	three	four
	Number of seedlings m^{-2}				
1 cm	550	210	209	147	299
6 cm	1590	352	39	12	10

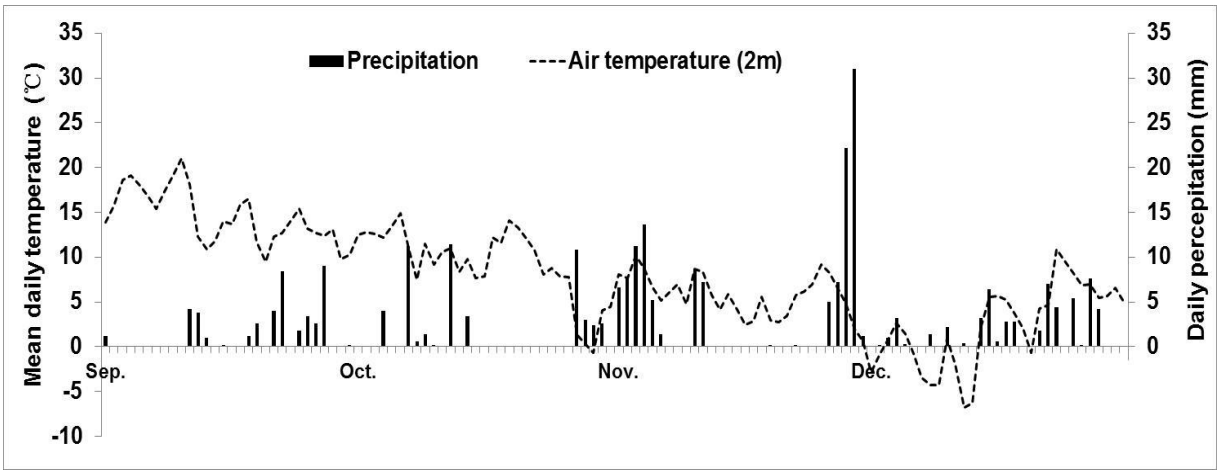


Fig. 1. Daily precipitation and air temperature at 2m height at the experimental field in Hohenheim from September to December 2012, (LTZ, 2013).

In contrast to previous studies (Gruber et al. 2010), no soil seed bank was found in all the treatments of this experiment, a fact which is not easy to explain, especially as the variety used for the experiment was a high-dormancy variety. The most important difference to previous experiments was the late soil inversion tillage in December by a mouldboard plough instead of ploughing in October before sowing winter wheat. The weather data did not show unusual conditions during the first four weeks when the tillage operations were performed (Fig. 1). Unusual, however, were the high precipitation in late November and the high temperature in late December, following to a cold period, which maybe partially accounted for the empty OSR soil seed bank by providing conditions that could have broken dormancy. In addition, maybe the high precipitation and cool temperatures in the whole spring 2013 (data now shown) have broken the dormancy of seeds buried in the deep soil which might have then fatally germinated. The experiment is still in progress and will be repeated at different locations, so the results could be checked next year.

Literatur

Gruber S., Bühler A., Möhring J., Claupein W. (2010). Sleepers in the soil - vertical distribution by tillage and long-term survival of oilseed rape seeds compared with plastic pellets. European Journal of Agronomy 33:81-88.

LTZ (2013). Wetterdaten - Inforservice Pflanzenbau & Pflanzenschutz. Infodienst der Landwirtschaftsverwaltung Baden-Württemberg, LTZ Augustenberg, www.wetter-bw.de (access 5/2013).

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 325–326 (2013)

Kann unter trockenen Aussaatbedingungen sekundäre Dormanz Ursache für verminderte Feldaufgänge bei Winterraps sein?

Ernst Albrecht Weber[1], Paul Wassermann[1], Sabine Gruber[1], Wilhelm Claupein[1]

[1] Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, 70599 Stuttgart.
E-Mail: *Ernst.Albrecht.Weber@uni-hohenheim.de*

Einleitung

Rapssamen besitzen die sortenspezifische Eigenschaft unter Trockenheit und Lichtausschluss dormant zu werden. Diese Fähigkeit ist hauptverantwortlich für die Überdauerung von Rapssamen im Boden und die damit verbundenen hinlänglich bekannten Probleme von Durchwuchsraps in der Fruchtfolge. Auch bei der Winterrapsaussaat im Spätsommer ist es denkbar, dass Dormanz induziert werden kann, wenn unter trockenen Aussaatbedingungen gesät wird. Dies könnte einen verminderten Feldaufgang zur Folge haben, obwohl die Keimfähigkeit des Saatguts den hohen Anforderungen entspricht. In einem kombinierten Labor- und Feldversuch wurden deshalb der Einfluss der Rapssorte und deren Dormanzneigung auf den Feldaufgang unter trockenen Aussaatbedingungen untersucht.

Material und Methoden

Zehn Winterrapssorten (Linien) wurden mit dem Hohenheimer Dormanztest (Weber et al. 2010) auf ihre Dormanzneigung geprüft. Dieselben Sorten wurden im Feld (Goldener Acker, Hohenheim, Bodenart uL bis tL) in einer Blockanlage mit 4 Wiederholungen am 30.08.2012 mittels einer Saatschablone von Hand ausgesät (48 keimfähige Samen pro m², sortenbedingte Keimfähigkeit 98-100%; Aussaattiefe 2 cm; ungebeiztes Saatgut, Ausnahme Sorte Tasman). Trockene Aussaatbedingungen wurden geschaffen, indem die Versuchsfläche 7 Tage vor und nach der Aussaat mittels Folientunnel abgedeckt wurde (Bodenfeuchtegehalt in 0-10 cm Bodentiefe 15%). Der Feldaufgang wurde am 16. Oktober 2012 ca. 6 Wochen nach der Aussaat des Rapses bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgte mit den Prozeduren MIXED und CORR des Softwarepakets SAS 9.3 (SAS Institute, Cary NC).

Ergebnisse und Diskussion

Die sortenbedingte Dormanz bewegte sich im Labortest zwischen 0% und 90% (nicht dargestellt). Die Sorten Cindi, NK Diamond und Goya bildeten mit Werten von 79% bis 90% die Gruppe der am höchsten dormanten Sorten. Ein mittleres Dormanzniveau (20-35%) zeigten die Sorten Arabella, Fashion und Lorenz, und die Sorten Galileo, Vitara, Pamela und Tasman bildeten die Gruppe mit geringer Dormanzneigung mit Werten unter 10%.

Der mittlere Feldaufgang war unter den trockenen Aussaatbedingungen mit ca. 45% generell gering, jedoch traten deutliche Sortenunterschiede mit einer Spannbreite von 32% bis 65% auf (Abb. 1). Die höchsten Feldaufgänge mit Werten zwischen 55% und 65% erreichten die hoch dormante Sorte Cindi sowie die gering dormanten Sorten Pamela und Tasman. Diese Gruppe unterschied sich damit von allen anderen Sorten, deren Feldaufgänge mit Werten zwischen 32 und 42% auf einem signifikant niedrigeren Niveau lagen.

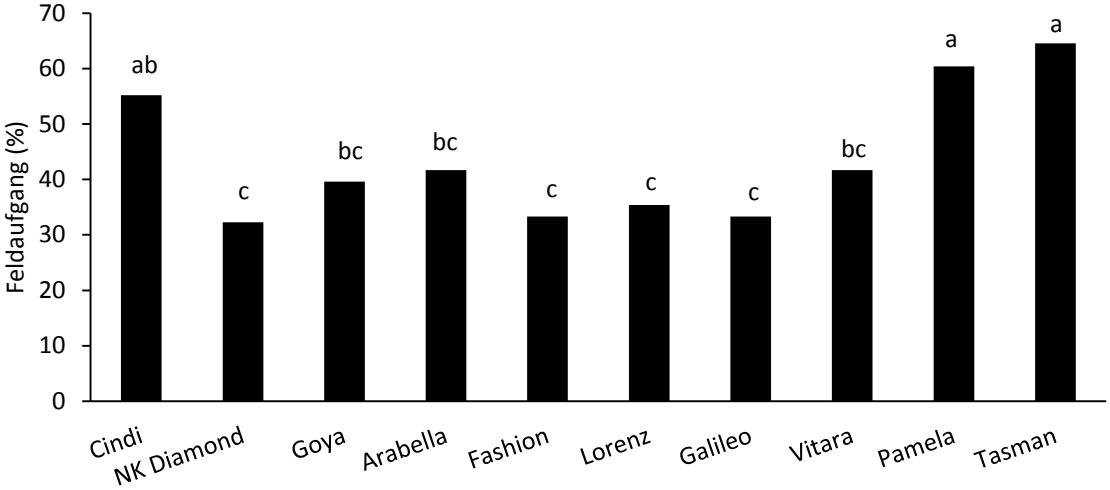


Abb. 1 Feldaufgänge (prozentualer Anteil aufgelaufener Samen zur Zahl ausgesäter Samen pro Flächeneinheitam 16.=ktober 2012) der zehn Winterrapssorten ca. sechs Wochen nach der Aussaat. Reihenfolge der Sorten im Diagramm entsprechend ihres Dormanzniveaus von links nach rechts abnehmend. Feldaufgänge der Sorten mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (α = 5%; t-Test).

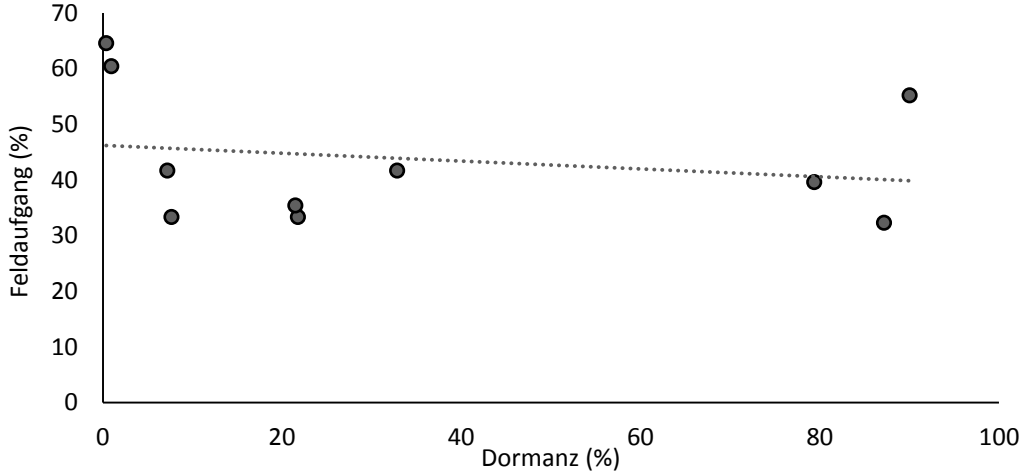


Abb. 2. Korrelation zwischen dem Dormanzpotenzial der geprüften Winterrapssorten und dem Feldaufgang ca. 6 Wochen nach der Aussaat (R^2 = 0,05ns).

Zwischen der Dormanzneigung und dem Feldaufgang bestand jedoch keine Korrelation (Abb. 2), so dass geringe Feldaufgänge bei der Aussaat im Spätsommer nicht grundsätzlich als Resultat erhöhter sortenspezifischer Dormanzneigung angesehen werden können. Möglicherweise führten die anfänglich ungünstigen Keimbedingungen bei einem Teil der Samen zum Verlust der Keimfähigkeit oder zum raschen Absterben der jungen Keimlinge, noch ehe die Keimblätter die Bodenoberfläche erreicht hatten. Die genauen Gründe, die zur sortenbedingten Variabilität der Feldaufgänge führten, sollen weiter untersucht werden.

Literatur

Weber E.A., Frick, K., Gruber, S., Claupein, W., 2010. Research and development towards a laboratory method for testing the genotypic predisposition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) to secondary dormancy. Seed Science and Technology 38, 298-310.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 327–328 (2013)

Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Wurzelverteilung und Ertragsbildung von Triticale (*Triticosecale*)

Katharina Hey, Catharina Meinen und Rolf Rauber

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen. E-Mail: Katharinahey@web.de

Einleitung

Reduzierte und konventionelle Bodenbearbeitung unterscheiden sich in der Bodenbearbeitungsintensität. Die reduzierte Bodenbearbeitung, die sich durch eine geringe Intensität des Eingriffs in den Boden und eine an der Bodenoberfläche befindliche Mulchschicht auszeichnet, birgt im Vergleich zu der konventionellen Bodenbearbeitung mit dem Wendepflug einige Vorteile. Dies sind unter anderem eine verringerte Erosion, erhöhte Wasserspeicherung, weniger Nährstoffverluste, geringerer Treibstoffverbrauch und ein geringerer Zeitanspruch bei der Bodenbearbeitung (Peigne et al. 2007). Im folgenden Experiment sollte untersucht werden, inwieweit die Bodenbearbeitung die Wurzelverteilung und Ertragsbildung von Triticale beeinflusst.

