

**Mitteilungen der  
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften  
Band 24**

**Bodenfruchtbarkeit – Bedeutung und Bestimmung in Pflanzenbau und  
Bodenkunde**

Gemeinsame Tagung der  
Kommissionen IV (Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung) und VI (Bodenschutz  
und Bodentechnologie) der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft sowie der  
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

Beiträge in ausschließlicher wissenschaftlicher Verantwortung der jeweiligen Autoren
---

**Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft**

Kommission IV (Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung)

Vorsitzender: Prof. Dr. Torsten Müller

Kommission VI (Bodenschutz und Bodentechnologie)

Vorsitzender: Dr. Jens Utermann

**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

**Gemeinsame Tagung**  
**Kommissionen IV und VI der Deutschen**  
**Bodenkundlichen Gesellschaft**  
**Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.**

sowie

**55. Jahrestagung der GPW**

**24. bis 27. September 2012**

**Berlin**

**Bodenfruchtbarkeit – Bedeutung und Bestimmung**  
**in Pflanzenbau und Bodenkunde**

Kurzfassungen der Vorträge und Poster

Herausgeber  
C. Pekrun, M. Wachendorf, T. Müller,  
J. Utermann und A. Düker  
Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.

**Verlag Liddy Halm**  
**Göttingen 2012**

## Wir danken für die finanzielle Unterstützung:



### *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: Bodenfruchtbarkeit – Bedeutung und Bestimmung in Pflanzenbau und Bodenkunde

Kaupenjohann M.: Bodenfruchtbarkeit erkennen, erhalten und vermehren: Stand des Wissens und Perspektiven .....	1
Niggli U., A. Fließbach: Pflanzenbauliche Methoden und ihr Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit .....	5
Neeteson J.: Ecosystem services and carbon and nutrient cycling in agricultural systems .....	9
Joosten H., J. Couwenberg, A. Schäfer, S. Wichmann, W. Wichtmann: Perspektiven der Regeneration und Nutzbarmachung von Mooren .....	13
Tscharntke T.: Pflanzenbauliches Handeln bestimmt Biodiversität und assoziierte Ökosystemdienstleistungen in Agrarökosystemen .....	17
Ellmer F., T. Gäbert, M. Baumecker: Was sagen uns Dauerversuche über den Fruchtbarkeitsstatus der Böden? .....	21

### Vorträge im Wettbewerb der GPW: Ernst-Klapp-Zukunftspreis

Bühle L.: Ökobilanzierung extensiver Grünlandbewirtschaftung: Energieproduktion, tierische Veredelung und Kompostierung im Vergleich .....	25
Chen S.: Potential C sequestration in resown grass-clover swards: Effect of sward age and slurry application on belowground net primary production .....	29
Gajić A.: Kann die Anwendung von HTC-Biokohle zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit beitragen? .....	32
Gauder M.: Untersuchungen zur Umweltauswirkung und Effizienz des Energiepflanzenanbaus .....	36
Khalsa J.: Extensive Grünlandbiomasse zur Energiegewinnung: Einfluss von funktionellen Gruppen und Artenzahl auf verbrennungs- und vergärungsrelevante Parameter .....	40
Petersen U.: Phytodiversität im Dauergrünland – Einfluss auf Futterertrag und -qualität .....	44
Ratjen A. M.: Modellgestützte N-Düngung von Winterweizen .....	48
Starke P.: Ertragspotenzial und Anforderungen an die Qualität von Zuckerrüben bei der Vergärung .....	52

### Vorträge der DBG-Kommissionen IV u. VI: Biokohle/Kohlenstoffsequenzierung

Bischoff W.-A., A. Schwarz, J. Pfenning: Pyrolyse- und HTC-Kohlen als Bodenverbesserer auf sandigen Böden im Gemüsebau .....	56
Müller T.: Review: Sequestrierung von Kohlenstoff zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit – Was wissen wir wirklich? .....	58
Bargmann I., J.M. Greef, M. Kücke: Keimung, Wachstum und Nährstoffdynamik in Boden und Pflanze nach dem Einbringen von Biokohlen aus hydrothormaler Carbonierung (Hydrochar) und Pyrolyse (Biochar) .....	60
George C., M.C. Rillig, M. Kücke: Effekte von HTC-Biokohle auf die Bodenbiologie – Schwerpunkt arbuskuläre Mykorrhiza .....	62

## II

Brock C., U. Franko, H.-R. Oberholzer, K. Kuka, G. Leithold et al.: Humusbilanzen – Konzepte, Anwendung und Perspektiven .....	64
Hierold W., R.H. Ellerbrock, S. Stang: Muster der organischen Bodensubstanz (OBS) auf Ackerflächen – zur Regionalisierung von Menge und Qualität .....	66
Schulz F., G. Leithold, C. Brock: Ökologische Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung Effekte auf Erträge, N-Bilanzen und Bodenfruchtbarkeitsparameter .....	68
Wolfrum S., N. Siebrecht, S. Papaja-Hülsbergen, G. Lüscher, M. Arndorfer et al.: Indikatoren zur Regenwurmdiversität auf Ebene landwirtschaftlicher Betriebe - Entwicklung und Erprobung neuer Methoden am Beispiel Bayerischer Gemischtbetriebe .....	70
Siebrecht N., M. Kainz, H.J. Reents, K.-J. Hülsbergen: Modifizierende Effekte von Anbausystemen im Erosionsprozess und deren Berücksichtigung in der Erosionsmodellierung .....	72

### **Parallelsektion: Bodenfruchtbarkeit - Nährstoffe**

Appel T., J. Seelig, W. Phukdeecon: Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor und Schwermetallen aus pyrolysierten Klärschlämmen .....	74
Kamrath G., M. Kücke: Einfluss von N-Menge und Düngerverfahren (oberflächlich vs. Flüssigdüngerinjektion) auf die N-Konzentrationen im Sickerwasser – Ergebnisse 4jähriger Freilandmessungen .....	76
Lemme H., H.-J. Koch: Einfluss von Calcium-Gehalt und pH-Wert auf pflanzenverfügbares Kalium und Magnesium im Boden .....	78
Formowitz B., Beck R., R. Brandhuber, J. Burmeister, R. Walter: Einfluss von Biogasgärresten und Rindergülle auf biotische und abiotische Bodenparameter und Pflanzenwachstum .....	80
Heumann S., A. Fier, M. Haßdenteufel, H. Höper; W. Schäfer et al.: Reduction of Nitrate leaching by suboptimal mineral N fertilization depends upon crop-specific use of mineralized N: insights by simulating field net N mineralization .....	82
Andres M., U. Hagemann, M. Pohl, J. Augustin: N <sub>2</sub> O-Emissionen und N-Düngereffizienz beim Einsatz von Gärresten in Abhängigkeit von Bodentyp und ausgebrachter Menge .....	84
Christel W., S. Bruun, J. Magid, L.S. Jensen: DGT als schnelle Alternative zur Bestimmung der Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor in aufbereiteten landwirtschaftlichen Reststoffen .....	86
Appel T., C. Ganz, D. Heimerl: Pflanzenerträge, Kohlenstoffvorrat und Stratifikation der Pflanzennährstoffe im Boden unter dem Einfluss langjährig pflugloser Bodenbearbeitung mit und ohne Gründüngung .....	88
Hinck S., K. Mueller, N. Emeis: Beprobungsarme Standortkartierung durch den Einsatz von geoelektrischen Messsystemen .....	90
Zimmer J., F. Ellmer: Nährstoffversorgung ackerbaulich genutzter Böden im Land Brandenburg .....	92

### **Parallelsektion: Bodenfruchtbarkeit - Allgemein**

Trost B., F. Ellmer, M. Baumecker, A. Meyer-Aurich, A. Prochnow, K. Drastig: Einfluss der Bewässerung auf Erträge, Kohlenstoffinputs und C <sub>org</sub> -Gehalte bei differenzierter Stickstoffdüngung auf einem schwach schluffigen Sandboden .....	94
--	----

### III

Brozio S., T. Schatz: Untersuchungen der Ertragsvariabilität von Getreidestroh und dessen Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit .....	96
Meinen C., R. Rauber: Quantitative Analyse der Wurzelverteilung in einem Erbsen-Hafer-Gemenge mittels Fourier-Transform-Infrarot (FTIR) Spektroskopie.....	98
Isermann K., R. Isermann: Anforderungen an eine nachhaltige Bewirtschaftung von Böden hinsichtlich ihrer Bodenfruchtbarkeit und der Nährstoffe C, N, P, S vor dem Hintergrund aktueller nichtnachhaltiger Situationen .....	100
Joschko M., J. Rogasik, U. Franko, K. Kuka, J. Reinhold et al.: Beziehung zwischen Bodenorganismen und organischem Kohlenstoff in sandigen Böden.	102
Hagemann U., M. Pohl, M. Sommer, J. Augustin: Einfluss von Erosion auf den Bodenkohlenstoffhaushalt in einer glazial geprägten Landschaft NO-Deutschlands.....	104
Weyer T., K. Wedlich, S. Kempken, C. Zielinski, A. Schumacher et al.: Bodenverdichtung vermeiden – Verbessert konservierende Bodenbearbeitung die Bodenkenneiwerte?.....	106

#### **Parallelsektion: Nachwachsende Rohstoffe**

Amthauer Gallardo D., H. Röhle: Erfassung und Modellierung der Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten .....	108
Stolzenburg K., B. Deller: Auswirkungen des Anbaus von Kurzumtriebsgehölzen und Miscanthus auf den Wasser- und Bodenschutz .....	110
Graß R., R. Stülpnagel, M. Wachendorf: Energiepflanzenanbau in Zweikulturnutzungssystemen zur Biogaserzeugung an sieben Standorten in Deutschland .....	112
Biskupek-Korell B., H. Fischer, C. Knapwost, C. Schneider, S. Wartenberg: Züchtung und Vermehrung neuer Fasernesselklone – Ergebnisse aus drei Feldversuchsjahren.....	114
Reddersen B., T. Fricke, M. Wachendorf Einfluss der Biodiversität auf die Methanausbeuten extensiver Grünlandgesellschaften und deren Kalibration über Nahinfrarotspektroskopie .....	116
Gaudchau M., B. Honermeier: Untersuchungen zu Korn- und Biomasseerträgen von Korn-Sorghum ( <i>Sorghum bicolor</i> L.).....	118
Mohamed S., B. Honermeier, S. Schnell: Effect of plants containing terpenes on biogas and methane production .....	120

#### **Parallelsektion: Nähr- und Inhaltsstoffe**

Brandt C., B. Eichler-Löbermann: Wechselseitiger Einfluss des Wassergehaltes des Bodens und der Phytin-Zufuhr auf die Phosphor-Ernährung von Pflanzen .	122
Fischer J., H. Böhm: Vergleichende Fruchtfolgeanalyse zur Nitratverlagerung im Ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung der Vorfrüchte.....	124
Landgraf, A., K. Schmidtke: Quantifizierung der N-Rhizodeposition von Leguminosen.....	126
Lux G., K. Schmidtke: Reduzierung der Verunkrautung durch Einsatz von Grünguthäcksel unter Bedingungen des ökologischen Landbaus.....	128

## IV

Pacholski A., K. Ni, H. Kage: Wirkung der Bodenbedingungen auf N-Umsatz und -Aufnahme von Harnstoffdüngern unter dem Einfluss von Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren .....	130
Schweigmann M., F. Taube, H. Schulz, W. Schütze, M. Gierus: Tanningehalt und -struktur ausgewählter Pflanzenextrakte .....	132
Stieber J., K. Schmidtke: <sup>15</sup> N-Spurenanreicherung zur Ermittlung der N-Verwertung aus legumer Gründüngung durch Weizen in Systemen differenzierter Bodenbearbeitung .....	134