Material und Methoden

Eine Dauerversuchsfläche im Leinetal (Lösslehm), auf der seit 1970 eine differenzierte Bodenbearbeitung mit den Varianten „gepflügt“ und „reduziert“ stattfindet, wurde genutzt um im Jahr 2012 einen Feldversuch anzulegen. Es wurde Sommertriticale (Sorte Somtri) gesät und konventionell bewirtschaftet. Neben der Bestimmung einiger bodenspezifischer Parameter wie Bodeneindringwiderstand, Bodenwassergehalt, Bodentemperatur und Nmin wurde im Vegetationsverlauf an drei Terminen (Mai, Juni, Juli) die oberirdische Biomasse geerntet und Wurzelproben bis in eine Bodentiefe von 60 cm auf und zwischen den Saatreihen entnommen. Es wurde die Sprosstrockenmasse sowie die Wurzellängendichte und die Wurzeltrockenmasse bestimmt. Zum Zeitpunkt der Reife wurde der Versuch im August 2012 beerntet und der Kornertrag erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Die Wurzeltrockenmasse von Triticale unterschied sich zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten reduziert und gepflügt an keinem der drei Zeitpunkte im Vegetationsverlauf signifikant voneinander (Abb. 1). Vom Stadium des Schossens bis zum Stadium der Blüte nahm die Gesamt-Wurzeltrockenmasse beider Varianten stark zu. Von der Blüte bis zur Kornfüllung hingegen war die Gesamt-Wurzeltrockenmasse wieder leicht rückläufig. Entgegen dieser Entwicklung zeigte die reduzierte Variante in der Tiefe von 0 bis 10 cm einen Zuwachs von der Blüte bis zur Kornfüllung und hatte damit eine höhere, jedoch nicht signifikant höhere Wurzeltrockenmasse als die gepflügte Variante. Bei der gepflügten Variante kam es im gleichen Zeitraum in dieser Bodentiefe zu einer Abnahme der Wurzeltrockenmasse.

Die Sprosstrockenmasse der Triticale unterschied sich zunächst im Vegetationsverlauf (Schossen, Blüte) ebenfalls nicht signifikant zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten reduziert und gepflügt (Tab. 1b). Erst im Stadium der Reife erzielte die Triticale bei reduzierter Bodenbearbeitung einen signifikant höheren

Sprosstrockenmasseertrag. Auch der Kornertrag war bei „reduziert“ signifikant höher als bei „gepflügt“.

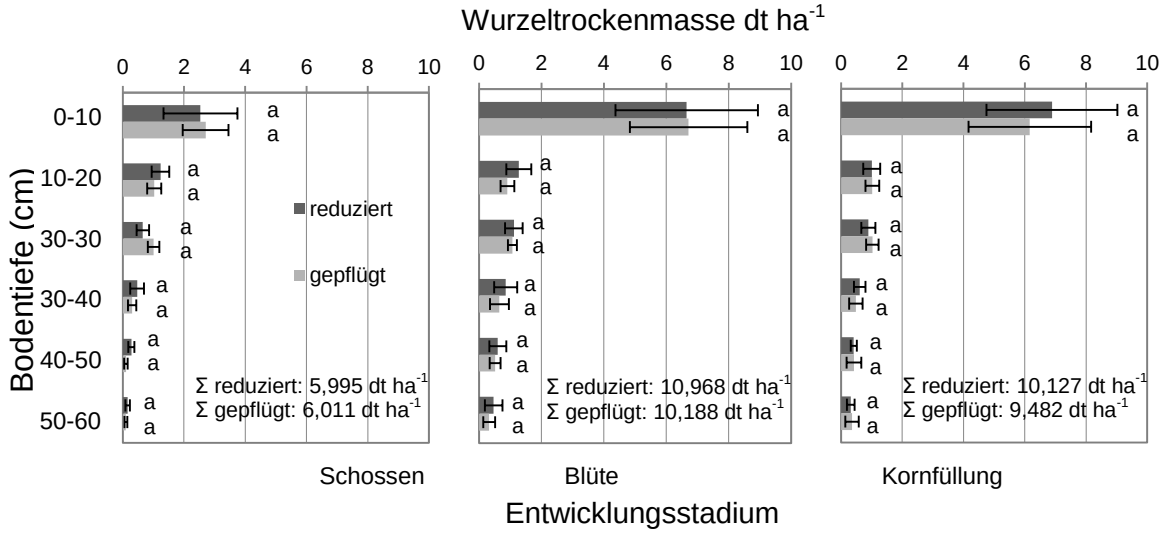


Abbildung 1: Wurzeltrockenmasse (dt ha^{-1}) von Triticale bei differenzierter Bodenbearbeitung (reduziert und gepflügt) zu drei Zeitpunkten (Schossen, Blüte, Kornfüllung) im Versuchsjahr 2012 in den Tiefenstufen 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 und 50-60 sowie als Summe (Σ) von 0-60 cm. Die dargestellten Werte beziehen sich auf die Mittelwerte der Einstiche auf der Reihe und zwischen der Reihe. Dargestellt sind die Mittelwerte ± Standardabweichung. Werte mit gleichen Kleinbuchstaben innerhalb einer Tiefenstufe sind nicht signifikant verschieden, P ≤ 0,05, Tukey-Test.

Bei der reduzierten Variante war der Nmin-Gehalt im Boden zu den Probenahmezeitpunkten Blüte und Kornfüllung höher im Vergleich zur gepflügten Variante (Tab. 1a). Zum Zeitpunkt Kornfüllung war dieser Unterschied statistisch signifikant. Demnach stand in den reduziert bearbeiteten Parzellen mehr Stickstoff zur Verfügung als in den gepflügten Parzellen, wodurch sich in Verbindung mit der etwas höheren Wurzeltrockenmasse im Stadium der Kornfüllung bei der reduzierten Variante die Ertragsunterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten erklären lassen könnten.

Tabelle 1: Einfluss der langjährigen Bodenbearbeitung (reduziert und gepflügt) auf **a.** den Nmin-Gehalt des Bodens (kg N ha^{-1}) in 0-90 cm Tiefe zu drei Entwicklungsstadien der Triticale und **b.** die Trockenmasseerträge (dt TM ha^{-1}) in den Entwicklungsstadien Blüte, Kornfüllung und Reife (gesamter oberirdischer Aufwuchs) sowie den Kornertrag von Triticale im Versuchsjahr 2012. Statistische Vergleiche beziehen sich auf die Varianten „reduziert“ und „gepflügt“ für jeden Zeitpunkt. Werte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikant verschieden, P ≤ 0,05, Tukey-Test.

Stadium	**a.** Nmin (kg N ha^{-1})	
	reduziert	gepflügt
Veg.Beginn*)	10,3a	12,6a
Schossen	39,9a	39,6a
Blüte	17,0a	11,5a
Kornfüllung	13,7a	10,5b

Stadium	**b.** TM (dt ha^{-1})	
	reduziert	gepflügt
Schossen	20,2a	23,3a
Blüte	91,2a	98,5a
Reife	151,3a	137,0b
Kornertrag	62,5a	52,6b

*) 0-30 cm

Literatur

Peigne, J., Ball, B.C., Roger-Estrade, J., David, C. 2007: Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. Soil Use and Management 23, 129-144.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 329–330 (2013)

Regulation von Unkräutern im ökologischen Maisanbau durch Untersaaten

Rüdiger Jung[1] und Rolf Rauber[1]

[1] Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Göttingen. E-Mail: *rjung@uni-goettingen.de*

Einleitung

Im ökologischen Maisanbau ist der Einsatz von Untersaaten eine Möglichkeit, der häufig auftretenden Mittel- und Spätverunkrautung zu begegnen. In einem dreijährigen Forschungsprojekt (2011 bis 2013) der Georg-August-Universität Göttingen in Kooperation mit der KWS Saat AG (Einbeck) werden an zwei Standorten im südlichen Niedersachsen verschiedene Untersaaten verglichen: Welsches Weidelgras, Wegwarte (blattreiche Futterform), Winterroggen, Erdklee und Buchweizen. Günstige Kombinationen aus Mais-Genotyp und Untersaaten sollen identifiziert werden, die im Hinblick auf die Unkrautunterdrückung und Mais-Ertragsbildung gut harmonieren. Das pflanzenbauliche Teilprojekt (FKZ 10OE108) ist Bestandteil des BÖLN-Projektes „Entwicklung von Maissorten für den Ökologischen Landbau“ (FKZ 10OE074).

Material und Methoden

Mehrfaktorielle Feldversuche mit vierfacher Wiederholung wurden 2011 und 2012 an den Standorten Reinshof (Versuchsgut Universität Göttingen) und Wiebrechtshausen (KWS Saat AG) angelegt. An beiden Standorten dominieren schluffreiche, lehmige Böden. Beschreibungen zu den verwendeten Maissorten und Untersaat-Varianten finden sich in JUNG & RAUBER (2012). Die Mais-Aussaat erfolgte in den zwei Versuchsjahren zwischen dem 2. und 11. Mai, die Untersaaten wurden zwischen dem 7. und 15. Juni etabliert. Bis zum Saattermin der Untersaaten wurden die Unkräuter in den Maisbeständen praxisüblich mechanisch reguliert. Danach wurde bis zur Körnermais-Ernte (Oktober oder November) nur noch eine von zwei Kontrollvarianten von Unkräutern befreit. Die unkrautunterdrückende Wirkung der Untersaaten wurde durch die Erhebung der Bodendeckungsgrade (Juli bis Oktober) sowie anhand der TM-Ertragsmengen an drei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten (August bis Oktober) bestimmt. Die Konkurrenz der Untersaaten und Unkräuter auf die Deckfrucht Mais wurde während der Vegetationsperiode mit Messungen der relativen Grünfärbung der Maisblätter (SPAD-502, Fa. Konica-Minolta) abgeleitet. Zusätzlich wurden die Körnermais-Erträge ermittelt (Parzellen-Mähdrusch mit NIRS).

Ergebnisse und Diskussion

Die mittlere Bodenbedeckung und die Fähigkeit zur Unkrautunterdrückung variierten zwischen den geprüften Untersaat-Arten. Welsches Weidelgras und Wegwarte zeigten hohe Bodendeckungsgrade (maximal 65 %), die häufig noch spät im Oktober über 60 % lagen (Wegwarte in Abb. 1A). Ferner wurden im September und Oktober bei Wegwarte die geringsten Unkraut-Deckungsgrade (Abb. 1) und die niedrigsten Unkraut-TM-Erträge beobachtet (Abb. 2). Winterroggen starb wiederholt früh ab. Die Unkräuter unter Winterroggen konnten somit im September und Oktober wieder an Boden gewinnen, so dass der Deckungsgrad (Abb. 1B) und TM-Ertrag (Abb. 2) der Unkräuter hier annährend den Wert der Kontrolle erreichten. Erdklee bildete wenig Grünmasse (maximal 17 g m^{-2}; Deckungsgrad 52 %). Dennoch wurde in der Erdklee-Reinsaat relativ wenig Unkraut angetroffen. Buchweizen zeigte in allen vier Um-

welten hohe Massenzuwächse (bis zu 56 g m^{-2}), ging jedoch zumeist nach der Blüte ins Lager. Nach den bisher vorliegenden Daten unterdrückte Wegwarte die Unkräuter am effizientesten (Abb. 1A, 2), wohingegen Winterroggen insbesondere die Mittel- und Spätverunkrautung kaum beeinflusste (Abb. 1B, 2).

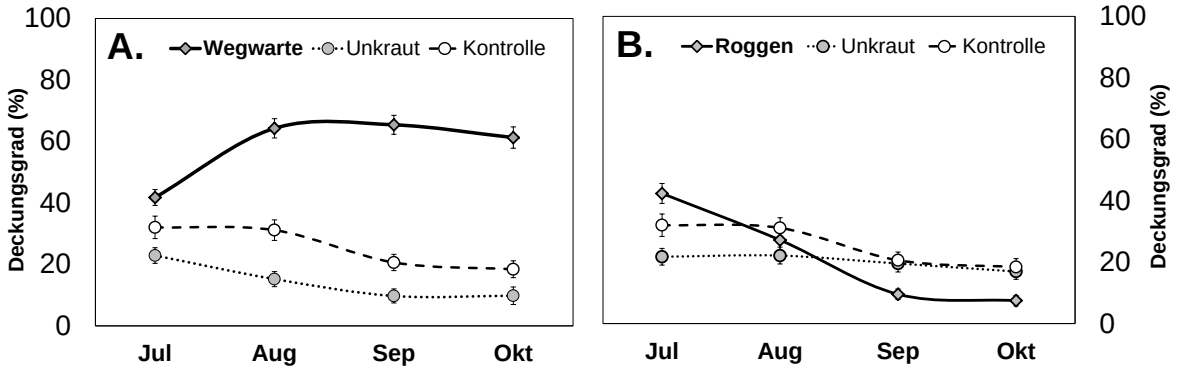


Abb. 1: Deckungsgrad (%) von Wegwarte (A) und Winterroggen (B) sowie der jeweiligen Unkräuter. Kontrolle: Unkräuter ohne Untersaat. Arithmetische Mittelwerte über zwei Standorte und zwei Versuchsjahre ± Standardfehler.