### **Parallelsektion: Ackerbau**

Gronle A., H. Böhm: Rein- und Mischfruchtanbau von Sommer- und Wintererbsen bei differenzierter Bodenbearbeitungstiefe im Ökologischen Landbau .....	136
Krieger J., M. Baumecker, B. Kroschewski, F. Ellmer: Erhebung von Bestandesparametern bei Zuckerrüben mittels spektrometrischer Messung .....	138
Küpfer P.-M., P.M. Antar, T. Kautz, U. Köpke: Photosynthese- und Transpirationsraten von Sommerweizen und Futtermalve in Abhängigkeit von Feldfutter-Vorfrüchten und deren Anbaudauer .....	140
Langensiepen M., M. Kupisch, A. Stadler, F. Ewert: Adaptation of wheat transpiration to soil heterogeneity.....	142
Loel J. und C. Hoffmann: Winterrüben - Überlebenschancen von Zuckerrüben bei Frost .....	144
Manderscheid R., M. Erbs, H.-J. Weigel: Vergleichende Untersuchung zur Wirkung erhöhter CO <sub>2</sub> -Konzentration und Trockenheit auf das Wachstum von Sorghum-Hirse und Mais.....	146
Neuschwandtner R., P. Herz, H.-P. Kaul: Ertrag und Ertragsstruktur von Weizen-Erbsen-Gemengen in Abhängigkeit des Aussattermins und des Mischungsverhältnisses .....	148
Massucati L., U. Perkons, B. Geib, U. Köpke: Temporäre Direktsaat von Ackerbohnen ( <i>Vicia faba</i> L.) im Ökologischen Landbau: Auswirkungen auf die Ackerbegleitflora.....	150
Weber, E.A., S. Gruber, W. Claupein: Variabilität der Dormanz in Rapsortiment nutzen und mit gering dormanten Sorten Durchwuchsrap vermeiden! .....	152
Gruber H.: Einfluss der Saatzeit auf den Ertrag von Blauen Lupinen im ökologischen Landbau .....	154
Knorre S., K. Förster: Saatguterzeugung von Sommerhartweizen ( <i>Triticum durum</i> Desf.): Keimungspotential und Keimfähigkeit ausgewählter Sorten in Abhängigkeit von den Erntebedingungen im Mitteldeutschen Trockengebiet ....	156

### **Parallelsektion: Bodenfruchtbarkeit - Humus**

Sommer H., G. Leithold: Humusbilanzmethoden zur Einschätzung der Humussituation.....	158
Klingebiel L., R. Stülpnagel, L. Bühle, R. Graß, M. Wachendorf: Humusbilanz verschiedener Anbausysteme für Energiepflanzen zur Biogaserzeugung .....	160
Gäbert T., F. Ellmer, M. Baumecker: Entwicklung des Bodenwassergehaltes bei differenzierter organisch-mineralischer Düngung auf einem leicht schluffigen Sandboden.....	162

### **Parallelsektion: Bodenfruchtbarkeit - Bodenbearbeitung**

Zimmer J., B. Dittmann, T. Bergner, B. Kroschewski, W. Schmidt: Einfluss von langjähriger Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug auf den Humusvorrat in der Ökologischen Fruchtfolge Güterfelde .....	164
Schmidt W., H. Götze, J. Zimmer, B. Dittmann, T. Bergner, B. Kroschewski: Einfluss von langjähriger Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug auf die Bodenstruktur in der Ökologischen Fruchtfolge Güterfelde .....	166
Zikeli S., S. Gruber, F. Teufel, W. Claupein: Reduzierte Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau: Auswirkungen auf organischen Kohlenstoff und den Nährstoffhaushalt im Boden .....	168
Wild M., R. Brandhuber, M. Demmel, A. Gronle, H. Böhm et al.: Auswirkung differenzierter mechanischer Bodenbelastungen auf ausgewählte Eigenschaften des Oberbodens und den Ertrag von Erbse in Reinsaat und Gemenge.....	170

### **Parallelsektion: Modellierung**

Böttcher U., E. Rampin, F. Flenet, H. Kage: Parametrisierung eines Phänologiemodells für Winterraps.....	172
Dobers E.S.: Verwendung von Daten der Bodenschätzung, der Ertragskartierung und Luftbildern für die Erzeugung von Standortkarten im GPS-gestützten Ackerbau .....	174
Neukam D., U. Böttcher, H. Kage: Ein neuer Ansatz zur Berechnung des Stomatawiderstandes für die dynamische Modellierung der Bestandestemperatur von Winterweizen .....	176
Thies B., K.-C. Kersebaum, R. Graß, M. Wachendorf: Simulation der Biomasseproduktion unterschiedlicher Anbausysteme für Energiepflanzen mit dem Modell HERMES .....	178

### **Poster Gruppe 1: Bodenfruchtbarkeit - Nährstoffe**

Kivelitz H., F.-F. Gröblichhoff, H. Laser, N. Lütke Entrup: Wirkungen einer Ausbringung von 230 kg/ha N aus Gülle auf die NO <sub>3</sub> -Konzentration im Bodenwasser unter Dauergrünland.....	180
Haase T., M. Grosse, E. Kölsch, J. Heß: Wirkung von reduzierter Bodenbearbeitung und Gründüngung auf die N-Verfügbarkeit unter der folgenden Hauptfrucht im Ökologischen Landbau.....	182
Hoffmann M., N. Jurisch, M. Giebels, J. Augustin: Der Einfluss von Wiedervernässung auf die Spurgasemissionen (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> und N <sub>2</sub> O) eines nordostdeutschen Niedermoorgebietes.....	184
Kirsten F., O. Nitzsche, W. Schmidt, J. Heinrich: Kohlenstoffdynamik und mikrobielle Umsatzprozesse von sächsischen Ackerböden bei differenzierter Bodenbearbeitung .....	186
Lemme H., H.-J. Koch: Einfluss von Calcium-Gehalt und pH-Wert auf das pflanzenverfügbare Phosphor im Boden .....	188



## VI

- Surböck A., M. Heinzinger, H. Schmid, J. K. Friedel, B. Freyer: Auswirkungen unterschiedlicher Dünungssysteme im ökologischen Ackerbau auf Nährstoff- und Humusbilanzen..... 190
- Tonn B., F. Kaemena, B. Schäbitz, J.S. Jerrentrup, J. Isselstein: Einfluss von Tierart und räumlicher Verteilung der Weidetiere auf die kleinräumige und großräumige Heterogenität der Bodennährstoffgehalte bei Rinder-, Schaf- und Mischbeweidung..... 192

### **Poster Gruppe 2: Bodenfruchtbarkeit - Allgemein**

- Chmelikova L., H. Schmid, M. Hejzman, K.-J. Hülsbergen: Wurzeigenschaften von Luzerne und Rotklee auf ökologisch bewirtschafteten Flächen mit unterschiedlicher Bodentextur ..... 194
- Jacobs A., H.-J. Koch: Speicherung von organischem Kohlenstoff unter Mulch- und Direktsaat ..... 196
- Knebl L., M. Nägele, G. Leithold, C. Brock: Methodenversuch zur Fraktionierung organischer Bodensubstanz für die Erfassung kurzfristiger Bewirtschaftungseinflüsse auf landwirtschaftliche Böden ..... 198
- Patzel N.: Grundlagen der Bodenfruchtbarkeit. Eine neue Broschüre für den deutschsprachigen Raum..... 200
- Übelhör A., J. Pfenning, W. Hermann, N. Billen, J. Morhard, W. Claupein: Erosionsschutz im Feldgemüsebau – Etablierung des Strip-tillage Verfahrens bei Weißkohl..... 202
- Bosak V.: Produktivität und Bodenfruchtbarkeit der Fahlerde in Abhängigkeit von Dauerdüngung..... 204
- Fuhrmann K.: Zwischenfrüchte fördern Bodenfruchtbarkeit..... 206
- Ulonska H.-J.: Die Textur als peologisches Kriterium für die Abgrenzung naturbedingt benachteiligter Gebiete – eine Zwischenbilanz ..... 208
- Sommer H., G. Leithold: Zur Humusbilanz auf den humuszehrenden Flächen ..... 210

### **Poster Gruppe 3: Nachwachsende Rohstoffe**

- Andruschkewitsch M, C. Wachendorf, M. Wachendorf: Kurzfristige Effekte von Gärresten auf mikrobiologische Indikatoren der Bodenqualität unter Berücksichtigung verschiedener Grasarten..... 212
- Graeff-Hoenninger, S., A. Präger, B. Duchon, C. Kohler, M. Füger, W. Claupein: Einfluss von Biokohle auf das Keimverhalten verschiedener Unkräuter und Kulturpflanzen ..... 214
- Graß R., R. Stülpnagel, M. Wachendorf: Einfluss des Saattermins auf die Dauer phänologischer Entwicklungsstadien von Mais und Sonnenblumen in Zweikulturnutzungssystemen zur Energiepflanzenerzeugung ..... 216
- Hensgen F., L. Bühle, M. Wachendorf: Erhalt der Biodiversität von Naturschutzgrünland durch eine dezentrale energetische Verwertung der Biomasse..... 218
- Huber J., K.-H. Häberle, H. Blascke, H. Schmid, K.-J. Hülsbergen: Ober- und unterirdische Biomasseleistung von Agroforstsystemen in der Versuchsstation Scheyern (Bayern) ..... 220
- Leschhorn B., B. Honermeier: Vergleich von theoretischer und gemessener Biogasausbeute von Zwischenfrüchten der *Brassicaceae* ..... 222

## VII

Mast B., S. Graeff-Hönninger, N. Merkt, R. Hernandez, W. T. French, W. Claupein: Untersuchung und Beurteilung verschiedener Biomassen auf ihre Eignung zur mikrobiellen Biodieselproduktion .....	224
Rademacher A., M. Haubold-Rosar: Gefäßversuch zur Düngewirkung von Terra Preta Substraten mit unterschiedlichen Kohlegehalten auf ertragsschwachen sandigen Acker- und Kippböden der Lausitz .....	226
Reents H.J., M. Kainz, K.J. Hülsbergen: Fruchtfolgen zur Biomasseproduktion für Biogas im ökologischen Anbausystem – ausgewählte Erträge und Bodenmerkmale .....	228
Schmitt A.-K., J. Lamerre, J. Rücknagel, B. Koblenz, S. Tischer, B. Hofmann, O. Christen: Auswirkungen des Anbaus von Kurzumtriebsplantagen und die Rückwandlung der Flächen in Ackerland auf ausgewählte bodenökologische Parameter.....	230
Schneider T., S. Graeff-Hönninger, W. T. French, R. Hernandez, W. Claupein, N. Merkt: Nutzung von Brauereiabwässern zur Produktion mikrobieller Öle und Pigmente .....	232
Stockmann F.: Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung – Ergebnisse des ersten Versuchsjahres .....	234
Drabkin D., K. Weinfurter: Wirkung von Terra Preta Substraten auf Boden und Baumwachstum auf Windwurfflächen und unter Weihnachtsbaumkulturen .....	236
Hartmann A.: Sorghum als Biogassubstrat – Ertragspotential bei optimaler und reduzierter Wasserverfügbarkeit .....	238

### **Poster Gruppe 4: Nähr- und Inhaltsstoffe**

Gäbert T., F. Ellmer, M. Baumecker: Einfluss differenzierter organisch-mineralischer Düngung auf Wachstum- und Entwicklung sowie auf Ertrag und Ertragskomponenten von Sommergerste .....	240
Hamacher M., R. Loges, F. Taube: Tanningehalte und Proteinbindungsvermögen sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe von Wiesenkräutern und alternativen Leguminosen.....	242
Kern A., F.-X. Maidl: Optimierung der Wintergerstendüngung unter Berücksichtigung des Biomasseaufwuchses.....	244
Hüging H., S. Siebert, F. Ewert: Impact of fertilization on crop yield anomalies in the long-term experiment Dikopshof.....	244
Makary T., R. Schulz, C. Pekrun, T. Müller: Einfluss unterschiedlicher N-Düngestrategien auf den Stroh- und Kornertrag sowie den Harvest-Index bei einem Winterweizen - Kompensationstyp .....	247
Makary T., R. Schulz, T. Müller, C. Pekrun: Ist eine gezielte Bestandesführung bei modernen Winterweizen-Sortentypen noch notwendig? .....	249
Paeßens B., A. Pacholski, R. Manderscheid, H.-J. Weigel, H. Kage: Wirkungen erhöhter atmosphärischer CO <sub>2</sub> -Konzentration und Trockenstress auf das Wurzelwachstum von Mais und Sorghum .....	251
Seidel A., A. Pacholski, T. Nyord, H. Kage: Ansäuerung von Rindergülle zur Minderung der NH <sub>3</sub> -Verluste nach Feldausbringung .....	253
Spicker A., F.-X. Maidl: Optimierung der Winterrapsdüngung unter Berücksichtigung des Biomasseaufwuchses.....	255

## VIII

Zecha C.W., J. Link, W. Claupein: Fluoreszenz- und Ertragsdaten im Vergleich unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Stickstoffdüngungsvarianten in Winterraps .....	257
Yan F., L. Hermann, B. Honermeier: Die Bestimmung der Antioxidativen Kapazität von Brot-Getreide .....	258