Die untersuchten Gemengesaaten mit Wegwarte zeigten im Vergleich mit den Reinsaaten keine Verbesserungen hinsichtlich der Unkrautunterdrückung. Am Standort Reinshof wurden im Jahr 2012 verhältnismäßig hohe Abundanzen bei zwei perennierenden Unkrautarten angetroffen, *Cirsium arvense* und *Equisetum arvense*. Die Massenbildung der Unkräuter war vergleichsweise hoch - im Mittel 47 g m^{-2} in der Kontrolle. Dennoch konnten die Untersaaten hier zu einer Reduktion des Unkrautwuchses beitragen (im Mittel 34 g m^{-2}). Der Ertrag des Körnermaises betrug 2012 am Standort Reinshof im Mittel über alle Varianten 125,8 dt ha^{-1} (86 % TS) und in Wiebrechtshausen 138,6 dt ha^{-1}. Bei den Kontrollvarianten ohne Untersaaten wurden nur selten höhere Korn-Erträge als bei den Varianten mit Untersaaten beobachtet. Im Gegensatz dazu zeigte die Kontrollvariante 2 (mit Unkrautregulierung) standortübergreifend zu jedem Termin die höchsten SPAD-Werte. Diese Ergebnisse verweisen zwar auf eine Konkurrenzsituation zwischen den Untersaaten und der Deckfrucht, jedoch waren die Auswirkungen auf den Mais-Kornertrag gering.

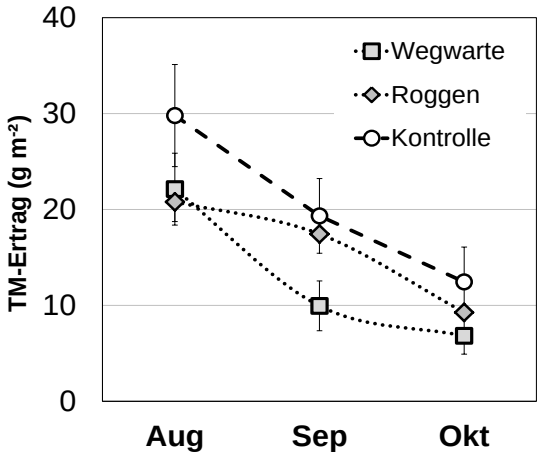


Abb. 2: TM-Ertrag der Unkräuter in Wegwarte und Winterroggen im Vergleich zur Kontrolle ohne Untersaaten. Arithmetische Mittelwerte über zwei Standorte und zwei Jahre ± Standardfehler.

Literatur

Jung, R. & R. Rauber, 2012: Reduzierung der Verunkrautung durch Untersaaten in Ökomais. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24, 264-265.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 331–332 (2013)

Reduzierte Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau – Erfahrungen mit dem Ecodyn- Kultivator aus On-Farm Feldversuchen in Südengland

Thomas F. Döring[1,2], Oliver Crowley[1,3], Jo Smith[1]

[1]Organic Research Centre, Hamstead Marshall, RG20 0HR, Großbritannien; [2]Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Humboldt Universität zu Berlin, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin-Dahlem. [3]Department of Geography and Environmental Science, The University of Reading, Whiteknights, PO Box 227, Reading, RG6 6AB, Großbritannien. E-Mail: *thomas.doering@agrar.hu-berlin.de*

Einleitung

Pfluglose Bodenbearbeitung bietet aufgrund von reduziertem Energieverbrauch und verbessertem Bodenschutz große Vorteile im Ackerbau, stellt jedoch für ökologische Landbausysteme eine große Herausforderung dar (Peigné et al. 2007; Berner et al. 2008; Schmidt 2010; Wilhelm 2010). Dabei werden Probleme reduzierter Bodenbearbeitung vielfach in der Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen und in einem verstärkten Unkrautbesatz gesehen (z.B. Peigné et al. 2007).

Um Möglichkeiten und Probleme der Einführung pflugloser Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau zu evaluieren, wurde in Südengland ein On-farm Versuch zum Vergleich von wendender und nicht wendender Bearbeitung über drei Jahre durchgeführt.

Material und Methoden

Die Feldversuche fanden auf lehmig bis lehmig-tonigem Boden in Südengland bei Tetbury auf einem seit 1996 ökologisch wirtschaftendem Betrieb statt (51°39'N, 2°09'W, 142m üNN). Drei Feldstücke (durchschnittliche Fläche 5.2ha) wurden etwa mittig geteilt und jeweils eine Hälfte zufällig dem Prüfglied ‚nicht-wendend' zugeteilt. Eine flache nicht-wendende Bodenbearbeitung (bis ca. 7-8 cm Tiefe mit dem Ecodyn Kultivator, Firma Friedrich Wenz, http://www.eco-dyn.com/) wurde mit dem Einsatz des Schälpfluges verglichen.

Das Pflügen erfolgte dabei praxisüblich aufgrund des relativ flachgründigen Bodens auf vergleichsweise geringer Tiefe (ca. 15 cm). Auf den Parzellen wurden in 2010 Hafer, in 2011 Sommergerste und in 2011/12 Winterroggen angebaut. Ertragsmessungen erfolgten in jedem Versuchsjahr an vier Positionen je Parzelle auf jeweils 1 m^2. Daneben wurden verschiedene Parameter zu Unkrautbedeckung und im Jahr 2010 der Dieselverbrauch erhoben.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigten, dass im Vergleich zum Pflug deutliche Einsparungen im Dieselverbrauch gelangen (14 L ha^{-1} in der Ecodyn Variante gegenüber 48.2 L ha^{-1} in der gepflügten Variante). Daneben waren auch Reduktionen in der aufgewendeten Arbeitszeit zu erzielen. Hinsichtlich Spätverunkrautung zeigten sich in keinem der Versuchsjahre signifikante Unterschiede zwischen den beiden Varianten der Bodenbearbeitung.

Bei den Sommerungen konnten bei der pfluglosen Variante keine Ertragsänderungen gegenüber der gepflügten Variante gefunden werden (Abb. 1). Wahrscheinlich aufgrund von ausgeprägter Frühjahrstrockenheit in den Jahren 2010 und 2011 zeichneten sich die Sommerungen in der Ecodyn-Variante durch besseren

Feldaufgang und schnellere Jugendentwicklung aus. Diese Unterschiede führten jedoch wegen kompensatorischen Wachstums in der Pflugvariante nicht zu unterschiedlichen Erträgen zwischen den Varianten.
Allerdings wurde bei Winterroggen in 2012 eine starke und signifikante Ertragsminderung bei reduzierter Bodenbearbeitung beobachtet (Abb. 1). Diese kann vermutlich auf eine Verdichtung im Oberboden durch den Ecodyn zurückgeführt werden, die nach Starkniederschlägen im Herbst 2011 zu einem temporären Luftausschluss im Wurzelbereich führte. Im Vergleich dazu lag die Pflugsohle bei ca. 15 cm in ausreichender Tiefe, um eine solche Situation zu verhindern.

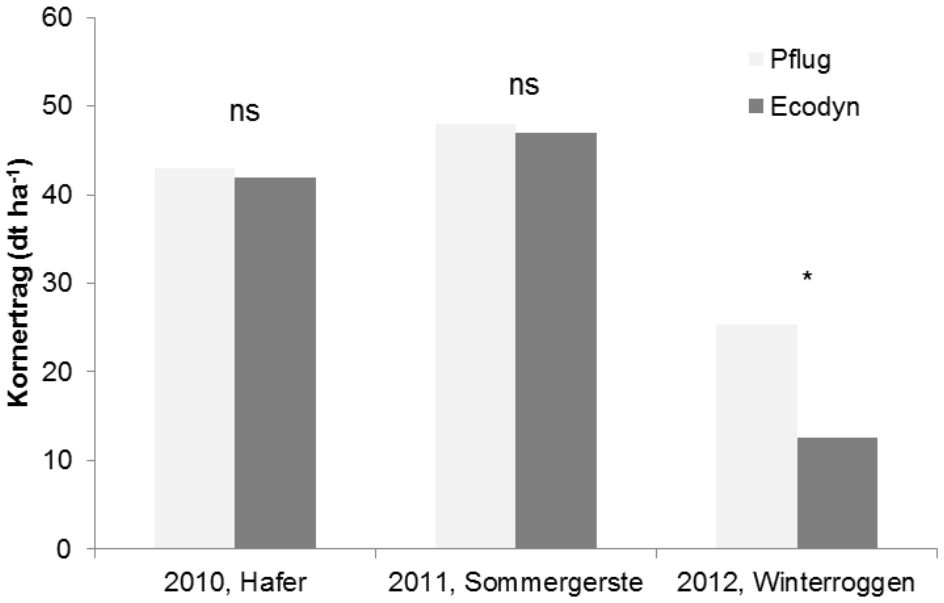


Abb. 1. Kornerträge (dt ha^{-1}) in Hafer (2010), Sommergerste (2011) und Winterroggen (2012) im Vergleich von gepflügter und nicht-wendender Bodenbearbeitung auf einem ökologisch wirtschaftenden Betrieb in Südengland; ns: nicht signifikant, *: p>0,05 (t-test).

Die Untersuchung zeigt, dass (weitere) Innovationen in der Agrartechnik erforderlich sein werden, um den pfluglosen Ackerbau unter vielfältigen Klima- und Bodenbedingungen im ökologischen Landbau zu ermöglichen.

Literatur

Berner, A., Hildermann, I., Fliessbach, A., Pfiffner, L., Niggli, U., Mäder, P. (2008): Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research* **101**: 89-96.

Peigné, J., Ball, B. C., Roger-Estrade, J., David, C. (2007). Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management* **23**: 129-144.

Schmidt, H. (2010): Transfervorbereitende Evaluation und Kombination von Praxiserfahrungen und Forschungsergebnissen zu Konzepten reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau. Projektbericht im Bundesprogramm Ökologischer Landbau, 334 S. http://orgprints.org/17200/

Wilhelm, B. (2010): Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau - Analyse einer Verfahrenstechnik im Kontext der Bodenfruchtbarkeit. Dissertation Universität Kassel. 144 S.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 333–334 (2013)

Beziehungen zwischen Pflanzenhöhe, Unkrautunterdrückung, Lager und Kornertrag bei Winterhafer unter Bedingungen des ökologischen Landbaus

Thomas F. Döring[1,2], Louisa Winkler[1], Nick Fradgley[1], Sally Howlett[1], Martin Wolfe[1]

[1]Organic Research Centre, Hamstead Marshall, RG20 0HR, Großbritannien; [2]Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Humboldt Universität zu Berlin, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin-Dahlem. E-Mail: *thomas.doering@agrar.hu-berlin.de*

Einleitung

Winterhafer wird in Deutschland wegen Frostempfindlichkeit nur in geringem Maße angebaut, bietet aber unter Bedingungen geringerer Winterhärte ein hohes Ertragspotenzial (Anonymus 2013). Hafer bringt als Kulturart vor allem für ökologische und extensive Systeme Vorzüge mit sich (Gruber 2010), insbesondere aufgrund vergleichsweise hoher Ressourceneffizienz, aus phytosanitären Gründen, sowie wegen guter Wettbewerbsfähigkeit gegen Unkräuter.

Die Konkurrenzkraft von Kulturpflanzen gegenüber Unkräutern kann in vielfältigen Merkmalen begründet liegen (Jordan 1993). Diese umfassen bei Hafer neben möglichen allelopathischen Wirkungen vor allem morphologische Eigenschaften, wie z.B. eine hohe Pflanzenhöhe. Jedoch birgt eine zu hohe Wuchshöhe bei Getreide die Gefahr von Lager (White et al. 2003). In Feldversuchen sollte daher geklärt werden, inwiefern sortenspezifische Unterschiede in der Pflanzenhöhe das Lagern, den Unkrautbesatz sowie den Kornertrag unter Bedingungen einer ökologischen Bewirtschaftung beeinflussen.

Material und Methoden

Über drei Anbauperioden (2009/10 bis 2011/12) wurde Winterhafer in Feldexperimenten untersucht. Die Versuche waren als zweifaktorielle randomisierte vollständige Blockanlagen mit drei Wiederholungen angelegt. Es wurden in jedem Versuchsjahr acht Sorten (Balado, Brochan, Gerald, Mascani und Tardis, sowie die 3 Nackthafersorten Bastion, Mason und Racoon) in jeweils zwei Düngungsstufen (mit und ohne Hühnermist-Pellets) getestet.

Die Versuche wurden im Südosten Englands am Versuchsstandort ´Wakelyns Agroforestry` auf einem lehmigen Tonboden (58% Ton, 20% Schluff, 22% Sand) mit einem Boden-pH von 7,4 durchgeführt. Die Parzellengröße betrug 10 m x 1,2 m. Messungen zur Pflanzenhöhe wurden an 10 zufällig ausgewählten Pflanzen pro Parzelle vorgenommen. Unkrautbonituren erfolgten als Schätzungen der Bodenbedeckung (W) in Prozent während zwei Terminen je Versuchsjahr (im späten Frühjahr und direkt nach der Ernte). Aus der Bodenbedeckung der Unkräuter wurde ein Unkrautdeckungsindex I = log(W+1) berechnet. Der Blattflächenindex (BFI) des Pflanzenbestandes wurde je Versuchsjahr zu drei Terminen mit einem Delta T SunScan Sensor gemessen. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm R, Version 3.0.0.