### **Poster Gruppe 5: Ackerbau 1**

Geipel J., W. Claupein: Anforderungen an unbemannt fliegende Sensorplattformen (Unmanned Aircraft Systems) als Entscheidungshilfe im Pflanzenbaumanagement .....	260
Grabendorfer S., H.J. Reents, M. Kainz: Phytosanitäre und ertragsphysiologische Wirkungen von Zwischenfrüchten im ökologischen Kartoffelanbau.....	262
Jung R., R. Rauber: Reduzierung der Verunkrautung durch Untersaaten in Ökomais .....	264
Klepatzki J., J. Sayer, F. Ellmer: Sortenleistung ausgewählter landwirtschaftlicher Fruchtarten unter verschiedenen Standortbedingungen in Brandenburg 2010/2011 .....	266
Kottmann L., Wittich K.-P., Wilde P., Richter N., Lilienthal H. et al.: Ertragsphysiologische Messmethoden zur Erfassung der Trockenstresstoleranz von Winterroggen .....	268
Krieger J., M. Baumecker, A. Muskolus, F. Ellmer: Einfluss des Ernteverfahrens auf Ertrag und Qualität bei Zuckerrüben .....	270
Krieger J., H. Herzog: Genotypische Wassernutzung und Alterung bei verschiedenen Sorghumgenotypen .....	272
Link-Dolezal J., J. Geipel, C. Zecha, W. Claupein: Erhebung aeraler Multispektraldaten in Winterweizen .....	274
Erbs M., R. Manderscheid, B. Burghardt, R. Duensing, K. Fiedler et al.: Auswirkung erhöhter atmosphärischer CO <sub>2</sub> -Konzentrationen auf den Wasserhaushalt von Mais und Sorghum-Hirse .....	275
Manderscheid R., F. Ewert, H. Kage, J. Müller, S. Siebert, H.-J. Weigel: Integrierte Multiskalenmodelle: ein neuer systemübergreifender Ansatz bei Kulturpflanzen zur Anwendung in der Biomasse- und Klimafolgenforschung auf der Grundlage innovativer Experimente .....	277

### **Poster Gruppe 6: Ackerbau 2**

Mitterbauer E., Erbs M., Enders M., Habekuß A., Kilian B. et al.: Untersuchung der Reaktionen verschiedener Gerstegenotypen auf zukünftige atmosphärische CO <sub>2</sub> -Konzentrationen .....	279
Pekrun C., C. Zimmermann, W. Schmidt: Möglichkeiten der Nutzung von Cycloxydim-resistenten Maisgenotypen für den Gemengeanbau mit Sonnenblumen .....	281
Pekrun C., S. Hubert: Stoppelbearbeitung und Ertragsbildung – kausale Zusammenhänge? .....	283
Fellenberg T., R. Rauber: Einfluss von Winterzwischenfrüchten auf den Ertrag von Energiemais.....	285
Roß C.-L., Erekul O., Ellmer F.: Anbauvergleich von deutschen und türkischen Winterweizensorten unter den Standortbedingungen der Ege-Region (Türkei) .	287

## IX

Russo M., B. Honermeier: Umwelt- und entwicklungsbedingte Modifikation der antioxidativen Wirkung von Zitronenmelisse ( <i>Melissa officinalis</i> L.) .....	289
Schäfer B.C., Merker C.: Auswirkungen von Saatstärke, Saattermin und Sorte auf den Ertrag von Winterweizen .....	291
Schnepel K., Hoffmann C.: Genotypische Unterschiede im Zuckerabbau bei der Lagerung von Zuckerrüben .....	293
Schwarz J., B. Pallutt: Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz .....	295

<b>Poster Gruppe 7: Ackerbau 3</b>
------------------------------------

Siebert S., F. Ewert: Impact of heat stress, drought and wetness on crop yield anomalies in Germany .....	297
Stadler A., M. Kupisch, M. Langensiepen, F. Ewert: Verbesserung von Pflanzenwachstumssimulationen durch Berücksichtigung von Bodenheterogenität .....	298
Stephan H., C. Hoffmann, H. Kage: Simulation der Vorwinterentwicklung von Winterrüben.....	300
Veh C., S. Graeff-Hönninger, W. Claupein, S. Grimes: Sensortechnologien im Ökologischen Landbau am Beispiel von Brokkoli ( <i>Brassica oleracea convar. botrytis var. italica</i> ) .....	302
Weber E.A., T. Ren, Z. Yan, M. Spuhler, S. Gruber et al.: Concepts for low-carbon economy in traditional cropping systems in China.....	304
Weymann W., U. Böttcher, K. Sieling, H. Kage: Untersuchung ertragsbeeinflussender Witterungsbedingungen während kritischer Entwicklungsstadien von Winterraps.....	306
Wolf S., S. Graeff-Hönninger, S. Zikeli, J. Pfenning, N. Merkt et al.: Ertrag und antioxidatives Potenzial samenfester Brokkoli-Genotypen im Vergleich zu konventionellen Brokkoli-Hybridsorten unter ökologischen Anbaubedingungen	308
Zeller S., B. Honermeier: Untersuchungen zur Bekämpfung von Falschem Mehltau bei Gartenkresse ( <i>Lepidium sativum</i> L.) unter den Bedingungen des ökologischen Anbaus – Vorstellung des Projektes und erste Ergebnisse .....	310
Zimmermann C., S. Hubert, S. Pflaum, B. Stauß, O. Jacobs et al.: Mähdruschsaat von Zwischenfrüchten – Auswirkungen auf die Ertragsbildung der nachfolgenden Hauptfrucht? .....	312
Dobers E.S., H.-H. Steinmann: Ableitung von Fruchtfolgen aus InVeKoS-Daten für die Analyse und Modellierung von Landnutzungssystemen in Niedersachsen .....	314
Reinsdorf E., H.-J. Koch: Ertragsbildung überwinterter Zuckerrüben ( <i>Beta vulgaris</i> L.).....	316
Shafiee Hajiabad M., B. Honermeier: Morphology and density of trichomes of <i>Origanum vulgare</i> L. in response to soil moisture regimes and nitrogen supply	318
Nendel C., R.M.G. Santos da Costa, A.M.R. Figueiredo: The variance behind statistical yield information on municipality level for the state of Mato Grosso, Brazil .....	320

<b>Poster Gruppe 8: Leguminosen</b>
-------------------------------------

Alpmann D., J. Braun, S. Rohn, B.C. Schäfer: Stärkung des heimischen Körnerleguminosenanbaus- Analyse erfolgreicher Anbau- und Eigenverwertungssysteme in landwirtschaftlichen Betrieben .....	322
Busch S., B. Eichler-Löbermann: Mischfruchtanbau mit Leguminosen – Effiziente Nutzung von Wachstumsfaktoren als Beitrag zum Ressourcen- und Gewässerschutz.....	324
Fischer J., H. Böhm: Ertragsleistung und Silagequalität von Mais im Mischfruchtanbau mit Bohnen .....	325
Gruber S., K. Maginot, S. Zikeli, W. Claupein: Anbau von Winterlinsen und Auswirkungen auf Ertrag und Unkrautdruck.....	327
Haase T., B. Hüsing, H. Schulz, M. E. Vergara, A. Mindermann et al.: Zum Einfluss von Saattermin und Sorte auf Jugendentwicklung, Abreife, Ertrag und Proteingehalt von Sojabohnen ( <i>Glycine max</i> ) an zwei Grenzstandorten.....	329
Neugschwandtner R., K. Ziegler, W. Link, H.-P. Kaul: Überwinterung und Ertrag von Winter-Ackerbohnen im Marchfeld in der Saison 2010/2011 .....	331
Neugschwandtner R., P. Herz, H.-P. Kaul: Stickstoffgehalte von Weizen-Erbsen-Gemengen in Abhängigkeit des Aussaattermins und des Mischungsverhältnisses .....	332
Pekrun C., S. Hubert, C. Zimmermann, W. Schmidt: Gemengeanbau von Mais mit Stangenbohnen – erste Ergebnisse aus Feldversuchen 2011 .....	333
Recknagel, J. , H. Nußbaumer, K. Wilbois: .Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland – Erste Ergebnisse eines BÖLN-Projekts.....	335
Simon R., Frank H., Hülsbergen K.-H.: Energie- und Treibhausgasbilanz des Sojaanbaus unter Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen – Methodik und erste Ergebnisse .....	337
Stauß B., C. Pekrun, J. Recknagel, K.-P. Wilbois: Sojaanbau in Baden Württemberg - Welche Sorten eignen sich für den heimischen Anbau? .....	339
Zimmer S., M. Meßmer, T. Haase, A. Mindermann, H. Schulz et al.: Eignung von <i>Bradyrhizobien</i> -Impfpräparaten zur Inokulation von Sojabohnen .....	341
Zurheide T., M.E. Vergara, H-W. Olf, D. Trautz: Untersuchung eines Vorquellverfahrens hinsichtlich des Einflusses auf Keim- und Jugendentwicklung bei Soja ( <i>Glycine max</i> ).....	343
<b>Autorenverzeichnis.....</b>	<b>345</b>





## **Bodenfruchtbarkeit erkennen, erhalten und vermehren: Stand des Wissens und Perspektiven**

Martin Kaupenjohann

Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, Fachgebiet Bodenkunde, Ernst Reuter Platz 1, 10587 Berlin. E-Mail: Martin.Kaupenjohann@tu-berlin.de

### **Einleitung**

Der WBGU (2011) sieht die Menschheit derzeit in ihrer dritten „großen Transformation“, vergleichbar nur mit der neolithischen und der industriellen. Eine pflanzenbau- und bodenkundliche Perspektive auf die sich weltweit vollziehenden Veränderungen lässt folgendes erkennen: (1) Bis Mitte des Jahrhunderts wird die Weltbevölkerung um weitere 2 bis 4 Mrd. Menschen in jenen Ländern anwachsen, in denen die Böden besonders stark degradiert sind (Cohen 2003). Zusammen mit veränderten Ernährungsgewohnheiten steigert dies den Bedarf an Nahrungsmitteln um mehr als 100% (Lal 2006). (2) Durch Erosion, Versalzung und Schadstoffbelastung werden weltweit jährlich 5 bis 10 Mio. ha Ackerland zerstört (Oldeman 1994). (3) Die je Erdenbürger verfügbare landwirtschaftlich nutzbare Bodenfläche sinkt bis 2050 auf nur noch ca. 1.500 m<sup>2</sup> (Lal 2006). (4) Der globale Energieverbrauch steigt jährlich um ca. 2,5%. Auf Böden erzeugte „Bioenergie“ soll zunehmende Anteile einnehmen. Hinzu kommt steigender Bedarf der chemischen Industrie an Rohstoffen aus der Bodenproduktion.

Diese Herausforderungen lassen eine neue „Grüne Revolution“ nötig erscheinen, die gleichzeitig die Biomasseproduktion stark steigert und negative Umweltwirkungen der Agrarproduktion minimiert (Conway 1999, „Doubly Green Revolution“).

Vor diesem Hintergrund kommt den alt hergebrachten Begriffen „Bodenfruchtbarkeit“ und „Bodenproduktivität“ heute eine vor wenigen Jahren noch nicht erkennbare Aktualität zu. Hinzu kommen neue Konzepte wie „Soil Health“ und „Soil Quality“, die neben der Produktionsfunktion auch andere Funktionen von Böden integrieren (Karlen et al. 1997).

Ziel dieses Vortrags ist es, die Begriffe zu klären, die Bedeutung von Bodenfruchtbarkeit und Bodenproduktivität für die Versorgung der Menschheit mit Nahrung und Energie herauszuarbeiten, neuere Ansprache- und Bewertungsmethoden für Bodenfruchtbarkeit vorzustellen und innovative Ideen zur Ressourcen schonenden Erhöhung der Bodenproduktion zu diskutieren.

### **Material und Methoden**

Der Arbeit liegt eine umfassende Literaturanalyse zu Grunde. Aus Platzgründen können in dieser Zusammenfassung nicht alle Zitate gelistet werden. Von besonderer Bedeutung sind Arbeiten von Patzel, Sticher und Karlen (2000), Karlen et al. (1997) und Allen, Singh und Dalal (2011). Bei der Suche nach in der Praxis gebräuchlichen Indikatoren und Bewertungsmethoden wurde auch „graue Literatur“ berücksichtigt, die online verfügbar ist. Zudem wurden Daten aus der online-Datenbank der FAO (FAO-STAT) genutzt, um Zusammenhänge zwischen dem globalen Düngerverbrauch und der Weltgetreideproduktion aufzuzeigen. Schließlich werden eigene Daten und Konzepte vorgestellt, die im Rahmen von Studien- und Doktorarbeiten derzeit in meiner Arbeitsgruppe gewonnen bzw. entwickelt werden.