Ergebnisse und Diskussion

Die Versuche bestätigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen Wuchshöhe und Unkrautdeckung (lineare Regression der um Jahreseffekte korrigierten Daten, r= –0,73; p=0,041). So wies z.B. die Sorte Balado sowohl die geringste Wuchshöhe als

auch die höchsten Unkrautdeckungswerte auf. Jedoch korrelierte der Blattflächenindex (BFI) im Stadium BBCH 44 insgesamt noch stärker mit der Konkurrenzkraft des Hafers als die Pflanzenhöhe; bei geringem Unkrautdruck im Versuchsjahr 2009/10 war der Zusammenhang zwischen BFI und Unkrautdeckung allerdings nicht signifikant (Abb. 1). Es wurden keine signifikanten Effekte der organischen Düngung auf den Ertrag gefunden, jedoch gab es eine Tendenz (p=0,079) der gedüngten Varianten zu leicht erhöhter Lagerneigung.

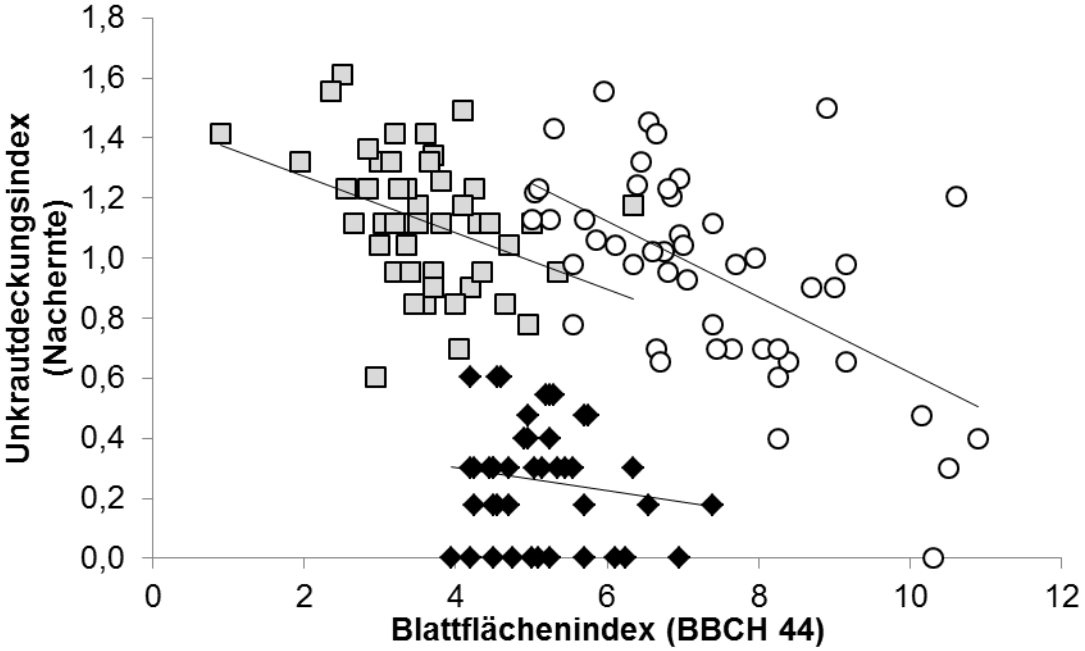


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Blattlächenindex von Winterhafer bei BBCH 44 und Unkrautdeckungsindex direkt nach der Ernte (schwarze Rauten: 2009/10, p=0,324, df=40; graue Quadrate: 2010/11, p=0,0071, df=46; weiße Kreise: 2011/12, p<0.001, df=46).

Kleinwüchsige Sorten zeigten insgesamt eine geringere Lageranfälligkeit jedoch war Lagern in keinem der Versuchsjahre ertragsrelevant. Eine Sorte (Brochan) zeichnete sich durch moderate Pflanzenhöhe und damit geringe Lageranfälligkeit, aber einen hohen BFI aus.

Unsere Untersuchung zeigt, dass der BFI sich als möglicher Parameter für Sortenwahl und Sortenevaluation hinsichtlich Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern anbietet und dass es möglich ist, Sorten zu finden, die eine geringe Lageranfälligkeit mit hoher Konkurrenzkraft kombinieren.

Literatur

Anonymus (2013): Winterhafer – *Avena sativa*. AGRAVIS Raiffeisen AG. http://www.agravis.de/de/pflanzen/saatgut/getreide/winterhafer/index.html. Abgerufen 13.06.2013.

Gruber, H. (2010): Das wichtigste Sommergetreide im Ökoanbau. In: Iken, M.: Hafer – Talent auf allen Ebenen. Saaten-Union, Isernhagen. S. 21-25.

Jordan, N. (1993): Prospects for weed control through crop interference. *Ecological Applications* 3: 84-91.

White, E. M., McGarel, A. S. L. M., Ruddle, O. (2003): The influence of variety, year, disease control and plant growth regulator application on crop damage, yield and quality of winter oats (*Avena sativa*). *Journal of Agricultural Science* 140: 31–42.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 335–336 (2013)

Ertragsvariabilität von Silomais in Brandenburg – Ergebnisse von On-Farm-Versuchen

Julian Klepatzki[1], Thomas Döring[1], Janna Sayer[1], Frank Ellmer[1]

[1] Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät Humboldt, Universität zu Berlin, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin-Dahlem. E-Mail: *julian.klepatzki@agrar.hu-berlin.de*

Einleitung

Modelle zum Klimawandel zeigen für die kommenden Jahrzehnte nicht nur Verschiebungen der Mittelwerte von Temperaturen und Niederschlägen, sondern auch eine erhöhte klimatische Variabilität (Schär et al. 2004). Dies ist u.a. mit einer zunehmenden Frequenz von Wetterextremereignissen verbunden. Angesichts solcher Entwicklungen gewinnt die Fähigkeit von Kulturpflanzen, unter stark variierenden Umweltbedingungen stabile Erträge zu bilden, an Bedeutung (Döring et al. 2010, Urban et al. 2012). Um der Frage der Ertragsstabilität von Silomais nachzugehen, wurden im Rahmen des INKA-BB Projektes On-Farm-Versuche durchgeführt.

Material und Methoden

Über drei Jahre (2010 – 2012) wurden an vier Standorten in Brandenburg sechs Sorten (Aabsolut, Ingrid, Kalvin, Lars/LG 30.218, Mazurka, Torres) in On-Farm Versuchen angebaut. Zwei Standorte waren durch sehr leichte Böden mit geringem Ertragspotenzial gekennzeichnet (im Mittel 27 Bodenpunkte/BP), die beiden anderen Standorte durch deutlich bessere Bonität (im Mittel 50 BP).

Ergebnisse und Diskussion

Die dreijährigen Mittelwerte der Trockenmasseerträge zeigten trotz der beobachteten Standortunterschiede hinsichtlich der Bodengüte nur geringfügige Unterschiede, (Abb. 1).

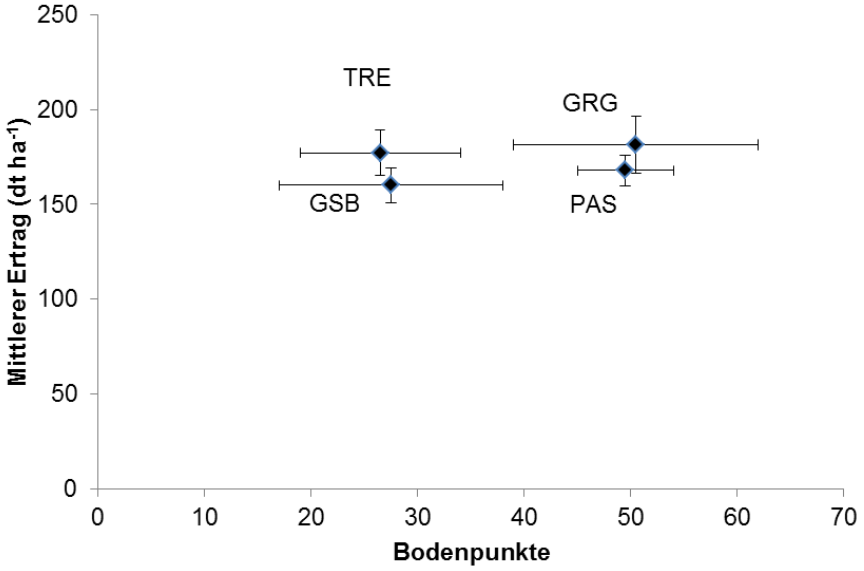


Abb. 1: Silomaisertrag (dt ha^{-1}) (Mittel über 3 Jahre und 6 Sorten) an vier Standorten; Groß Gastrose (GRG), Groß Schönebeck (GSB), Passow (PAS), Trebbin (TRE) in Brandenburg in Abhängigkeit der Bodenpunkte. Die vertikalen Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen der 3-Jahresmittel über die 6 Sorten; die horizontalen Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen der Bodenpunkte je Standort.

Die relativen Ertragsschwankungen über die Jahre waren zwischen den Sorten nicht unterschiedlich, zeigten aber eine klare Beziehung zur Bodengüte, wobei die leichteren Standorte höhere Ertragsschwankungen aufwiesen (Abb. 2).

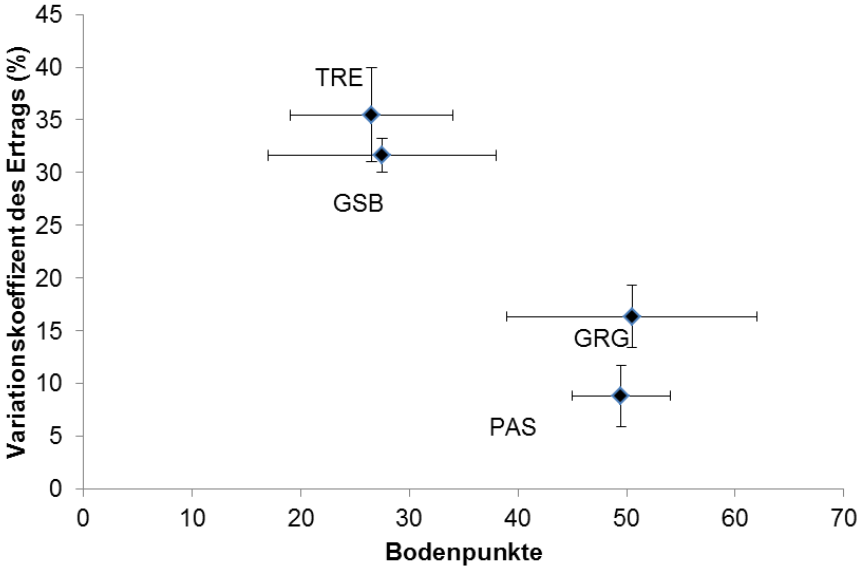


Abb. 2: Variationskoeffizient des Silomaisertrages an den vier On-Farm-Versuchsstandorten in Abhängigkeit der Bodenpunkte. Abkürzungen der Standorte wie in Abb. 1. Die vertikalen Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen der Variationskoeffizienten über die 6 Sorten; die horizontalen Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen der Bodenpunkte je Standort

Diese Tendenz bestätigte sich auch in parallel durchgeführten Exaktversuchen auf leichten Standorten in Berlin-Dahlem (35 BP) und Thyrow (Brandenburg, 25 BP).
Die Ergebnisse dieser Versuche zeigen, dass koordinierte On-Farm-Versuche dazu beitragen können, die regionale Sortenprüfung zu unterstützen. Allerdings ist weitere Forschung notwendig, um die Ursachen von Ertragsvariabilität bei Silomais besser zu verstehen.

Literatur

Döring, T.F., Wolfe, M., Jones, H., Pearce, H., Zhan, J. 2010. Breeding for resilience in wheat - Nature's choice. In: Goldringer I, Lammerts van Bueren E (Eds.): Breeding for resilience: a strategy for organic and low-input farming sytems? Eucarpia 2nd Conference of the Organic and Low-Input Agriculture Section. 1-3 December 2010. Paris, France; pp 45-48.

Schär, C., Vidale, P., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M., Appenzeller, C., 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature 427, 332-336.