## **Ergebnisse und Diskussion**

*Bodenfruchtbarkeit/Bodenqualität/Bodengesundheit/Bodenproduktivität:* Patzel et al. (2000) haben „Bodenfruchtbarkeit – Phänomen und Begriff“ in einem exzessivem Review mit 100 Zitaten von den Schriften Liebig's über Marx und Heidegger bis hin zu den modernen Naturwissenschaftlern analysiert. Sie kommen zu der Aussage, dass Bodenfruchtbarkeit „sich nicht als naturwissenschaftlicher Fachbegriff fassen“ lasse und stellen die Vielfalt von Definitionen in „mental Landkarten“ dar. Die darin abgebildeten Kernaussagen lassen jedoch erkennen, dass die Ertragsfähigkeit des Bodens („provides yield“) das Hauptmerkmal der Bodenfruchtbarkeit ist.

Das Konzept Bodenqualität geht darüber hinaus, indem es neben der Produktionsfunktion auch die übrigen Bodenfunktionen berücksichtigt (Karlen et al. 1997). Die Begriffe Bodenqualität und Bodengesundheit werden häufig synonym benutzt, obwohl letzterer insbesondere die Biodiversität im Boden und ökologische Funktionen, die Boden zu einer lebenden, dynamischen Ressource mit der Fähigkeit zur Selbstorganisation machen, in den Vordergrund stellt (Allen et al. 2011).

Bodenproduktivität stellt das Verhältnis von Ertrag zu Aufwand dar und ist entscheidend von Kenntnis und technischer Entwicklung abhängig. Böden mit hoher natürlicher Fruchtbarkeit müssen nicht zwingend auch gleichzeitig zusätzliche Investitionen in Dünger, Pflanzenschutzmittel oder Bewässerung in höhere Erträge umsetzen als von Natur aus weniger fruchtbare Böden. Es ist daher nötig, die Erträge, die allein auf den natürlichen Eigenschaften der Böden basieren zu unterscheiden von Erträgen, die auf Bodeneigenschaften beruhen, die Investitionen in Erträge transformieren. Bodenfruchtbarkeit und Bodenproduktivität basieren daher u.U. auf verschiedenen Bodeneigenschaften. In den armen Regionen der Erde, wo Subsistenzwirtschaft vorherrscht und keine freien Mittel für Investitionen vorhanden sind, ist das Wohlergehen der Menschen existenziell an die Bodenfruchtbarkeit gebunden. Vom Erhalt und der Förderung der Bodenfruchtbarkeit hängt damit das Schicksal der Menschen in diesen Regionen ab. Im Gegensatz dazu können in den reichen Regionen der Erde die Potenziale der Böden genutzt werden, um Investitionen in Erträge zu transformieren. Der enorme Einfluss des Nutzungssystems auf die Leistung von Böden lässt sich an der Entwicklung ihrer Tragfähigkeit seit prähistorischer Zeit bis heute ablesen (Smil, 2000). Die gezielte, intensive Bodenbewirtschaftung ermöglicht es, heute über 10.000 mal mehr Menschen zu ernähren als vor der neolithischen Revolution. Dies ist allerdings nur mit hohen externen Energie- und Stoffeinsätzen möglich, die nur begrenzt verfügbar sind und führt zu nicht hinnehmbaren globalen Umweltveränderungen, worauf Tilman bereits 1999 hingewiesen hat.

*Natürliche Bodenfruchtbarkeit erkennen/Bodendegradation vermeiden:* „... farmers ...judge great soil by feeling the smooth granules as they flow through their fingers...“, so USDA ([www.ars.USDA.gov/is/ar/archive/sep02/soil0902.htm?pf=1](http://www.ars.USDA.gov/is/ar/archive/sep02/soil0902.htm?pf=1)). Natürlicherweise fruchtbare Böden weisen lockere, krümelige A-Horizonte auf, sind tiefgründig durchwurzelbar, besitzen hohe Wasser- und Nährstoffspeicherfähigkeit und sind biologisch aktiv. Es liegen heute zahlreiche Schlüssel, Hinweise und Richtlinien zur Ansprache und Beurteilung jener Bodenmerkmale vor, die für die Bodenfruchtbarkeit entscheidend sind. Diese Darreichungen sollen vor allem in der Praxis genutzt werden, um Bodendegradation frühzeitig zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten. Bodendegradation ist hierzulande insbesondere als Folge von Bodenverdichtung und Raubbau am Bodenhumusvorrat zu beklagen. Mit Blick auf die Humusversorgung der Böden steht die zunehmende energetische Nutzung auch von Reststoffen wie Stroh auf dem Prüfstand. Es wird befürchtet, dass

die verbleibenden organischen Reste nicht ausreichen, die Humusproduktion zu sichern. Weltweit sind Versalzung und Erosion die bedeutendsten Ursachen für Bodenverluste.

*Boden fruchtbar machen:* Bodennutzung kann die Fruchtbarkeit von Böden erhöhen. Einen entscheidenden Schritt zur Verbesserung der Produktivität von Natur aus armer Böden machten die Menschen, als sie gezielt Nährstoffe in ihre landwirtschaftlichen Nutzungssysteme importierten und gleichzeitig die Nährstoffbindungs- und Wasserspeicherkapazität dieser ursprünglich unfruchtbaren Böden erhöhten, indem sie die Humusgehalte steigerten.

Auf den nährstoffarmen eiszeitlichen Sandern, z.B. in Norddeutschland, sind auf diese Weise die Plaggenesche entstanden. Humus und Nährstoffe wurden diesen Ackerböden seit etwa 600 n. Chr. durch Streunutzung aus benachbarten Wäldern zugeführt (Mückenhausen, Scharpenseel und Pietig 1968).

Das Beispiel für einen anthropogenen Boden, der unter tropischen Klimabedingungen aus ebenfalls ursprünglich unfruchtbaren Böden geschaffen wurde, ist die Terra Preta. Diese tiefgründig schwarzen Böden finden sich mosaikartig eingebettet in die ferralitische Bodenlandschaft Amazoniens (Glaser 2007).

Die Herkunft der in den Böden angereicherten Nährstoffe, insbesondere Phosphor, ist nicht abschließend geklärt. Funde lassen jedoch darauf schließen, dass ein nicht unerheblicher Teil aus aquatischen Systemen stammt. Diese Beobachtung ist insofern von grundlegender Bedeutung als daraus folgen würde, dass das auf Terra Preta basierende Landnutzungssystem nachhaltig auch in das natürliche, die agrarischen Nutzflächen umgebende Ökosystem eingepasst wäre, anders als die oben beschriebene Plaggenwirtschaft, deren Nährstoffanreicherung auf Kosten der Waldökosysteme geschah. Denn die Nutzung aquatischer Quellen würde Nährstoffe, die den terrestrischen Systemen durch Auswaschung und Erosion verloren gehen, wieder zurück auf die terrestrischen Böden bringen und damit einen Stoffkreislauf erzeugen. Hinzu kommt, dass sämtliche von den Menschen aufgenommen Nährstoffe auch wieder auf die landwirtschaftlichen Flächen zurück gebracht wurden. Das agrarische Nutzungssystem schließt also die anthropogen bedingten sowie die natürlichen Nährstoffflüsse zu Kreisläufen kurz. Woods et al. (2010) kommen in einer als konservativ bezeichneten Schätzung auf Tragfähigkeiten der Terra Preta von 24 bis 40 Menschen je ha. Terra Preta wird deshalb als Modell für produktive nachhaltige Landnutzung in den humiden Tropen gesehen, die die Tragfähigkeit von intensiver industrieller Landwirtschaft erreicht (Glaser 2007).

*Bodenproduktivität steigern:* Die Steigerung der Bodenproduktivität gehört zu den großen Aufgaben der agrarwissenschaftlichen Forschung, um die Nahrungs- und Energiebedarfe der Menschen auch künftig decken zu können. Dabei lassen sich aus meiner Sicht zwei grundlegend voneinander unterscheidbare Ansätze erkennen, die entweder auf „ökophysiologische“ oder „technische“ Intensivierung setzen. "Technische Intensivierung der Bodenproduktion" umfasst innovative Ansätze, die auch Gen- und Nanotechnik einschließen. "Ökophysiologische Intensivierung agrarischer Produktionssysteme" meint die Erforschung der systemaren Grundlagen von Ökosystemdienstleistungen zu dem Zweck, diese dann effizient im Sinne der landwirtschaftlichen Produktion abrufen/nutzen zu können. Dazu gehört z.B. die Frage, wie Nährstoffe aus den Unterböden für den Pflanzenbau erschlossen werden können. Auf ökophysiologische Intensivierung setzen z.B. Kiers et al. (2008) für die Lösung des Welthungerproblems.

Auf globaler Ebene kann die Bodenproduktivität kurzfristig durch den Düngereinsatz gesteigert werden. Die Analyse von Daten in FAOSTAT zeigt lineare

Zusammenhänge zwischen der Weltgetreide- und N-Düngerproduktion. Deutlich mehr als 50% des Stickstoffs verbleiben allerdings in der Umwelt, belasten Grund- und Oberflächenwässer, eutrophieren natürliche Ökosysteme und tragen schließlich als N<sub>2</sub>O auch zur Klimaerwärmung bei.

Die Verbesserung der N-Effizienz gehört damit zu einer weiterhin bedeutenden Aufgabe der agrarwissenschaftlichen Forschung. Hierzu möchte ich im Rahmen des Vortrags Potenziale aufzeigen, die sich durch die Integration von Energiepflanzen in die stärker auf Eiweißproduktion ausgerichtete Fruchtfolge zu Nahrungserzeugung ergeben. Es darf auch gedacht werden, in wieweit sich die Energieproduktion durch räumliche Integration z.B. von Photovoltaik in herkömmliche Ackernutzungssysteme steigern lässt. Hierzu werden im Vortrag Konzepte vorgestellt und unter Berücksichtigung der prognostizierten Klimaänderung Berechnungen zur Verbesserung der Wasser-ausnutzung in Brandenburg durchgeführt.

### Literatur

Allen, D.E., B.P. Singh & R.C. Dalal, 2011: Soil Health Indicators Under Climate Change: A Review of Current Knowledge. In: B.P. Singh et al. (eds) Soil Health and Climate Change, Soil Biology 29:25-40.

Cohen, J. E. 2003: Human Population: The Next Half Century. Science 302:1172-5.

Conway, G. 1999: The Doubly Green Revolution: Food For All In The Twenty-First Century. Penguin Books, London.

Glaser, B. 2007: Prehistorically Modified Soils of Central Amazonia: A Model for Sustainable Agriculture in the Twenty-First Century. Phil. Trans. R. Soc. B 362:187-96.

Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris & G.E. Schuman, 1997: Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). Soil Sci. Soc. Am. J. 61:4-10.

Kiers, E.T., R.R. B. Leakey, A.-M. Izac, J.A. Heinemann, E. Rosenthal, D. Nathan & J. Jiggins 2008: Agriculture at a Crossroads. Science, 320:320-1.

Lal, R. 2006: Perspective: Managing Soils for Feeding a Global Population of 10 Billion. Journal for the Science of Food and Agriculture, 86:2273-84.

Mückenhausen, E., H. W. Scharpenseel & F. Pietig, 1968: Zum Alter des Plaggeneschs. Eiszeitalter und Gegenwart 19:190-6.

Oldeman, L. R. 1994: Global Extent of Soil Degradation. In: Greenland, D. J. & I. Szabolcs (eds.), Soil Resilience and Sustainable Land Use . CAB International, Wallingford, S. 99 – 118.

Patzel, N. , H. Sticher & D.L. Karlen, 2000: Soil Fertility – Phenomenon and Concept. J. Plant Nutr. Soil Sci. 163:129-142.

Smil, V. 2000, zit. in: Lal, R. 2006: Perspective – Managing soils for feeding a global population of 10 billion. J.Sci.Food Agric 86:2280.

Tilman, D. 1999: Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. PNAS 96:5995-6000.

WBGU, 2011: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung – Globale Umweltveränderungen: „Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“, ISBN 978-3-936191-38-7.

Woods, W. I., W. M. Denevan & L. Rebellato 2010: Population Estimates for Anthropogenically Enriched Soils (*Terra Preta*) in Amazonia. In *Living on the Land: The Complex Relationship Between Population and Agriculture in the Americas*, edited by John Wingard and Susan Hayes. University of Colorado Press, Boulder.

## **Pflanzenbauliche Methoden und ihr Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit**

Urs Niggli<sup>1</sup> und Andreas Fließbach<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick. E-Mail: urs.niggli@fibl.org  
andreas.fliessbach@fibl.org

### **Einleitung**

Wegen der Anbaurichtlinien und der damit verbundenen Restriktionen im Pflanzenschutz und in der Düngung nutzen ökologisch wirtschaftende Betriebe die ganze Breite pflanzenbaulicher Maßnahmen, um die Erträge und die Ertragsstabilität zu verbessern. Dies betrifft vor allem die weite Fruchtfolge, die Integration von Leguminosen in die Fruchtfolge, Unter- und Mischsaaten, die Wahl der Kulturpflanzen nach guter Bodenbedeckung und unterschiedlicher Wurzeltiefe, die Grundbodenbearbeitung, mechanische Pflegemaßnahmen oder die organische Düngung. Auch die allgemeine Landwirtschaft wird wieder vermehrt auf diese Techniken zurückgreifen. Einerseits schränken Marktanforderungen wie GlobalGAP die Verfügbarkeit von Pflanzenschutzmitteln ein. Andererseits stagniert der züchterische Fortschritt bei den meisten Kulturpflanzen und es wird wieder mehr auf die gute Abstimmung pflanzenbaulicher Maßnahmen geschaut. Und schliesslich kann eine Verringerung der Klimagas-Emissionen nur durch eine Erhöhung der Boden-C-Gehalte sowie die Ablösung mineralischer Stickstoff-Dünger durch Leguminosen (Mulvaney et al., 2009) erreicht werden. Viele pflanzenbauliche Maßnahmen sind auch entscheidend, um die Resilienz (Widerstands- oder Anpassungsfähigkeit gegenüber äußeren Störungen) ackerbaulicher Produktionssysteme zu erhöhen.

Die Interaktionen pflanzenbaulicher Methoden mit der Bodenfruchtbarkeit können nur in Langzeitversuchen oder auf Dauerbeobachtungsflächen beurteilt werden. Solche Versuchsfelder sind nicht nur in Deutschland (Kögler-Knabner, 2005), sondern weltweit aus wirtschaftlichen Gründen unter Druck. In der Ökolandbau-Forschung spielen Dauer-Feldversuche immer noch eine große Rolle, da viele Prozesse, welche die Bodenfruchtbarkeit beeinflussen, langfristiger Natur sind (Urbatzka et al., 2011).

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die 74 Feldversuche, welche weltweit ökologische mit konventioneller Landwirtschaft vergleichen, sind vor allem in gemäßigten Zonen gelegen (Gattinger et al., 2012). Aus den Tropen gibt es kaum zuverlässige Daten zu Vergleichen mit dem Ökolandbau, weshalb das seit 2007 laufende Forschungsprogramm des FiBL in Kenia, Bolivien und Indien wichtig ist (Seufert et al., 2012).

Die Langzeitversuche zeigen eine deutliche Differenzierung der Bodenfruchtbarkeit zwischen ökologischen und nicht-ökologischen Anbausystemen (Raupp et al., 2006). Beispielhaft für diese Ergebnisse werden hier die Resultate des seit 1978 in der Schweiz laufenden Langzeit-Feldversuches DOK dargestellt (Mäder et al., 2002). Als Anbausysteme wurden Biologisch-Dynamisch (BIODYN), Organisch-Biologisch (BIOORG), Integrierte Produktion mit Wirtschafts- und Minereraldüngern (KONHFD)

und Integrierte Produktion mit Mineraldüngern (KONMIN) miteinander verglichen. Fruchtfolge, Sorten und Bodenbearbeitung sind in allen Systemen gleich. Dies ist nicht ganz systemkonform, da die konventionellen Verfahren von der biotypischen Fruchtfolge bezüglich Bodenfruchtbarkeit profitieren.

Die ökologisch bewirtschafteten Böden zeigten eine höhere biologische Aktivität. Demgegenüber wiesen chemische und physikalische Bodenparameter geringere Differenzen auf (Mäder et al., 2002). Die Aggregatstabilität, gemessen mit der Perkulationsmethode (Siegrist et al., 1998) und der Nasssiebmethode war in den ökologisch bewirtschafteten Böden um 10 bis 60 % gegenüber den konventionellen erhöht. Die Korrelation zwischen Aggregatstabilität und mikrobieller Biomasse ( $r=0,68, P<0,05$ ) sowie zwischen Aggregatstabilität und Regenwurmbiomasse ( $r = 0,45, P < 0,05$ ) war positiv. Der Phosphortransfer zwischen Bodenmatrix und Bodenlösung war im BIODYN System am intensivsten (Oberson et al., 1993).

Die mikrobielle Biomasse des Bodens stieg in der Reihenfolge KONMIN < KONHFD < BIOORG < BIODYN an. In den Öko-Systemen waren die Aktivitäten der Dehydrogenase, der Protease und der Phosphatase höher, was eine höhere Mikrobentätigkeit und ein größeres Abbaupotenzial für Proteine und organische Phosphorverbindungen anzeigt. Der Phosphorumsatz durch die mikrobielle Biomasse war in den ökologisch bewirtschafteten Böden schneller, und in der mikrobiellen Biomasse war mehr Phosphor gespeichert (Oberson et al., 1996; Oehl et al., 2001).

Die Gesamtlänge an mit Mykorrhizen kolonisierten Wurzeln war in den ökologischen Systemen 40 Prozent höher als in den konventionellen (Mäder et al., 2000). Die Biomasse und Anzahl der Regenwürmer waren in den ökologischen Parzellen um den Faktor 1,3 bis 3,2 höher als in den konventionellen (Pfiffner and Mäder, 1997). In den letzten beiden Fruchtfolgen haben sich die Regenwurmpopulationen in den konventionellen Verfahren wegen des Ersatzes von regenwurmtoxischen Desikkationsherbiziden bei den Kartoffelstauden wieder erholt (Birkhofer et al., 2008).

Die vorwiegend oberirdisch lebenden Arthropoden gelten als empfindliche Indikatoren für die Bodenfruchtbarkeit. Die mittlere Aktivitätsdichte von Laufkäfern, Kurzflüglern und Spinnen war in den ökologisch bewirtschafteten Parzellen fast doppelt so hoch wie in den konventionellen (Pfiffner and Niggli, 1996). Zwischen 28 und 34 Laufkäferarten lebten im BIODYN-System, 26 bis 29 Arten im BIOORG-System und 22 bis 26 Arten im KONHFD-System (Pfiffner and Niggli, 1996). Einige gefährdete Arten kamen nur in den beiden ökologischen Systemen vor. Neben dem Angebot und der Vielfalt an Beikräutern haben der Einsatz von Pestiziden und die Bestandesdichte der Kulturen Einfluss auf Vielfalt und Häufigkeit der Arthropoden.

### **Ausblick**

Die Diskussion um das Klimagas-Verminderungspotential der Landwirtschaft hat die Frage der Humusbildung ins Zentrum gerückt. Gattinger et al. (2012) untersuchten in einer wissenschaftlichen Metaanalyse von 74 Langzeit-Feldversuchen die C-Gehalte, die C-Vorräte und die Sequestrierungsleistungen verschiedener Anbausysteme. Ökologische und nicht-ökologische Anbausysteme unterscheiden sich dabei signifikant in allen drei Parametern. Die C-Vorräte waren in den Ökovarianten um

3.50±1.08 Mg ha<sup>-1</sup> höher und die Sequestrierungsraten um 0.45±0.21 Mg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>. Bezieht man diese Leistungen auf den erzielten Ertrag, sind die Vorteile des ökologischen Anbausystems geringer. Zu ähnlichen Schlüssen kommen auch die Ökobilanzierungen von ökologischen und konventionellen Anbausystemen (Nemecek et al., 2011).

Ebenso ist die Diskussion um die globale Ernährungssicherheit für den Ökolandbau eine Herausforderung, will er mehr sein als eine kleine Marktnische. Zwei neuere Metastudien von De Ponti et al. (2012) und Seufert et al. (2012) zeigen eine Ertragsverminderung von 20 % (362 Vergleichspaare) bzw. 25 % (316 Vergleichspaare) auf. Dabei wurde die geringere Stickstoff-Verfügbarkeit als ertragslimitierender Faktor identifiziert. Gerade am Stickstoff können aber die Trade-offs zwischen Produktivität und Bodenfruchtbarkeit exemplarisch dargestellt werden. Mulvaney et al. (2009) zeigten, dass synthetische N-Dünger zu einer mittelfristigen Verarmung des organisch gebundenen N und zu einer Abnahme der Kohlenstoffgehalte im Boden führen, was die Ertragsstagnation vieler konventioneller Anbausysteme erklären könnte. Was bei den Metaanalysen um die weltweiten Erträge des Ökolandbaus ermutigend ist, ist die Tatsache, dass die Ökoerträge in 25 % aller Studien bei 90 bis 180 % der konventionellen liegen. An diesem Potential muss wissenschaftlich gearbeitet werden, in der globalen Ökolandbauforschung wird dabei das Konzept der ‚*eco-functional intensification*‘ verfolgt (Niggli et al., 2008). Ebenso sind die Verminderung von Lebensmittelabfällen und die Vermeidung eines zu hohen Fleischkonsums Bestandteil des Konzeptes Ökolandbau.

Zu lange wurde die Optimierung der Grundbodenbearbeitung im Ökolandbau vernachlässigt, obwohl sie den Maschineneinsatz und damit den Energieverbrauch verringert, und ein grosses Potential zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und der Ertragsstabilität hat (Carr et al., 2012). Landwirte beklagen das vermehrte Auftreten von Problemunkräutern und eine verlangsamte Mineralisierung im Frühjahr bei reduziertem Pflugeinsatz. Diese Probleme werden von Forschungsteams in USA und Europa bearbeitet, um die zwei nachhaltigen Systeme Ökolandbau und reduzierte Bodenbearbeitung zu kombinieren. Mechanische Unkrautbekämpfung, Fruchtfolgegestaltung mit Gründüngung, organische Wirtschaftsdünger und Leguminosenanbau stehen dabei im Vordergrund. Die Ergebnisse sind sehr ermutigend, sowohl was die Ertragsstabilität als auch die hohen C-Sequestrierungsleistungen anbelangt (Berner et al., 2008; Gadermaier et al., 2012).

Der Ökolandbau ist eine gute Grundlage für die Entwicklung nachhaltiger und bodenschonender pflanzenbaulicher Anbausystemen. Angesichts schwindender natürlicher Ressourcen und fossiler Energieträger sowie den Erfahrungen mit Umweltbelastungen und Bodenerosion ist eine Intensivierung der Erträge über externe Betriebsmittel veraltet.

## Literatur

- Berner, A.; I. Hildermann; A. Fließbach; L. Pfiffner; U. Niggli and P. Mäder 2008: Crop yield and soil quality response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research* 101:89–96.
- Birkhofer, K.; T.M. Bezemer; J. Bloem; M. Bonkowski; S. Christensen; D. Dubois; F. Ekelund; A. Fließbach; L. Gunst; K. Hedlund; P. Mäder; J. Mikola; C. Robin; H. Setälä; F. Tatin-Froux; W.H. Van

- der Putten and S. Scheu 2008: Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biol Biochem* 40:2297-2308
- Carr, P.M.; P. Mäder; N.G. Creamer and J.S. Beeby 2012: Overview and comparison of conservation tillage practices and organic farming in Europe and North America. *Renewable Agriculture and Food Systems*: 27(1); 2–6.
- De Ponti, T.; B. Rijk and M.K. van Ittersum 2012: The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108, pages 1-9. Elsevier.
- Gadermaier, F.; A. Berner; A. Fließbach; K.J. Friedel and P. Mäder P 2012: Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renewable Agriculture and Food Systems*: 27(1); 68–80.
- Kögel-Knabner, I; H. Flessa; M. Schäfer; W. Weisser und L. Breuer 2005: Erhebung Dauerfeldversuche, durchgeführt im Auftrag der DFG – Senatskommission für Stoffe und Ressourcen in der Landwirtschaft. <http://www.agrarforschung.de/download/Dauerfeldversuche.pdf>.
- Gattinger, A.; A. Müller; M. Häni; C. Skinner; A. Fließbach; N. Buchmann; P. Mäder; M. Stolze; P. Smith; N. El-Hage Scialabba and U. Niggli 2012: Enhanced top soil carbon stocks under organic farming – a global meta-analysis, Working Paper. Submitted to the Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States PNAS.
- Mäder, P.; A. Fließbach; D. Dubois; L. Gunst; P. Fried and U. Niggli 2002: Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694-1697.
- Mäder, P; S. Edenhofer; T. Boller; A. Wiemken and U. Niggli 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biol. Fertil. Soils* 31, 150.
- Mulvaney, R.L.; S.A. Khan and T.R. Ellsworth 2009: Synthetic Nitrogen Fertilizers Deplete Soil Nitrogen: A Global Dilemma for Sustainable Cereal Production. *J. Environ. Qual.* 38:2295–2314.
- Niggli, U.; A. Slabe; N. Halberg; O. Schmid and M. Schlüter 2008: Vision for an Organic Food and Farming Research Agenda to 2025. Published by IFOAM EU Group and FiBL, Brussels and Frick: 48 pages.
- Oberson, A.; J.C. Fardeau; J.M. Besson and H. Sticher 1993: Soil phosphorus dynamics in cropping systems managed according to conventional and biological agricultural methods. *Biology and Fertility of Soils* 16, 111-117.
- Oberson, A.; J.M. Besson; N. Maire and H. Sticher 1996: Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. *Biol Fertil Soils* 21:138-148.
- Oehl, F.; A. Oberson; M. Probst; A. Fließbach; H.R. Roth and E. Frossard 2001: Kinetics of microbial phosphorus uptake in cultivated soils. *Biol Fertil Soils* 34:31-41.
- Pfiffner, L. and P. Mäder 1997: Effects of Biodynamic, Organic, and Conventional Production Systems on Earthworm Populations. *Entomological Research in Organic Agriculture. Biological Agriculture and Horticulture*, 15:3-10.
- Pfiffner, L. and U. Niggli 1996: Effects of Bio-dynamic, Organic and Conventional Farming on Ground Beetles (Col. Carabidae) and Other Epigeic Arthropods in Winter Wheat. In: *Biological Agriculture and Horticulture*, 1996, Vol 12, pp. 353-364
- Raupp, J. C. Pekrun; M. Oltmans and U. Köpke (editors) 2006: Long-term Field Experiments in Organic Farming. International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR). Scientific Series. Verlag Köster, Berlin. [www.verlag-koester.de](http://www.verlag-koester.de).
- Seufert, V.; N. Ramankutty and J.A. Foley 2012: Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485, 229-232. doi:10.1038/nature11069.
- Siegrist, S.; D. Schaub; L. Pfiffner and P. Mäder 1998: Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agric. Ecosystem Environ.* 69, 253-264.
- Urbatzka, P. K. Cais; A. Rehm und R. Rippel 2011: Status-Quo-Analyse von Dauerversuchen: Bestimmung des Forschungsbedarfes für den ökologischen Landbau. Bericht Bundesprogramm ökologischer Landbau. [http://orgprints.org/19317/1/19317-10OE036-lfl-rippel-2011-StatusQuo\\_dauerversuche.pdf](http://orgprints.org/19317/1/19317-10OE036-lfl-rippel-2011-StatusQuo_dauerversuche.pdf)