Urban, D., Roberts, M.J., Schlenker, W., Lobell, D.B., 2012. Projected temperature changes indicate significant increase in interannual variability of U.S. maize yields. Climatic Change 112, 525–533.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 337–338 (2013)

Einfluss von Bilanzierungsmethoden auf die Humusbilanz von Silomais

Barbara Eder[1], Joachim Eder[1], Harald Schmid[2] und Kurt-Jürgen Hülsbergen[2]

[1] Institutfür Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung,Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising;
[2] Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Freising. E-Mail: *barbara.eder@lfl.bayern.de*

Einleitung

Bei der Prüfung von Fruchtfolgen für die Energieproduktion werden zunehmend Effekte auf die Humusdynamik und die Bodenfruchtbarkeit untersucht. Energiepflanzenfruchtfolgen sollten ausgeglichene Humusbilanzen aufweisen, um eine nachhaltige Produktionsweise zu gewährleisten. Die zur Biogaserzeugung am häufigsten angebaute Fruchtart Mais wird in Dauerfeldexperimenten als Humuszehrer bewertet; ein steigender Maisanbau in Energiefruchtfolgen könnte zu einem Humusabbau mit negativen Effekten auf Bodenfunktionen und die Ertragsfähigkeit führen. Diesem Effekt kann durch organische Düngung (z.B. mit Gärresten) oder durch den Anbau von Zwischenfrüchten entgegengewirkt werden. Die Berechnung der Humusbilanz erfolgt durch die Erfassung von Zufuhr und Abbau organischer Substanz. Je nachdem, ob ertrags-, standort- und bewirtschaftungsabhängige Faktoren in den Methoden berücksichtigt werden, fällt das Ergebnis unterschiedlich aus. Wie groß die Unterschiede zwischen den Methoden sein können, soll im folgenden Versuch geklärt werden.

Material und Methoden

In Feldexperimenten wurden zwei Genotypen mit unterschiedlicher Reifegruppe in Abhängigkeit von der Düngerart (mineralisch (MD), Kalkammonsalpeter; organisch (OD), Gärrest mit hohem Maisanteil) mit je drei Intensitätsstufen (90/150/210 kg N ha^{-1}) und einer Nullvariante hinsichtlich der Ertragsbildung an zwei Orten (Freising, Grucking) und Jahren (2005, 2006) untersucht (Eder 2009). Auf der Grundlage der experimentellen Daten wurden Humusbilanzen mit verschiedenen Methoden berechnet; verwendet wurden die VDLUFA-Methode (2004); die Cross Compliance-Methode sowie die Humuseinheiten (HE)-Methode (Hülsbergen 2003).

Ergebnisse und Diskussion

Zur Humusbilanzierung stehen unterschiedliche Methoden mit unterschiedlicher Zielsetzung und Aussage zur Verfügung. Der wesentliche Unterschied der Methoden liegt in der Berücksichtigung der Faktoren Standort, Ertrag und Düngung. Bei der statischen Methode (HE stat) nach Leithold werden nur ertragsunabhängige Koeffizienten berücksichtigt. Die Humusbilanzmethode nach VDLUFA gibt untere und obere Richtwerte zum Bedarf an organischer Substanz an. Die Humusbilanzmethode nach der Cross Compliance Richtlinie entspricht weitgehend den unteren Richtwerten der VDLUFA-Methode. Der Vorteil dieser Methoden ist, dass sie mit in der Praxis leicht verfügbaren Daten berechnet werden können. Nur bei der Methode HE dyn wird der Humusbedarf mit ertrags-, standort- und bewirtschaftungsabhängigen Koeffizienten dynamisch berechnet. Die Bilanzierungsmethoden VDLUFA (uG, oG), Cross Compliance (CC), HE statisch und dynamisch zeigten sehr große Unterschiede in den Humussalden (Tab.1).

Tab.1 Humusbilanzierung des Silomaisanbaus in Abhängigkeit der Bilanzierungsmethode, Düngerart und -intensität.

N	kg bzw.m³/ha		30*	90	150	210	90/24	150/48	210/146
VDLUFA uG	kg Hu-C/ha	Zu**	0	0	0	0	231	462	693
		Ab**	-560	-560	-560	-560	-560	-560	-560
		S**	-560	-560	-560	-560	-329	-98	133
VDLUFA oG		Zu	0	0	0	0	231	462	693
		Ab	-800	-800	-800	-800	-800	-800	-800
		S	-800	-800	-800	-800	-569	-338	-107
CC		Zu	0	0	0	0	231	462	693
		Ab	-560	-560	-560	-560	-560	-560	-560
		S	-560	-560	-560	-560	-329	-98	133
HE stat		Zu	0	0	0	0	180	360	534
		Ab	-783	-783	-783	-783	-783	-783	-783
		S	-783	-783	-783	-783	-603	-423	-249
HE dyn		Zu	0	0	0	0	180	360	534
		Ab	-1177	-1177	-1177	-1177	-1177	-1177	-1177
		S	-1177	-1177	-1177	-1177	-998	-818	-644
TM	dt/ha		213	233	241	245	232	240	250

* alle Varianten erhielten 30 kg/ha N als Unterfußdüngung; ** Zu Zufuhr Humus C, Ab Abfuhr Humus C, S Saldo

Alle Varianten erzielten ein hohes Ertragsniveau (ca. 240 dt/ha TM); die ungedüngte Variante 213 TM dt/ha. Unterschiede zwischen der Düngerart (MD,OD) wurden nicht festgestellt. Auch die Düngerintensität zeigte keinen Einfluss auf die Ertragshöhe. Dies deutet auf eine hohe N-Versorgung und –nachlieferung der Böden hin. Alle verwendeten Methoden zeigten deutliche Effekte der organischen Düngung; während bei der höchsten Düngungsstufe nach CC und VDLUFA (uG) eine positive Humusbilanz erreicht wurde, wiesen die anderen Methoden negative Salden aus. Die VDLUFA- und CC-Methode prüfen, ob die gute fachliche Praxis eingehalten wird und der Mindestbedarf zum Erhalt der Bodenfunktionen gedeckt ist. VDLUFA (oG) und HE stat verwenden feste, ertragsunabhängige Bilanzparameter und weisen gegenüber der CC-Methode einen höheren Bedarf aus, mit dem Ziel ein hohes Ertragsniveau und die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit zu erreichen. Nur die dynamische HE-Methode reagierte auf Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen des Versuches; aufgrund des sehr hohen Ertragsniveaus bei moderater N-Düngung schätzte das Modell eine hohe Humusmineralisation. Ertragsunterschiede von bis zu 37 dt/ha zwischen den Varianten hatten keinen Einfluss auf die Humusbilanz; die Rückführung von Gärrestmengen dagegen deutliche. Die dynamische HE-Methode bewertet die humuswirksame Leistung von Gärresten niedriger als die anderen Methoden. Insgesamt kommt es dadurch zu einem höherem negativen Saldo.

Literatur

Eder, B. (2009): Pflanzenbauliche Untersuchungen zum Einfluss von Genotyp und Anbauverfahren auf die Ertragsbildung und das Methanbildungspotenzial von Mais (Zea mays L.). Dissertation. Technische Universität München.

Hülsbergen, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker, Halle.

Weitere Literatur auf Nachfrage.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 339–340 (2013)

Zwischenfruchtanbau zur Optimierung des Strip-Till Verfahrens auf schweren Böden

Johanna Link [1], Michael Neubauer [1] und Wilhelm Claupein[1]

[1] Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340a)/Universität Hohenheim, Stuttgart.
E-Mail: *johanna.link@uni-hohenheim.de*

Einleitung

Die Mulchsaat spielt im Zuckerrübenanbau eine bedeutende Rolle, da die ganzflächige Lockerung eine gute Saatbettbereitung ermöglicht, während die Mulchauflage zum Erosionsschutz, als auch zur Unkrautunterdrückung beitragen kann. Mit dem sog. Strip-Till Verfahren wird der Erosionsschutz noch konsequenter betrieben, da eine Bearbeitung des Bodens nur in den späteren Saatreihen stattfindet (Hermann et al., 2012). Auf schweren Böden, mit einem Tongehalt um 30 %, kann diese Form der reduzierten Bodenbearbeitung aber auch zu Problemen hinsichtlich der Saatbettbereitung führen. Da bei feuchten Bodenbedingungen die Schüttfähigkeit des schweren Bodens reduziert ist, bleiben die Saatschlitze zum Teil unverfüllt und die Ränder sind verschmiert (Neubauer, 2011). Als Folge des schlechten Bodenschlusses kann es zu einem reduzierten Feldaufgang kommen (Neubauer, 2011).

Um diese Probleme anzugehen, wurde im vorliegenden Versuch der Einsatz einer vorgeschalteten Bodenbearbeitung, sowie der Anbau von Zwischenfrüchten zur Optimierung des Strip-Till Verfahrens auf schweren Böden untersucht.

Material und Methoden

Auf der Versuchsstation Ihinger Hof (Universität Hohenheim) wurde ein einjähriger Versuch angelegt, um die Auswirkungen des Strip-Till Verfahren mit und ohne den Anbau von Zwischenfrüchten zu untersuchen (Tab. 1).

Tab. 1: Untersuchte Strip-Till Verfahren.

Variante	Bodenbearbeitung, Zeitpunkt, Bearbeitungstiefe	Zwischenfrucht, Vegetationszeitraum
STIHO	Streifenlockerung (Horsch Focus II), 2011/09, 22 cm	Keine
STZFM	Flache Bodenbearbeitung (Güttler SuperMaxx) zur Aussaat Zwischenfruchtmischung, 2011/08, 7 cm. Streifenlockerung (Horsch Focus II), 2011/09, 22 cm.	Klarhölter Zwischen-fruchtmischung, 2011/08-2011/11
STSENF	Streifenlockerung mit Aussaat von Senf im Streifen (Horsch Focus II), 2011/09, 22 cm.	Gelbsenf, 2011/09-2011/11
TILLRAD	Flache Bodenbearbeitung zur Aussaat Meliorationsrettich in Streifen (Güttler SuperMaxx), 2011/08, 7 cm.	Meliorationsrettich „Deep Till“, 2011/08-2011/11

Zur Bewertung der Strip-Till Verfahren wurde neben dem Feldaufgang, dem Ertrag und der Qualität der Zuckerrüben, u.a. die optische Qualität der Streifen (1 = sehr gleichmäßig, ohne Erntereste, 6 = unverfüllter Saatschlitz) nach der Boniturskala in Neubauer (2011), sowie der Bodeneindringwiderstand bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Die im Versuch ausgesäten Zwischenfrüchte haben den Boden aufgelockert und damit die mechanische Streifenlockerung unterstützt. Zum Zeitpunkt der Zuckerrübenaussaat wiesen alle Varianten mit Zwischenfruchtanbau in den oberen 5 cm geringere Eindringwiderstände als die Variante STIHO auf (Abb. 1, links). Während die Variante TILLRAD in der oberen Bodenschicht eine gute Lockerungswirkung aufwies, lag diese in den tieferen Bodenschichten (5-30 cm) etwas unter der mechanischen Lockerung.

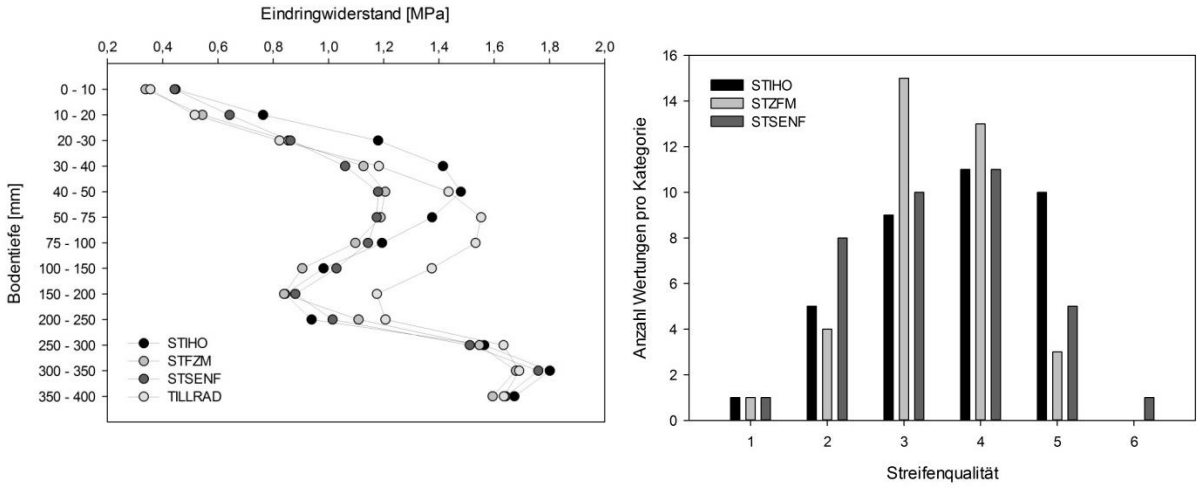


Abb. 1: Eindringwiderstand [Mpa] vor der Aussaat (links) und optische Streifenqualität vor der Aussaat (rechts) in den untersuchten Strip-Till Varianten.

Die Auswertung der Streifenqualität ergab, dass durch den Einsatz der Zwischenfruchtmischung (STZFM) die meisten Streifen eine mittlere Qualität (3 und 4) aufwiesen, während bei der Variante STSENF und STIHO eine größere Bandbreite an Streifenqualitäten vorgefunden wurde (Abb. 1, rechts).

Der Feldaufgang war in allen Varianten sehr gering und lag im Durchschnitt bei 5,2 Pflanzen/m², dabei lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten vor. Auch hinsichtlich des Frisch- und Trockenmasseertrags, des bereinigten Zuckergehaltes und des bereinigten Zuckerertrags konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Varianten ermittelt werden.