# Ecosystem services and carbon and nutrient cycling in agricultural systems

Jacques Neeteson

Plant Research International, Wageningen UR, Wageningen, The Netherlands. E-Mail: jacques.neeteson@wur.nl

## Introduction

Ecosystem services are the benefits people obtain from ecosystems. An ecosystem is the interacting system of living organisms (plants, animals and microorganisms) and their associated non-living environment. An ecosystem may range from a system at the small scale, e.g. a farm, to a system at the global scale, e.g. the entire planet. There exists a strong relationship between agriculture and ecosystem services. In this paper the relationship is described with emphasis on nutrient and carbon cycling. The paper is based on an earlier publication (Neeteson, 2011).

## The concept of ecosystem services

Four types of services are considered (Millennium Ecosystem Assessment, 2005): 1. provisioning services, i.e. products obtained from ecosystems, 2. regulating services, i.e. benefits obtained from the regulation of ecosystem processes, 3. cultural services, i.e. the non-material benefits people obtain from ecosystems, and 4. supporting services necessary for the functioning of all other ecosystem services. In Table 1 examples of ecosystem services are presented.

**Table 1:** Examples of ecosystem services.

Provisioning services	Regulating services	Cultural services	Supporting services
Food	Air quality regulation	Cultural diversity	Soil formation
Fibre	Erosion prevention	Inspiration	Photosynthesis
Fuel	Maintenance of soil fertility	Aesthetic values	Primary production
Genetic resources	Carbon sequestration and storage	Sense of place	Nutrient cycling
Fresh water	Disease and pest regulation	Cultural heritage values	Water cycling
		Recreation and ecotourism	Habitat for species

The concept of ecosystem services has been introduced to indicate that these services have a value which should be economically or ethically accounted for in policy making.

## Agriculture and ecosystem services

Agriculture has direct and indirect effects on the provision of ecosystem services and through soil management also on the provision of soil-related ecosystem services.

### *Ecosystem services directly related to agriculture*

The ecosystem services related to nutrient and carbon cycling in agricultural systems are the provision of food and the sequestration and storage of carbon.

#### Provision of food

Nutrients are an absolute prerequisite for agricultural production. Although many nutrients are already present in the soil, are biologically fixed or are provided by soil processes such as weathering, deposition and decomposition of organic matter, the



compensation of harvested and lost nutrients is indispensable for optimum plant growth. Nutrients are applied in the form of inorganic fertilisers and/or organic materials. The application of nutrients generally leads to considerably higher yields and thus contributes to a major extent to the production of food. High-input production systems require less land for production of a unit of food than low-input production systems. Nutrient application therefore also results in leaving more space for nature and may thus indirectly decrease the need for deforestation and other forms of land reclamation.

#### Sequestration and storage of carbon

During agricultural production massive carbon fluxes from and to the atmosphere occur through photosynthesis and respiration by plants, and by soil microbes and farm animals, respectively, but the net flux of carbon sequestration is small. It can be argued that agriculture only temporarily contributes to net carbon sequestration since 50-80% of the carbon sequestered is harvested from agricultural fields and is used for human and animal consumption or for other purposes such as use as biofuel. The carbon sequestered will then be released as CO<sub>2</sub> and be emitted to the atmosphere. Nutrient application increases crop yields and thus generates larger quantities of above- and below-ground crop residues. When crop residues are not removed from the field but are incorporated in the soil, they contribute to carbon sequestration because they are the precursors for soil organic matter, the main store of carbon in the soil. The annual gain in carbon storage, however, will be temporarily because after 40-60 years a new equilibrium will emerge between build up and decomposition of soil organic matter and from that moment on no further net storage of carbon will take place.

#### *Ecosystem services indirectly related to agriculture*

The use of nutrients in agricultural production systems may affect water and air quality through emission of nitrate, ammonia, nitrous oxide and phosphate. This implies that nutrient use in agriculture may have a negative effect on the ecosystem services fresh water provision and air quality regulation. Nitrate, phosphate and ammonia emission may also affect recreation and biodiversity through the eutrophication of water bodies used for recreational purposes and biodiversity in natural areas. Agriculture thus not only delivers ecosystem services, but also ecosystem dis-services.

#### Provision of fresh water

Nitrate is highly susceptible to leaching to ground and surface waters. Substantial quantities of nitrate are leached when the level of soil nitrate is high after harvest of the crop when there is no cover crop to absorb this so-called residual soil mineral nitrogen. Also application of cattle, pig or poultry slurry in autumn and winter may result in high nitrate leaching. Due to its low mobility in soils generally little or no leaching of phosphate takes place, unless soils are phosphate saturated, although phosphorus may still reach surface waters via surface run-off. These losses of nitrate and phosphorus lead to eutrophication of water.

#### Regulation of air quality

Nutrient use in agriculture may affect air quality through emission of ammonia and nitrous oxide. Ammonia is emitted after application of cattle, pig or poultry slurry and to a lesser extent after application of ammonium-containing fertilisers such as urea.

Nitrous oxide is produced in soils during nitrification of ammonium and during denitrification of nitrate. Ammonia volatilisation leads to soil acidification after it is deposited from air to soil, and nitrous oxide is a greenhouse gas. It should be mentioned that the use of nitrogen also results in emission of CO<sub>2</sub> to the atmosphere because inorganic nitrogen fertilisers are manufactured from ammonia and energy is required for the fixation of nitrogen from the atmosphere in an ammonia plant.

#### *Ecosystem services related to soil management*

Ecosystem services related to nutrient and carbon cycling in soils are the maintenance of soil fertility, prevention of erosion, and storage of carbon. Storage of carbon is already discussed in the previous paragraph.

#### Maintenance of soil fertility

Soil organic matter is an essential element of soil fertility. Soil organic matter is important for soil structure and soil water retention capacity, and plays a central role in soil nitrogen and carbon dynamics. In addition to that, organic matter has a positive effect on soil biodiversity. Applications of organic matter stimulate the activity of soil micro-organisms. When this occurs organic matter application may contribute to biological disease and pest regulation.

#### Prevention of erosion

Erosion occurs mainly through water movement, wind and tillage and is dependent on local soil and weather conditions. Estimates of the amount of soil that is lost by erosion in Europe vary from 5 to 40 t/ha per annum. Measures to prevent erosion generally aim at improving the infiltration capacity of soils to minimize runoff and to keep the soil surface covered to minimize transport of soil particles by wind. Examples are minimum tillage without removal of crop residues (mulching), ridge tillage, cover crop establishment, and conversion of arable land into grassland.

### **Nutrient management strategies to minimise agricultural ecosystem dis-services**

In the previous paragraph it was concluded that nutrient use in agriculture may cause agricultural ecosystem dis-services due to nutrient emissions. Nutrient management strategies should always aim at maximising nutrient-use efficiency. This can be achieved by decreasing nutrient application rates, better temporal and spatial matching of nutrient supply and demand, and improving fertiliser recommendations.

#### Decreasing nutrient application rates

Decreasing nutrient application rates will lead to higher nutrient-use efficiencies, although the resulting crops yields generally will be (much) lower. In less intensive crop production systems, such as low-input farming and organic farming, CO<sub>2</sub> emission is also reduced, because they rely less on inorganic fertilisers. However, since yields per hectare are lower under low-input farming, the total land requirement per unit of food will be larger. This may ultimately result in a higher ecological footprint per unit of produce than under intensive farming.

#### Better temporal matching of nutrient supply and demand

A better temporal match of nutrient supply and demand can be obtained by adjusting fertiliser application rates to the amounts of plant-available nutrients already present

in the soil and to the amounts that are likely to be mineralised during the growing season. Splitting nitrogen fertiliser application rates in several doses during the growth period is also an option, while adjusting the rates to soil mineral nitrogen and crop uptake of nitrogen during the growth period. Animal manure should only be applied during spring and summer time when there are crops present to absorb the nutrients supplied.

#### Better spatial matching of nutrient supply and demand

Due to its low mobility in soils phosphorus should be applied in the vicinity of the plant roots to ensure the spatial match between crop demand and phosphorus supply. This implies that in the case of crops with a wide row spacing the fertilisers or organic manures should be applied in bands close to the seed or planting rows, preferably in the subsurface of the soil. To minimise ammonia volatilisation from slurries, the slurry should be injected into the soil (grassland fields) or incorporated into the soil (arable fields) during, or immediately after, application.

#### Improving fertiliser recommendations

Fertiliser recommendations are, naturally, risk averting. This “better safe than sorry” approach may tempt farmers to apply “too much of a good thing”. There is hence need for a much more accurate assessment of the actual needs of a crop. Soil and plant based indicators definitely contribute to such temporally and spatially more precise fertiliser recommendations. Phosphorus fertiliser recommendations generally are based on chemical analysis of the phosphorus content in the soil and the crop-specific phosphorus demand. Due to the low mobility of phosphate, soil phosphate concentrations have to be relatively high for optimum plant production to enable crops to absorb phosphate through interception by roots. Most phosphorus fertiliser recommendations therefore aim at increasing soil fertility levels to the level required for optimum plant production. This may imply that very high quantities of phosphate are recommended (up to 500 kg P/ha per year, Römer (2006)). Since crop uptake of annual crops generally ranges from 10 to 25 kg P/ha, it is likely that there are opportunities to considerably increase phosphorus-use efficiency.

#### **References**

- Millennium Ecosystem Assessment 2005: Ecosystems and human well-being. Synthesis. Island Press, Washington. 155 pp.
- Neeteson, J.J. 2011: Nutrient and carbon cycling in agro-ecosystems and their interactions with ecosystem services. International Fertiliser Society Proceedings 688. Leek, United Kingdom. 20 pp.
- Römer, W. 2006: Vergleichende Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit von Phosphat aus verschiedenen P-Recycling-Produkten im Keimpflanzenversuch. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 169: 826-832.

## Perspektiven der Regeneration und Nutzbarmachung von Mooren

Hans Joosten<sup>1</sup>, John Couwenberg<sup>1</sup>, Achim Schäfer<sup>2</sup>, Sabine Wichmann<sup>1</sup> und  
Wendelin Wichtmann<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Greifswald; <sup>2</sup>Duene e.V., Greifswald; <sup>3</sup>Michael Succow  
Stiftung, Greifswald. E-Mail: joosten@uni-greifswald.de

### Einleitung

Die Besonderheit wachsender (= lebender = natürlicher) Moore als Ökosysteme besteht darin, dass sie keinen geschlossenen Stoffkreislauf besitzen. In wachsenden Mooren häufen sich langfristig dicke Schichten Torf an, weil aufgrund der dauerhaften Wassersättigung die Reste von abgestorbenen Pflanzen nicht vollständig abgebaut werden. Weltweit speichern Moore in ihrem Torf auf nur 3 % der Landfläche (etwa 4 Mio. km<sup>2</sup>) doppelt so viel Kohlenstoff wie alle Wälder der Welt in ihrer Biomasse. Bis in die 1970er Jahre wurden in Europa große Areale Moor für Landwirtschaft, forstliche Nutzung und Torfabbau entwässert. Demzufolge akkumuliert auf mehr als der Hälfte der Moorflächen Europas kein Torf mehr. In Deutschland sind etwa 99 % aller Moorböden entwässert und in einem Zustand anhaltender Degeneration. Dieser Aufsatz beschreibt die Degradation und ihre Folgen und die Perspektive der Moorregeneration und Nutzbarmachung unter nassen Bedingungen.