Die einjährigen Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Zwischenfrüchten im Strip-Till Verfahren zu einer Verbesserung der Streifenqualität führen kann. Der zusätzliche Mehraufwand kann sich aber aus ökonomischen Aspekten nur lohnen, wenn er sich im Rübenertrag bzw. der Rübenqualität niederschlägt. Für eine endgültige Bewertung sind Untersuchungen über einen längeren Zeitraum notwendig.

Literatur

Hermann, Wilfried, Bauer, Bernhard, Bischoff, Joachim. 2012. Strip-Till – Mit Streifen zum Erfolg. DLG Verlag. ISBN 978-3-7690-2011-3.

Neubauer, Michael. 2011. Auswirkungen unterschiedlicher Etablierungsmethoden auf das Auflaufen und die Jugendentwicklung von Zuckerrüben. Bachelorarbeit, Universität Hohenheim, September 2011.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 341–342 (2013)

Veränderte Produktionsverhältnisse in der Landwirtschaft durch den Klimawandel am Beispiel Ost-Österreichs

Kasper M.[1], Schmid H.[2], Freyer B. [1], Hülsbergen K.-J. [2], und Friedel J.K.[1]

[1] Universität für Bodenkultur, Institut für Ökologischen Landbau, Gregor Mendel-Str. 33, A-1180 Wien, martina.kasper@boku.ac.at, www.boku.ac.at
[2] Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Alte Akademie 12, D-85354 Freising, huelsbergen@wzw.tum.de, www.wzw.tum.de

Einleitung

Soll eine nachhaltige Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte in naher Zukunft gewährleistet werden, so ist eine Anpassung der Fruchtfolge an klimatisch bedingte Veränderungen unumgänglich. Eine Region im Osten Österreichs, in der die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft derzeit immer deutlicher werden, wurde in einigen Studien in diesem Zusammenhang genauer betrachtet. Zu erwarten sind eine Erhöhung der Temperatursumme und Zunahme der Trockenheit in diesem Gebiet (Eitzinger et al., 2009, S. 29 ff.; Strauss, 2009). Geläufige Sommerkulturen werden vermehrt von Wassermangel, Hitzestress und Trockenschäden betroffen sein, während Winterkulturen die Winterfeuchte in den Böden besser nutzen können (Kromp-Kolb et al., 2007). Der Anbau von Sommerungen wie Sommergerste wird rückläufig sein, der Anteil an Winterungen wie Winterweizen, sowie der Anteil an Sonnenblumen und Mais wird hingegen zunehmen (Strauss, 2009). Das Ziel war, als Szenario einer möglichen Anpassung an den Klimawandel, die Auswirkung einer Änderung der Fruchtfolge in diesem Gebiet auf den Humushaushalt mit einer Humusbilanzierungsmethode abzuschätzen.

Material und Methoden

Betrachtetes Gebiet ist das Nordöstliche Flach- und Hügelland im Osten Österreichs mit den vorherrschenden Betriebsformen Marktfrucht und Dauerkultur (Weinbau). Entsprechend den zur Verfügung stehenden agrarstatistischen Daten wurden für dieses Gebiet Modellbetriebe erzeugt, welche die regionalen Anbauverhältnisse und die Bewirtschaftung abbilden. Die Berechnung der Humusbilanz erfolgte nach der HE-Methode dynamisch mit dem Modell REPRO (Küstermann et al., 2008). Dabei wurden die Ackerzahl, Fruchtart, Bewirtschaftungs-weise (ökologisch/öko und konventionell/konv), Ertrag und Düngung berücksichtigt. Über den Niederschlag und die Ackerzahl gingen die Standortparameter in die Berechnung ein. Für die Berechnungen wurden ein um 30 % verringerter Flächenanteil von Sommergerste und ein entsprechend erhöhter Flächenanteil von Winterweizen und Mais zugrunde gelegt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Berechnungen wurden für die Betriebsformen Marktfrucht (konv: 56,6 %, öko: 7,9 %) und Dauerkultur (konv: 19 %, öko: 1,5 %) durchgeführt, die zusammen 85 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche ausmachen.

Es sind deutliche Unterschiede zwischen den Betriebsformen erkennbar (Tabelle 1). Der Humusbedarf war unter Dauerkultur generell höher als unter Marktfrucht. Durch die veränderte Kulturartenverteilung sind unter Marktfrucht etwas erhöhte Bedarfs-werte zu erwarten. Unter Dauerkultur konventionell ergab sich keine Änderung; für

Dauerkultur ökologisch wurde sogar eine Verringerung des Bedarfs errechnet. Die Humusersatzleistung gesamt, generiert aus der Humusmehrerleistung und der Zufuhr organischer Dünger, nahm bei allen Modellbetrieben zu, mit Ausnahme von Dauerkultur ökologisch. Die Humusmehrerleistung, die vor allem bei der ökologischen Bewirtschaftung eine Rolle spielt, veränderten sich kaum. Hingegen wurden Zunahmen bei der Zufuhr organischer Dünger, die vor allem aus Stroh- und Gründüngung bestehen, bei allen Betriebsformen errechnet, mit Ausnahme der Dauerkultur ökologisch. Die errechneten Humussalden variieren stark zwischen den Betriebsformen, jedoch nur gering zwischen den Bewirtschaftungsweisen ökologisch und konventionell innerhalb einer Betriebsform. Die landwirtschaftliche Nutzfläche der Modellbetriebe liegt mit einer Humusversorgung von -75 bis 100 kg Humus-C ha^{-1} a^{-1} im Optimalbereich, bis auf die Dauerkultur ökologisch, bei der eine niedrige Humusversorgung festgestellt wurde. Grund dafür ist der große Anteil an Weinbauflächen. Die mäßigen Veränderungen in der Kulturartenzusammensetzung zeigen nur geringe Auswirkungen auf den Humussaldo und damit auf die C-Senkenfunktion des Bodens.

Tabelle 1: Humusbilanz (kg Hu-C ha^{-1} a^{-1}) nach Anpassung an den Klimawandel im Nordöstlichen Flach- und Hügelland

	Nordöstliches Flach- und Hügelland							
	Marktfrucht				Dauerkultur			
Kennzahl	konv I	konv II	öko I	öko II	konv I	konv II	öko I	öko II
HE-Bedarf	-339	-349	-458	-466	-447	-446	-643	-617
HE-Humusersatzleistung ges.	363	376	504	509	410	413	522	500
Humusmehrerleistung	30	31	164	165	81	80	188	179
Zufuhr organischer Dünger	333	345	340	345	329	337	334	321
Humussaldo	24	27	46	44	-38	-34	-122	-117
Humusversorgungsgrad[a)] (%)	107	108	110	109	92	92	81	81
Versorgungsstufe[b)]	C	C	C	C	C	C	B	B

I: bisherige Kulturartenverteilung; II: an den Klimawandel angepasste Kulturartenverteilung
[a)] Humusversorgungsgrad = Humusersatzleistung / Humusbedarf
[b)] Versorgungsstufe: A = sehr niedrig (< -200 kg Humus-C ha^{-1} a^{-1}); B = niedrig (-200 bis -76 kg Humus-C ha^{-1} a^{-1}); C = optimal (-75 bis 100 kg Humus-C ha^{-1} a^{-1}); D = hoch (101 bis 300 kg Humus-C ha^{-1} a^{-1}); E = sehr hoch (> 300 kg Humus-C ha^{-1} a^{-1});

Literatur

Eitzinger, J., Kersebaum, K. C., Formayer H. (2009): Landwirtschaft im Klimawandel. Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. 1. Auflage. Agrimedia GmbH, 376 Seiten.

Kromp-Kolb H., Formayer H., Eitzinger J. (2007): Potentielle Auswirkungen und Anpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft an den Klimawandel in Nordosten Österreichs (Weinviertel-Marchfeld Region). In: Auswirkungen des Klimawandels in Niederösterreich. NÖ Klimastudie. http://www.boku.ac.at/met/klima/berichte/NOE_Klimastudie_2007.pdf

Küstermann, B., Kainz, M. and Hülsbergen, K. J. (2008): Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. Renewable Agriculture and Food Systems 23, 38-52.

Strauss, F. (2009): Gewinner und Verlierer der Klimaveränderung. BauernZeitung Nr. 40, 1. Oktober 2009.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 343–344 (2013)

Ertrag und Ertragsstruktur von Winter-Weizen in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Vorfrucht

Reinhard Neugschwandtner[1], Helmut Wagentristl[2], Peter Liebhard[1], Hans-Peter Kaul[1]

[1] Abteilung Pflanzenbau, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln, E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at
[2] Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Schlosshoferstraße 31, A-2301 Groß-Enzersdorf

Einleitung

Konservierende Bodenbearbeitungsverfahren gewinnen weltweit zunehmend an Bedeutung. Ökologische Vorteile dieser Verfahren im Vergleich zur traditionellen, wendenden Bodenbearbeitung beinhalten höhere Gehalte an organischer Masse und biologischer Aktivität im Boden und eine geringere Erosionsgefahr. Aus ökonomischer Sicht sind ein geringerer Kraftstoff- und Arbeitszeitbedarf zu nennen. Zudem ist eine geringere Anfälligkeit für Trockenstress aufgrund höherer pflanzenverfügbarer Wassergehalte und somit eine höhere Ertragsstabilität möglich (Derpsch et al., 2010).

Material und Methoden

Ein Bodenbearbeitungsversuch wurde im August 1996 in Raasdorf (BOKU-Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf, Produktionsgebiet: Marchfeld; durchschnittlicher Jahresniederschlag und Jahrestemperatur: 538 mm bzw. 10,6°C (1980-2009); Boden: Tschernosem, schluffiger Lehm) als zweifaktorielle Spaltanlage mit fünf Großteilstücken (Bodenbearbeitungssysteme) und je zwei Kleinteilstücken (Fruchtfolgen) angelegt. Die Bodenbearbeitungssysteme umfassen:

1. Konventionelle Bearbeitung – Lockerbodenwirtschaft (Pflügen 25-30 cm)
2. Festbodenwirtschaft (Direktsaat)
3. Lockerboden – Mulchwirtschaft (Untergrundlockern (Tiefenlockerer))
4. Festboden – Mulchwirtschaft (Grubber, 8 cm)
5. Wechselnde, situationsangepasste Bodenwirtschaft

In der Vegetationsperiode 2011/12 wurden in beiden Fruchtfolgevarianten Winter-Weizen (Sorte Astardo) angebaut. Der Anbau erfolge am 25.10.2011, die Ernte am 5.7.2012. Die Vorfrüchte waren Winter-Weizen bzw. Zuckerrübe. Die Vegetationsperiode 2011/12 war durch starke Trockenheit geprägt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Kornerträge lagen aufgrund der sehr trockenen Bedingungen in der Vegetationsperiode 2011/12 auf generell sehr niedrigem Niveau. Der höchste Kornertrag konnte in den Direktsaat-Varianten erreicht werden, der niedrigste in der Lockerbodenwirtschaft. Der Grund hierfür wird in einer höheren Wasserverfügbarkeit für Weizen in der Direktsaat-Variante vermutet. Bescansa et al. (2006) haben gezeigt, dass konservierende Bodenbearbeitungssysteme eine höhere Wasserspeicherfähigkeit aufweisen können.

Die Vorfrucht Zuckerrübe verursachte im Vergleich zur Vorfrucht Winter-Weizen eine Ertragseinbuße von über 50 %. Pringas und Koch (2004) hingegeben berichten bei langjährigen Versuchen von höheren Erträgen bei Winter-Weizen nach Zuckerrübe

im Vergleich zu Weizen nach Weizen. Der Grund für die höheren Erträge von Weizen nach Weizen in unserem Versuch wird in der geringen Wasserverfügbarkeit von Weizen nach der stark wasserbedürftigen Vorfrucht Zuckerrübe verbunden mit der sehr trockenen Vegetationsperiode 2011/12 liegen.

Die Ertragsstrukturparameter Ernteindex, Ähren m^{-2} und Körner $Ähre^{-1}$ blieben von der Bodenbearbeitung unbeeinflusst, während das Tausendkorngewicht – wie der Kornertrag – am höchsten in der Direktsaat-Variante und am niedrigsten in der Lockerbodenwirtschaft war. Nach Zuckerrübe kam es bei Winter-Weizen zu einem höheren Ernteindex und zu einem höheren Tausendkorngewicht und nach Winter-Weizen zu mehr Ähren m^{-2} und Körnern $Ähre^{-1}$.

Tabelle 1: Ertrag und Ertragsstruktur von Weizen in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Vorfrucht

	Korn ($g\ m^{-2}$)	Ernteindex (%)	Ähren (m^{-2})	Körner ($Ähre^{-1}$)	TKG (g)
Bodenbearbeitung (B)					
Lockerbodenwirtschaft	175^{c}	$37{,}1^{a}$	255^{a}	$21{,}8^{a}$	$31{,}1^{b}$
Festbodenwirtschaft (Direktsaat)	230^{a}	$37{,}2^{a}$	279^{a}	$24{,}8^{a}$	$33{,}4^{a}$
Lockerboden – Mulchwirtschaft	195^{bc}	$37{,}5^{a}$	261^{a}	$21{,}9^{a}$	$33{,}0^{ab}$
Festboden – Mulchwirtschaft	207^{ab}	$37{,}6^{a}$	285^{a}	$23{,}0^{a}$	$31{,}4^{ab}$
Wechselnde Bodenwirtschaft	218^{ab}	$37{,}8^{a}$	263^{a}	$24{,}9^{a}$	$31{,}8^{ab}$
Vorfrucht (V)					
Winter-Weizen	281^{a}	$36{,}3^{b}$	325^{a}	$27{,}8^{a}$	$31{,}0^{b}$
Zuckerrübe	130^{b}	$38{,}6^{a}$	211^{b}	$18{,}8^{b}$	$33{,}2^{a}$
ANOVA GLM					
Bodenbearbeitung	**	n.s.	n.s.	n.s.	*
Vorfrucht	***	*	***	***	***
B × V	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Signifikanzniveau: $p < 0{,}05$ (*), $p < 0{,}01$ (**), $p < 0{,}001$ (***)

Literatur

Bescansa, P., Imaz, M.J., Virto, I., Enrique, A., Hoogmoed, W.B., 2006. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. Soil Tillage Research 87, 19–27.

Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., Hongwen, L., 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 3, 1–25.

Pringas, C., Koch, H.-J., 2004. Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. Pflanzenbauwissenschaften 8, 24–33.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 345–346 (2013)

Flächenbedarf und Nutzungseffizienz ökologischer und konventioneller Landnutzungssysteme

T. Bryzinski[1], G. Leithold[2], K.-J. Hülsbergen[1]

[1] Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
[2] Professur für Organischen Landbau, Justus Liebig-Universität, Gießen.
E-Mail: *taras.bryzinski@tum.de*

Einleitung

Die landwirtschaftliche Nutzfläche ist nicht vermehrbar. Neben der Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen erhöht der Ausbau bioenergetischer Nutzung die Flächenkonkurrenz. Damit einhergehend stellt sich die Frage nach einer effizienten Flächennutzung, die in hohem Maße von den jeweiligen Ertrags- und Umweltleistungen abhängt.

Tuomisto et al. (2012) haben mit einem Life Cycle Assessment (LCA)-Ansatz verschiedene Landnutzungsoptionen gegenübergestellt und sind zu der Aussage gekommen, dass zur Bereitstellung einer definierten Nahrungsmenge bei konventioneller Bewirtschaftung nur ca. 50 % der Fläche notwendig wäre, die bei ökologischer Bewirtschaftung benötigt wird. Unter der Annahme, dass die frei werdende Fläche zur Bioenergieerzeugung oder für den Naturschutz genutzt werden würde, sei die Gesamtleistung günstiger einzuschätzen. Die dabei verwendeten Ertragsrelationen zwischen konventionellem und ökologischem Landbau beziehen sich auf Literaturdaten die für England und Wales erhoben wurden.

Seufert et al. (2012) zeigen in einer länderübergreifenden Meta-Analyse, dass die Erträge im Mittel von 34 Kulturen und 66 Studien (n = 316) unter ökologischer Bewirtschaftung ca. 25 % unter den Erträgen konventioneller Bewirtschaftung liegen. Bei potenziellen NaWaRo-Kulturen (Mais und Ölpflanzen) liegt dieser Abstand im Mittel bei ca. 11 – 15 %.

Im folgenden Beitrag werden zwei Landnutzungsmöglichkeiten (ökologische und konventionelle Agrarproduktion), basierend auf einem in vier Agrarregionen Deutschlands gewonnenen Datensatz hinsichtlich ihres Flächenbedarfs gegenübergestellt und mit potenziellen Umweltwirkungen verknüpft.

Material und Methoden

Im Rahmen der Untersuchung von 80 Pilotbetrieben sind aktuelle, nach der Bewirtschaftung (ökologisch, konventionell) und der Betriebsform (Marktfrucht, Milchvieh) differenzierte Ertrags- und Umweltleistungen mit dem Modell REPRO erfasst worden (Schmid, Braun und Hülsbergen, 2012).

Auf dieser Datenbasis wurden Modellbetriebe konstruiert. Der Flächenbedarf zur Erzeugung einer bestimmten Produktmenge, ausgedrückt als Energieoutput (GJ ha^{-1}), bildet die Bezugsbasis; der Flächenbedarf der ökologischen Marktfruchtbetriebe wurde gleich 100 ha gesetzt. Der Flächenbedarf zur Erzeugung des gleichen Energieoutputs in jeder Wirtschaftsweise und die damit potenziell verbundenen Umweltwirkungen wurden berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

In der Tabelle 1 werden zunächst die Ergebnisse aus der Untersuchung von insgesamt 24 Marktfrucht- (MF) und 32 Milchvieh- bzw. Gemischtbetrieben (MV) des Pilotbetriebe-Netzwerks vorgestellt. Tabelle 2 stellt die Berechnungsergebnisse dar.

Tabelle 1: Mittlere Werte für die Ertragsleistungen und den Energiebedarf von ökol. und konv. Betrieben

	Winterweizen (Korn) (dt ha^{-1})	Ertrag (GE ha^{-1})	Energieinput (GJ ha^{-1})	Energieoutput (GJ ha^{-1})
Ökol. MF	37	38	6	77
Ökol. MV	40	44	7	128
Konv. MF	88	91	13	153
Konv. MV	72	70	14	186

GJ: Gigajoule; Quelle: Schmid, Braun und Hülsbergen, 2012

Aus dieser Untersuchung wird deutlich, dass bedeutende Intensitäts- und Ertragsunterschiede bestehen. Im Mittel aller Betriebe beträgt das Ertragsniveau ökologischer Betriebe 52% des GE-Ertrages und 62 % der Energiebindung konventioneller Betriebe.

Tabelle 2: Flächen- und Energiebedarf sowie potenzielle Umweltwirkungen ökol. und konv. Modellbetriebe, bezogen auf die Pflanzenproduktion gleicher Produktmengen in GJ (ohne Tierhaltung)

	Ökol. MF	Ökol. MV	Konv. MF	Konv. MV
Flächenbedarf (ha)	100	60	50	41
Energiebedarf (GJ a^{-1})	600	421	654	580
N-Verlustpotenzial (kg N a^{-1})	1900	120	3020	2194
Treibhausgaspotenzial (t $CO_{2\ eq}$ a^{-1})	130	49	150	91

$CO_{2\ eq}$: Kohlenstoffdioxid-Äquivalente; Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Tabelle 1

Auch unter Berücksichtigung des höheren Flächenbedarfs ökologischer Anbausysteme sind der Energieinput und die Stickstoffverluste sowie die Treibhausgasemissionen niedriger als in konventionellen Systemen. Allerdings bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Betriebstypen; ökologische Gemischtbetriebe erreichen eine deutlich höhere Flächenproduktivität als ökologische Marktfruchtbetriebe.

Im Weiteren besteht Forschungs- und Bewertungsbedarf in Abhängigkeit davon, wie die freiwerdende Fläche tatsächlich genutzt werden würde und wie stark zum Beispiel mit der Bioenergieerzeugung die Ertrags- und Umweltleistungen jeweiliger Landnutzungskonzepte gesteigert werden können.

Literatur

Schmid, H.; Braun, M.; Hülsbergen, K.-J.(2012): Treibhausgasbilanzen und ökologische Nachhaltigkeit der Pflanzenproduktion. In: Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Forschungsbericht, Technische Universität München, S. 204-233.

Seufert, V.; Ramankutty, N.; Foley, J. A. (2012): Comparing the yields of organic and conventional agriculture. In: Nature 485 (7397), S. 229–232.

Tuomisto, H.L; Hodge, I.D; Riordan, P.; Macdonald, D.W (2012): Comparing energy balances, greenhouse gas balances and biodiversity impacts of contrasting farming systems with alternative land uses. In: Agricultural Systems 108, S. 42–49.

Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 347–348 (2013)

Durchdringungswiderstand des Bodens in verschiedenen Nutzungssystemen auf sandigen Standorten

Maxie Grüter, Heiko Vogel und Frank Ellmer

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Berlin. E-Mail: *maxie.grueter@googlemail.com*

Einleitung

Der Durchdringungswiderstand ermöglicht die Beurteilung der Bodenstruktur in tieferen Bodenschichten. Damit können Ackerflächen bewertet und Auswirkungen verschiedener Nutzungsvarianten aufgezeigt werden. Bei der Messung des Durchdringungswiderstandes ermöglicht elektrischer Vortrieb eine gleichmäßige Eindringgeschwindigkeit. Im direkten Vergleich mit dem manuellen Vortrieb zeigten sich stetigere Kurvenverläufe, eine exaktere Tiefenmessung und dadurch insgesamt genauere Messergebnisse.

Material und Methoden

Untersuchungen in dem 1923 in Berlin-Dahlem durch Kurt Opitz angelegten `Statischen FeldversuchBodennutzung´ wurden im Frühjahr 2012 bei Feldkapazität mit einem fahrbaren Feldpenetrometer mit elektrischem Vortrieb durchgeführt. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert aus 4 Wiederholungen mit jeweils 10 Messungen je Parzelle dar. Es wurde bis in 80 cm Tiefe gemessen und ein Konus mit einer Fläche von 1 cm^2 verwendet. Die Vortriebsgeschwindigkeit betrug 2 cm s^{-1}.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigten folgende Unterschiede zwischen Nutzungsvarianten:
Die Pflugtiefe spiegelte sich exakt in der Tiefe des Anstiegs des Durchdringungswiderstands wider (Abb. 1).

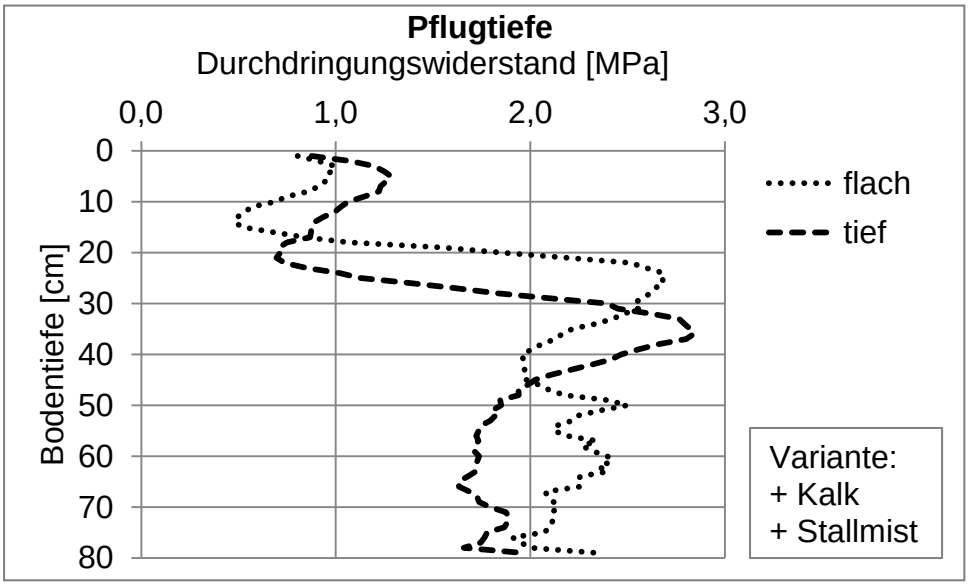


Abb. 1: Durchdringungswiderstand bei langjährig differenzierter Pflugtiefe

Bodenversauerung infolge langfristiger Unterlassung der Kalkung führte unterhalb der Bearbeitungstiefe bis in tiefe Bodenschichten zur Zunahme des Durchdringungswiderstandes um bis zu 1 MPa (Abb. 2).

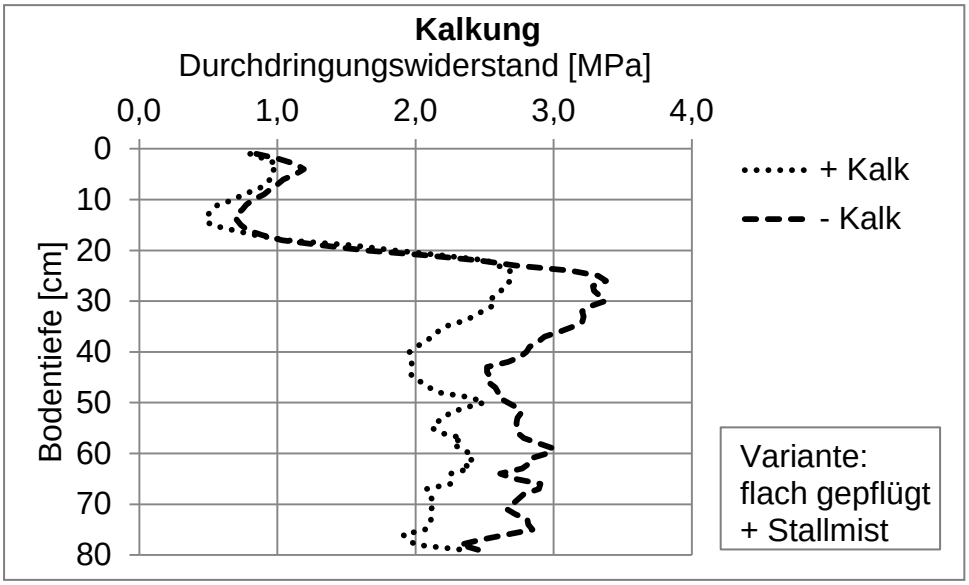


Abb. 2: Durchdringungswiderstand bei langjährig differenzierter Kalkung

Düngung mit Stallmist zeigte nur geringe Auswirkungen auf den Durchdringungswiderstand (Abb. 3).