### Moordegradation

Die konventionelle land- und forstwirtschaftliche Moornutzung fordert eine Senkung des Wasserstandes. Dies führt generell zu einer unmittelbaren Verringerung der Evapotranspirationskühlung in der Landschaft und dem Verlust der moortypischen Biodiversität. Weil Torf weitgehend aus Wasser besteht, verursacht Entwässerung eine Sackung und Kompaktierung des Moorkörpers. Dadurch ändern sich die hydraulischen Eigenschaften der Torfe, was das Wasserspeichervermögen des Moores und die Regulation des Wasserabflusses verringert. Entwässerung führt weiterhin zur Oxidation der Torfe, die nicht länger wassergesättigt sind, und dadurch zu Emissionen von Treibhausgasen (CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O) in die Atmosphäre und von Nitraten in die angrenzenden Gewässer. Pauschal kann man sagen, dass jede Grundwasserabsenkung um weitere 10 cm zu CO<sub>2</sub> Emissionen von weiteren 9 Tonnen (!) pro Hektar und Jahr führt. Momentan sind die entwässerten Moore für 6 % (2 Giga-Tonnen) der jährlichen weltweiten anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. In der Europäischen Union emittieren die wenigen Prozent Moorböden 80% aller CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Acker- und Grünlandnutzung, in den norddeutschen Bundesländern verursachen entwässerte Moorböden 10-30 % der Gesamtemissionen (Joosten et al. 2009).

Entwässerte Moore verlieren – abhängig von Klima und Entwässerungstiefe – einige Millimeter bis mehrere Zentimeter an Torf pro Jahr. Die Verluste werden durch Pflügen, Kalken und Düngen, durch Wind- und Wassererosion und in manchen Regionen auch durch Torfbrände beschleunigt. Die fortschreitende Sackung der Mooroberfläche fordert – bei gleichbleibender Nutzung – eine andauernde Vertiefung der Entwässerung, was weitere Torfoxidation, Grabenvertiefung usw. nach sich zieht, ein Phänomen, das als „der Teufelskreis der Moornutzung“ bekannt ist. So haben die Niederländer in Tausend Jahren Moorentwässerung ihr moorreiches Land derartig

„heruntergewirtschaftet“, dass jetzt fast die Hälfte der Fläche unter dem Meeresspiegel liegt. Die andauernd sackende Mooroberfläche macht Schwerkraftdränung zunehmend schwieriger und erzwingt letztendlich die Einrichtung teurer Poldersysteme mit Deichen und Pumpen. Moorsackung führt außerdem zu einem erhöhten Überflutungsrisiko (vgl. New Orleans 2005) und zur Versalzung durch Eindringen von Meerwasser. In den Niederlanden und in Nordost-Deutschland hat die Moorsackung schon zur Aufgabe von zehntausenden Hektar Moorpolder geführt, weil der Erhalt der Entwässerungsinfrastruktur ökonomisch unzumutbar wurde. Oft wurden diese landwirtschaftlichen Sanierungen mit Naturschutzgeldern finanziert und als „win-win-situation“ mit Natur- und Klimaschutz präsentiert.

Vor allem im trockneren, kontinentalen Klima verursachen die Wasserstandsfluktuationen ein dauerndes Schrumpfen und Quellen des Torfes und die Bildung von Rissen. Dadurch wird der kapillare Aufstieg von Wasser erschwert und die oberflächigen Bodenschichten trocknen öfters und tiefer aus. Durch Aktivität von Bodenorganismen werden die oberen belüfteten Bodenschichten weiter aufgelockert und feinkörnig bis hin zu staub-trocken und völlig hydrophob, so dass nach einigen Jahrzehnten die dann verbleibenden schwarzen Wüsten keine Landwirtschaft mehr erlauben. Dies hat in Osteuropa zur Aufgabe von abertausenden Hektar ehemals landwirtschaftlich genutzter Moorflächen geführt.

Bis vor einigen Jahren schien die Ära der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung der Moore in den gemäßigten Zonen der Erde vorbei zu sein und ein Rückzug auf die besseren Mineralbodenstandorte war zu verzeichnen. Aktuell treibt weltweit der wachsende Bedarf an Nahrung, Rohstoffen und Energie die Landwirtschaft wieder zurück in die Moore. So führt die Nachfrage nach Biobrennstoffen in Deutschland zu einem sich schnell ausbreitenden Anbau von Mais für die Biogaserzeugung, wozu die Moorstandorte tiefer entwässert und großflächig gekühlt werden. Der Anbau von Biobrennstoffen auf entwässerten Mooren erzeugt deutlich mehr Emissionen als das Verheizen von Steinkohle, ist somit aus klimapolitischer und volkswirtschaftlicher Sicht irrsinnig. Er wird jedoch vom Energieeinspeisungsgesetz und von EU-Direktzahlungen, Prämien und selbst Agrarumweltprogrammen stimuliert und durch das Kyoto Protokoll ermöglicht. Der Ersatz von fossilen Brennstoffen wird nämlich im Energiesektor voll verrechnet, die viel größeren Emissionen aus dem Boden im Landnutzungssektor aber nicht berücksichtigt. In Südost-Asien wurden in den letzten Jahren Millionen Hektar Küstenmoore für Plantagenwirtschaft (vor allem Ölpalmen und Faserholz) entwässert. Weil dort der unvermeidbaren Sackung wegen der enormen tropischen Niederschläge nicht mit einer „Polder-Zwischenlösung“ zu begegnen ist, werden bald viele kaum über den Meeresspiegel gelegenen Moorflächen nicht mehr zu entwässern sein. So wird z.B. Sarawak (der malaiische Teil Borneos) in den nächsten Jahrzehnten 10% seiner Landfläche durch Flutung verlieren.

Es ist klar, dass entwässerungsbasierte Moornutzung eine Sackgasse darstellt. Dringend müssen neue Techniken entwickelt werden, die es erlauben, die produktive Nutzung von Mooren mit dem Erhalt bzw. der Wiederherstellung der Ökosystemdienstleistungen nasser Moore zu verbinden und die Umweltschäden herkömmlicher Moornutzung zu vermeiden.

### **Moorrestaurierung und -regeneration**

Die 'Moorrestaurierung' ist darauf gerichtet, wachsende Moore wiederherzustellen, d.h. das Torfwachstum wiederzubeleben. Deshalb wird sie auch als „Moorrevitalisierung“ bezeichnet. Ziel ist die Wiederherstellung der natürlichen landschafts-ökologischen Funktionen als Kohlenstoffsенке, Nähr- und Schadstofffilter, Wasserspeicher und Lebensraum. Eine völlige Regeneration ist dann eingetreten, wenn die standorttypischen Verhältnisse von vor der Entwässerung wieder hergestellt sind. Wiedervernässung ist der wesentliche Bestandteil jeder Moorrevitalisierung. Es geht darum, durch vermehrte Wasserspeisung bzw. geringere Wasserverluste die Wasserstände anzuheben und zu stabilisieren. Hierbei muss das Moor selbst wie auch seine Einbindung in die Landschaft, sowie sein Einzugsgebiet mit den jeweiligen raum-zeitlichen Fließmustern berücksichtigt werden.

Würde bisher die Moorwiedervernässung vor allem zur Wiederherstellung „neuer Wildnisse“ bzw. zur Stärkung einer moortypischen Biodiversität eingesetzt, gewinnt auf wiedervernässten Flächen die Entwicklung von Paludikulturen, nassen Formen von Land- und Forstwirtschaft, zunehmend Aufmerksamkeit (Wichtmann et al. 2010).

### **Nutzbarmachung**

Diese Alternative zu einer auf Entwässerung basierenden Land- oder Forstwirtschaft wird „Paludikultur“ (von palus [Lat.] = Sumpf) genannt: die nachhaltige Produktion von Biomasse auf wiedervernässten Mooren. Grundgedanke ist die Erzeugung von erntefähigen Roh- oder Brennstoffen bei gleichzeitiger Torfbildung (oder zumindest Torferhaltung) und die Wiederherstellung der damit verbundenen Ökosystemdienstleistungen (Joosten et al. 2012). Paludikulturen nutzen jenen Teil der Nettoprimärproduktion, der nicht in die Torfbildung eingeht. In hochproduktiven Mooren, die von Seggenrieden, Röhrichten und Bruchwäldern dominiert werden, können die oberirdischen Teile geerntet werden ohne die Torfbildungskapazität zu beeinträchtigen, weil die Torfe unterirdisch von einwachsenden Wurzeln, Radizellen und Rhizomen gebildet werden. Paludikulturen unterscheiden sich somit grundsätzlich von der herkömmlichen Moorbodennutzung, die auf Entwässerung beruht und durch Torfverzehr letztlich ihre eigene Grundlage vernichtet. Paludikulturen können die Akzeptanz der Wiedervernässung von herkömmlich bewirtschafteten Mooren erheblich erhöhen, weil durch sie Arbeitsplätze im ländlichen Raum geschaffen und erhalten werden. Derzeit sind erste Kulturverfahren in der Erprobungsphase. Auf nährstoffreichen Niedermoorstandorten geht es dabei um halmgutartige Biomasse aus Röhrichten, Rieden und Nassbrachen sowie um Erlenholz, auf nährstoffarmen Mooren, etwa abgetorften Regenmooren und Hochmoorgrünland, um den Anbau von Torfmoosen.

Im Sinne des Arten- und Habitatschutzes ist Paludikultur eine vernünftige Option. Im Zuge der Wiedervernässungen von landwirtschaftlich genutzten Niedermooeren entstehen aktuell großflächig Sümpfe mit zunächst (sehr) hohem Angebot an Nährstoffen und einem entsprechend hohen Austragsrisiko. Ziele des Artenschutzes sind in diesen noch über Jahrzehnte nährstoffreichen Sümpfen nur begrenzt realisierbar (eine wichtige Ausnahme bilden die Vögel). Auf diesen Standorte unterstützt Paludikultur die Festlegung und den Entzug von Nährstoffen. Durch Paludikultur können hier durch die regelmäßige Ernte frühe, offene Sukzessionsstadien erhalten werden. Dies bedeutet eine Verbesserung der Habitate für lichtliebende und konkurrenzschwache, seltene Moorarten. Gelungene Beispiele für die Verbindung von Artenschutz und Paludikultur sind die Vorkommen des global

bedrohten Seggenrohrsängers (*Acrocephalus paludicola*) in kommerziell genutzten Schilfflächen West-Polens, sowie das spontane Massenvorkommen von Sonnentau (*Drosera rotundifolia* und *D. intermedia*), Moosbeere (*Vaccinium oxycoccos*) und Schnabelsimse (*Rhynchospora alba*) auf Versuchsflächen zum Torfmoosanbau in Niedersachsen.

Positiv auf den Klimaschutz wirkt sich bei Paludikultur nicht nur die Wiedervernässung, sondern auch die Ernte von Biomasse aus, wenn die angebaute Biomasse dazu verwendet wird, fossile Roh- und Brennstoffe zu ersetzen. Paludikultur weist somit im Vergleich zu vielen anderen Klimaschutzmaßnahmen ein sehr günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Daher ist es wichtig, dass Moorschutzmaßnahmen in Klimaschutzprogramme eingebunden werden. Maßnahmen zum Moorschutz können also multifunktional wirken und bei der Umsetzung rechtlicher/politischer Vorgaben und Strategien (z.B. EG-Wasserrahmenrichtlinie, Nationale Strategie des Bundes zur Biodiversität, Klimaschutzziele, Bodenschutz) gute Dienste leisten.

### **Perspektiven**

Die gegenwärtige Situation der mitteleuropäischen Moore ist durch zwei gegenläufige Entwicklungstendenzen gekennzeichnet. Einerseits werden seit etwa 20 Jahren großräumig Moore restauriert. Auf der anderen Seite dauern die Degradationsprozesse bei der Mehrzahl der Moorflächen an und verursachen stets wachsende Kosten und immense Umweltprobleme. Deshalb ist die Restaurierung sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht ohne Alternative.