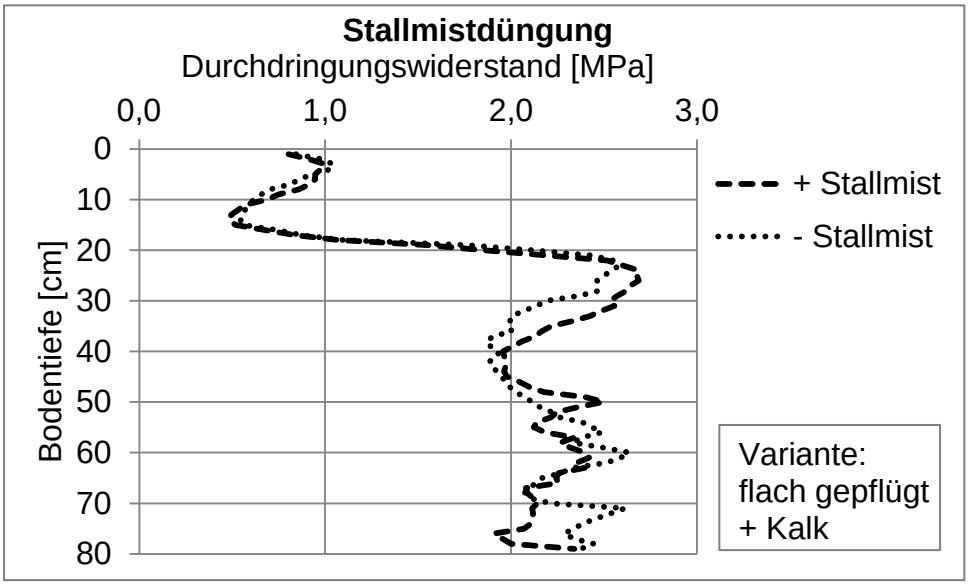


Abb. 3: Durchdringungswiderstand bei langjährig differenzierter Stallmistdüngung

In den dargestellten Untersuchungen hatte die Bodenbearbeitungstiefe maßgeblichen Einfluss auf das Tiefenprofil des Durchdringungswiderstandes. Langjähriges Unterlassen der Kalkung führte bis in große Tiefen zu einem höheren Durchdringungswiderstand. Organische Düngung in Form von Stallmist zeigte nur geringe Effekte auf den Durchdringungswiderstand.

Literatur

DIN 19662, August 2011. Bodenbeschaffenheit - Felduntersuchungen - Bestimmung des Eindringwiderstandes von Böden mit dem Handpenetrometer, Beuth Verlag GmbH 2011,12 S.

Autorenverzeichnis

Ahl C. 88
Aigner A. 82
Andermann L. 122
Andruschkewitsch M. 96
Appel T. 134
Auburger S. 257
Bacala R. 215
Bahrs E. 257
Barthet V. J. 215
Bärwolff M. 114, 188
Bastet J. 132
Bauer A. 197
Bauer R. 225
Baumecker M. 86
Becker H. C. 17
Billen N. 68, 313
Birke C. 116
Bischoff J. 90, 191, 301
Biskupek-Korell B. 60
Blaschke H. 118
Bläsing M. 74
Bliefernich S. 110
Boecker H. 122
Böhm C. 180
Böhm H. 80
Böhmer J. 182
Borchert H. 271
Böttcher U. 126, 128, 229, 277
Brauer-Siebrecht W. 257
Breitsameter L. 36
Brock C. 247
Brunotte J. 178
Bryzinski T. 297, 345
Bühle L. 52, 259, 267
Bunk A. 321
Burkard J. 275
Bystricky M. 156
Chen T.-W. 162
Chmelíková L. 203
Chmielewski F. 86
Christen O. 90, 132, 257
Claupein W. 68, 148, 215, 217, 227, 251, 275, 291, 295, 313, 319, 323, 325, 339
Claus S. 48
Crowley O. 331
Dauber J. 190
Dehmer K. J. 221
Deuschle J. 213
Dietz M. 136
Döring T. F. 331, 333, 335
Dürl G. 267
Dürnberger C. 154
Duskova S. 249
Ebertseder T. 197
Eckl T. 289
Eder B. 337
Eder J. 66, 104, 108, 150, 337
Effenberger M. 239
Ehmann A. 142
Ehret M. 184, 269, 273
El Jellouli A. 293
Ellmer F. 86, 94, 102, 140, 178, 315, 317, 335, 347
Emeis N. 158
Engelmann K. 239
Erbs M. 164
Espig F. 217
Festner T. 120
Fischer N. 140
Formowitz B. 144, 154
Fradgley N. 333
Freese D. 180
Freyer B. 341
Fricke A. 130
Fricke T. 100, 231
Friedel J. K. 341
Friedrich K. 134
Fritz M. 54, 56, 58, 64, 144, 146, 235, 261
Ganagin W. 62
Gauder M. 68, 251
Gehring K. 120
Geipel J. 295
Gericke D. 305
Gerson L. 221
Gierus M. 32
Giesemann A. 160
Glauert T. 235
Götze P. 257
Grabendorfer S. 84
Graeff-Hönninger S. 148, 217, 251, 275, 319
Graß Rikard 229

Graß Rüdiger.....184, 255, 269, 281
Greef J.-M.....88, 110, 124, 299
Gröblinghoff F.-F. 293
Gruber S. 215, 227, 313, 323, 325
Grüter M. 347
Häberle K.-H. 118
Hahn H. 62, 152
Hartmann A. 56, 64, 235
Hartmann K. 152
Hartmann L. 184, 273
Hartmann S. 221, 289
Hauk S. 44
Häußermann T. 211
Heckmann M. 299
Hehmann D. 253
Heiles E. 76
Heißenhuber A. 28
Hejcman M. 203
Hensgen F. 52, 259, 267
Herrmann A. 8, 281
Heuberger H. 225
Heubl G. 225
Hey K. 327
Hinck S. 158
Hirschberg F. 190
Hoffmann H. C. 136
Hofmann D. 66, 104, 108, 150
Holland D. 307
Honermeier B.102, 168, 176, 178, 223, 317
Höppner F. 209
Howlett S. 333
Huang S. 323
Huber J. 118
Hubert S. 243, 245
Hübner W. 94
Hülsbergen K.-J.1, 66, 78, 112, 116, 118, 122, 150, 156, 166, 170, 203, 239, 297, 337, 341, 345
Huss H. 186
Jacob I. 82, 197
Jacobs A. 257
Jung L. S. 114, 188
Jung R. 329
Kage H.70, 126, 128, 229, 277, 305, 309
Kahlen K. 162
Kainz M. 166
Kanzler M. 180
Karsch F. 154
Kasper M. 341
Kassa G. D. 215
Kaul H.-P. 199, 201, 343
Kern D. 134
Khalsa J. 259
Kiesel A. 106
Killermann B. 172, 205
Klein D. 237, 239
Klein D.-P. 94
Klepatzki J. 335
Kluß C. 281
Knebl L. 247
Knieß A. 126, 277
Koch A. 213
Koch H.-J. 257
Köller K. 321
Kölling C. 237
Kottmann L. 160
Kraska T. 253
Kraus J. 227
Krautkremer B. 24, 152
Kren J. 249
Krieger J. 86, 140
Kroschewski B. 86
Kücke M. 88
Lamerre J. 110, 190
Lamersdorf N. 184, 273
Langhof M. 110, 285, 287
Laser H. 178, 317
Laub M. 68
Laun N. 122
Legner N. 195, 283
Leitch C. 273
Leithold G. 247, 297, 345
Lemmer A. 148
Lenz R. 213
Lewandowski I. 106, 142
Lichti F. 138
Liebhard P. 343
Link J. 291, 295, 339
Loewe K. 62
Löx R. 251
Lütke Börding S. 102
Machill S. 136
Machl T. 112
Maidl F.-X. 98, 112, 307
Makary T. 311
Manderscheid R. 164
Märländer B. 257
Mast B. 148

Masur D. 190
Meinen C. 195, 279, 283, 327
Meissner R. 191, 301
Merkt N. 275
Moenickes S. 124
Mueller K. 158
Müller J. 132
Müller M. 74
Müller T. 311
Mußhoff O. 257
Nemecek T. 102
Neubauer M. 339
Neugschwandtner R. 199, 201, 343
Ni K. 126, 277, 305
Nielsen K. 140
Novak J. 176
Nurk L. 231
Nußbaumer H. 207
Ochsenbauer M. 112
Oechsner H. 148
Offenberger K. 138
Ohnmacht B. 124, 265
Pacholski A. 70, 305, 309
Paeßens B. 70
Pahlmann I. 40
Papaja-Hülsbergen S. 166
Papenbrock J. 60
Pekrun C. 211, 213, 243, 245, 311, 321
Pelka N. 257
Peteinatos G. G. 295
Pflugfelder M. 227
Piepho H.-P. 289
Pude R. 74, 92, 233, 253
Rampérez-Carrasco M. 74
Rauber R. 195, 279, 283, 327, 329
Recknagel J. 207, 211
Reddersen B. 100, 231
Rehm A. 193
Reibe K. 315
Reichenberger G. 78
Reidl K. 213
Reinhardt-Hanisch A. 148
Reinicke F. 122
Remmele E. 239
Ren H. 32
Richter F. 273
Richter K. 237, 239
Richter V. 299
Rieckmann C. 235
Riedel C. 104, 108
Riepl C. 154
Röhl M. 213
Rössler A. 243
Rücknagel J. 257
Rühl G. 209, 285, 287
Rupp H. 191, 301
Russo M. 223
Salzeder G. 76, 82, 193
Sandhage-Hofmann A. 92
Saxler A. 74
Sayer J. 335
Schäfer B. C. 102, 178, 299, 317
Schattschneider P. 178, 317
Schilcher M. 112
Schittenhelm S. 160, 241
Schleissing S. 154
Schmid H. 1, 5, 6, 7, 66, 78, 97, 116, 118, 119, 122, 150, 156, 157, 170, 203, 204, 252, 297, 298, 316, 337, 341
Schmid M. 233
Schmidhalter U. 138
Schmidt C. 188
Schmidt M. 76
Schmidt S. 245
Schmidt W. 243
Schmidtke K. 136
Schneider R. 76
Schönbach P. 32
Schoo B. 241
Schrader S. 317
Schritz B. 134
Schrödter M. 191, 301
Schroetter S. 241
Schulz C. 237, 239
Schulz R. 311
Schümann K. 72
Schwarz K.-U. 110
Schwemmlein L. 319
Seidel A. 309
Sensel K. 140
Severin M. 88
Shafiee-Hajiabad M. 176
Siebrecht N. 78, 116, 166, 170
Sieling K. 128
Simon R. 66, 150
Smith J. 331
Spicker A. 98
Stauß B. 211, 321
Sticksel E. 66, 104, 108, 150

Stimm B. 186
Stockmann F. 54, 64, 146, 261
Strimitzer L. 239
Stülpnagel R. 255
Stumpf B. 168
Stützel H. 130, 162
Swieter A. 124
Taube F. 8, 32
Tauchnitz N. 191, 301
Thies B. 281
Thumm U. 142
Thuneke K. 239
Thyssen S. 120
Tomala F. 60
Übelhör A. 313
Ullmann M. 90
Urban A. 267
Urbatzka P. 76, 82, 193, 197
Valtanen K. 195
Vetter A. 114, 188
Vogel H. 347
Vogt H. 60
Voit B. 172, 205
Völkering G. 253
von Glisczynski F. 92
Wachendorf C. 96
Wachendorf M.52, 62, 96, 100, 152, 184, 231, 255, 259, 267, 269, 281
Wagener F. 92, 182
Wagentristl H. 343
Wahl M. 227
Wan H 32
Wassermann P. 325
Watermann F. 255
Weber E. A. 323, 325
Weber-Blaschke G. 156, 237, 239
Weigel H.-J. 164
Weiß K. 321
Wendland M. 138
Wessel-Terharn M. 241
Westerschulte M. 293
Weyer Th. 293
Weymann W. 128
Widmann B. 154, 239
Wiese F. 301
Wiesinger K. 271
Wiesler F. 122
Wilbois K. 207
Winkler L. 333
Winterling A. 271
Wittich K.-P. 160
Wittkopf S. 44
Wolf C. 237
Wolf S. 275
Wolfe M. 333
Wolfrum S. 166
Würfel T. 321
Yan F. 168
Zahner M. 275
Zander D. 58
Zecha C. W. 291
Zeise K. 174, 263, 303
Zerle P. 239
Ziegenhagel H. 313
Ziegler K. 199
Ziegler K. V. 201
Zikeli S. 68, 215, 275
Zimmermann C. 213, 243
Zutz K. 130