Die traditionelle Restaurierung verfolgt vor allem Ziele des Naturschutzes. Durch Paludikulturen können – neben landwirtschaftlicher Produktion und Arbeitsplätzen im ländlichen Raum – gleichzeitig nennenswerte Leistungen in weiteren Bereichen der europäischen Agrarpolitik erzielt werden, wie in den Bereichen Klimaschutz, erneuerbare Energien, Wassermanagement und Erhaltung der biologischen Vielfalt. Neben der Fortführung und dem Ausbau bestehender Agrarumweltprogramme bietet die Ökologisierung („Greening“) der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) Möglichkeiten zur investiven Förderung von Moorwiedervernässungsmaßnahmen.

Die Moorwiedervernässung und Umsetzung von Paludikulturen benötigen Fördermöglichkeiten für Planung, wasserbauliche und infrastrukturelle Umgestaltungen und Anpassung sowie für das Verfügbarmachen von Flächen. Die Etablierung nasser Nutzungsverfahren wird weiter maßgeblich von der Verfügbarkeit geeigneter, an sehr hohe Wasserstände angepasste Landtechnik abhängen. Mit einer finanziellen Unterstützung der Anschaffung der erforderlichen Maschinen und Geräte für die Land- und Waldwirtschaft kann ein entscheidender Anreiz geleistet werden, diese Verfahren in der Praxis durchzusetzen.

### **Literatur**

Joosten, H. 2009. The Global Peatland CO<sub>2</sub> Picture. Peatland status and drainage associated emissions in all countries of the World. Wetlands International, Ede. 10 S. + Tabellen.

Joosten, H.; M.-L. Tapio-Biström und S. Tol (Hsg.) 2012. Peatlands – guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 5. FAO, Rome, L + 96 p.

Wichtmann, W.; F. Tanneberger; S. Wichmann und H. Joosten 2010. Paludiculture is paludifuture.

Climate, biodiversity and economic benefits from agriculture and forestry on rewetted peatland.

Peatlands International 2010/1: 48-51.

## **Pflanzenbauliches Handeln bestimmt Biodiversität und assoziierte Ökosystemdienstleistungen in Agrarökosystemen**

Teja Tschardtke

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

### **Einleitung**

Agrarökosysteme sind nicht nur Produktionssysteme, sondern können auch als Ökosysteme mit einer besonderen Flora und Fauna und den assoziierten Ökosystemleistungen betrachtet werden (z.B. Tivy 1993). Wolfgang Tischler war einer der weltweit ersten Ökologen, die sich mit Produktionssystemen auseinandergesetzt haben, und seine materialreichen Bücher (Tischler 1965, 1998) sind nach wie vor überaus lesenswert. Nach dem Millennium Ecosystem Assessment (2005) lassen sich Ökosystemdienstleistungen in vier Kategorien einteilen: Kulturelle Dienstleistungen (Erholung, Heimatverbundenheit), bereitstellende Dienstleistungen (Nahrung, Wasser, Energie), regulierende Dienstleistungen (Bestäubung, Schädlingskontrolle, Klima) und unterstützende Dienstleistungen (Bodenbildung, Nährstoffkreislauf). Im Folgenden werde ich Agrarökosysteme charakterisieren und Ökosystemdienstleistungen in Beziehung zu pflanzenbaulichem Handeln setzen.

### **Charakteristika von Agrarökosystemen**

Agrarökosysteme – insbesondere Äcker - unterscheiden sich von naturnahen und natürlichen Ökosystemen durch eine Vielzahl von Merkmalen, die für pflanzenbauliches Handeln wichtig sind. Dabei kann grundsätzlich zwischen geplanter Biodiversität (Nutzpflanzen) und assoziierter Biodiversität (z.B. Ackerwildkräuter) unterschieden werden. (1) Äcker sind offene Ökosysteme mit einem großen Energie-Input (Agrochemikalien, Arbeit) und Output (Nutzpflanzen, Nahrung). (2) Äcker sind durch viele und unterschiedliche anthropogene Eingriffe (Störungen) geprägt – im Verlauf einer Saison und über mehrere Jahre wegen des Fruchtwechsels. In der Folge müssen sich Lebensgemeinschaften stetig re-organisieren. (3) Die anthropogenen Eingriffe führen zu einer Vereinfachung und Homogenisierung des Systems. (4) Acker-Lebensgemeinschaften sind von einer hohen Aussterbe-Wiederbesiedlungsdynamik geprägt. (5) Merkmale der Nutzpflanzen prägen die assoziierte Lebensgemeinschaft (Pflanzenarchitektur, Sorten, primäre vs. sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, Bestandesklima). (6) Aussaat-Zeitpunkt beeinflusst die Lebensgemeinschaften (Sommerung vs. Winterung). (7) Äcker kennzeichnet Pioniergesellschaften, wie sie auch natürlicherweise in stark gestörten Lebensräumen vorkommen (Küste, Überschwemmungsbereiche, aride Gebiete), und damit von schnellen Besiedlern mit geringer Konkurrenzkraft (alternative Wettbewerbsstrategien von annuellen vs. perennierenden Pflanzen). Viele und sich leicht ausbreitende Samen oder auch Luftplankton (Sporen, kleine Insekten) zählen dazu. Arten mit langsamen Populationsaufbau (z.B. Ameisen) fehlen weitgehend im Acker. (8) Pflanze-Tier-Nahrungsnetze sind einfach strukturiert. Beispielsweise sind die meisten Ackerwildkräuter nicht von Fremdbestäubung abhängig. (9) Die Bodenbearbeitung beeinträchtigt große Arten (z.B. Regenwürmer) mehr als kleine Arten. Das Abräumen des Ackers verringert Zersetzungsprozesse der Streu. Eine Förderung der Regenwurmdichten erfolgt durch Bodenruhe, organische Düngung, reduzierte Unkrautbekämpfung und ein feuchtes und ausgeglichenes Mikroklima.



### **Biodiversität und kulturelle Ökosystemdienstleistungen**

Pflanzenbauliches Handeln trifft nicht nur Arten, die für das Funktionieren und die nachhaltige Stabilität (Resilienz) von Agrarökosystemen wichtig sind. Kulturelle Ökosystemdienstleistungen sind auch von großer Bedeutung. Dazu zählt das öffentliche Interesse an weit verbreiteten Arten, die in Agrarlandschaften zuhause sind (Klatschmohn und Kornblume, Rebhuhn und Storch, Hase und Feldhamster). Der Rückgang ehemals häufiger Feldvögel ist gut dokumentiert (zB Whittingham 2011) und wird in Zentraleuropa als wesentliche Verarmung der heimischen Kulturlandschaft begriffen. Allgemeine Managementempfehlungen haben allerdings das Problem, dass Arten sehr unterschiedlich auf Veränderungen ihres Lebensraums reagieren. So bevorzugen Feldlerchen bevorzugt offene Landschaften und niedrige, lückenhafte Vegetation. Der Großteil der Feldvögel aber (wie Goldammer, Feldsperling) werden durch Hecken gefördert (Batary et al. 2010), die Feldlerchen aber meiden.

### **Funktionale Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen**

Warum brauchen wir die „assozierte“ (ungeplante) Artenvielfalt in Agrarökosystemen? Welche Bedeutung hat es z. B., dass im organischen Landbau 30% mehr Arten und 50% mehr Individuen vorkommen (Bengtsson et al. 2005)? Entgegen landläufiger Meinung sind die Lebensgemeinschaften im Agrarökosystem für dessen Funktionieren wichtig (Tscharrntke et al. 2010a, b; 2012b, c).

Ein weitgehender Verlust von Wildbienen in Agrarlandschaften würde die Produktion von Lebensmitteln erheblich verringern. Denn Bestäubung ist nicht nur wichtig für 88% aller Wildpflanzen, sondern auch für 70% der weltweit wichtigsten Nutzpflanzen und beeinflusst 35% der globalen Nahrungsmittelproduktion (Klein et al. 2007). Honigbienen können die Bestäubungsleistungen von Wildbienen nicht kompensieren, da sie meist wenig effektiv sind und nur im Zusammenspiel mit Wildbienen die gewünschte Leistung bringen (z.B. bei Kirschen, Holzschuh et al. 2012).

Ein weitgehender Verlust der natürlichen Gegenspieler von Schädlingen führt zu unvorhersehbaren Schädlingskatastrophen. Experimente mit dem Ausschluss von Räubern zeigen, dass die Dichten von Getreideblattläusen ohne Gegenspieler dreimal so hoch liegen (Thies et al. 2011). Zudem sollten momentan unscheinbare Pflanzenfresser ohne natürliche Gegenspieler zu neuen Schädlingen erwachsen.

Die verbreitete Annahme, ein Acker wäre eine biologische „Wüste mit Schmuckrand“, dem Randstreifen, geht fehl – ganz im Gegenteil ist mit tausend Arten pro Hektar Getreide rechnen (Tscharrntke et al. 2005). Schon Tischler (1998, p. 85) berichtet, dass Getreidefelder 100.000 bis 500.000 Laufkäfer pro Hektar aufweisen – und Spinnen wie Kurzflügelkäfer in ähnlichen Dichten vorkommen. Diese funktionell wichtigen Gruppen konsumieren große Mengen an Beute und sind (unter anderem) als bedeutsame Regulatoren von pflanzenfressenden Insekten bekannt.

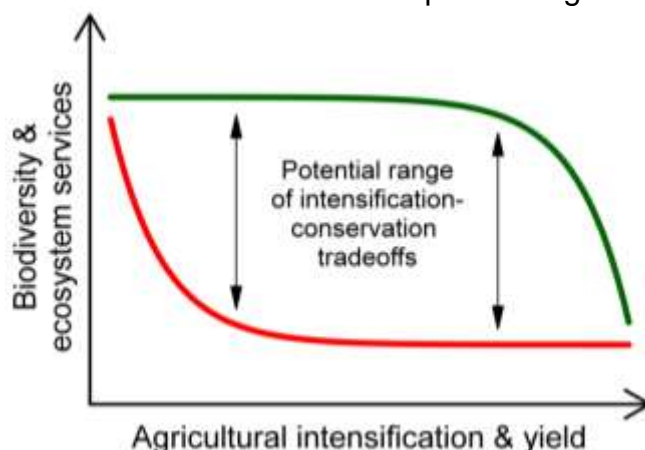
### **Diversifizierung von Agrarökosystemen**

Eine Erhöhung der genetischen Diversität bei Nutzpflanzen kann entscheidend die Anfälligkeit gegenüber Pathogenen reduzieren, z.B. eine 94% Verringerung der Reis-Blattbräune in China, verbunden mit einem 89% erhöhten Ertrag (Zhu et al. 2000). Genetische Diversität kann bei unvorhersehbar schwankenden Umweltbedingungen (Trockenheit, Frost) eine wichtige Versicherung sein. Vanloqueren & Baret (2008) zeigen, dass die Verwendung multi-resistenter Weizensorten in Europa den Fungizideinsatz erheblich reduziert und damit profitabler als Hohertragsorten macht, aber trotzdem von Landwirten nicht geschätzt wird.

Erhöhte Pflanzenvielfalt reduziert auch pflanzenfressende Insekten, da sie die Wirtssuche erschwert und die Kontrolle durch Gegenspieler erhöht. Letourneau et al. (2011) zeigen in ihrer Meta-Analyse, dass so Herbivoren unterdrückt, deren Feinde gefördert und der Schaden verringert wird. Allerdings gibt es auch negative Wirkungen der Diversifizierung, wie die Reduzierung des Ertrags und oft auch der Produktqualität. Entsprechend bedarf es einer gezielten Mischung von Sorten oder Arten, um ein System über Diversifizierung zu optimieren (ergänzende Nährstoffnutzung, Schädlingsreduktion, Gegenspieler- und Bestäuberförderung). Dazu gehört auch eine Minimierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, der oft entscheidend für Biodiversitätsverluste ist (Tscharrntke et al. 2010b; 2012b, c).

### Erhöhung des Struktureichtums in Agrarlandschaften

Struktureiche, komplexe Landschaften weisen eine höhere Dichte und einen höheren Artenreichtum als strukturarme, einfache Landschaften auf, was zu erhöhter Kontrolle pflanzenfressender Insekten und besserer Bestäubung von Kulturpflanzen beiträgt (Bianchi et al. 2006, Klein et al. 2007) In komplexen Landschaften gibt es z. B. einen verringerten Schaden durch Rapsglanzkäfer durch erhöhte Parasitierung (Thies und Tscharrntke 1999). In der aktuellen Agrar-Diskussion um die Kopplung von Direktzahlungen an die Ausweisung von 7% ökologisch wertvoller Lebensräume (Lakner et al. 2012) sind zwei wichtige Landschafts-Aspekte zu bedenken (Tscharrntke et al. 2012a). Die Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften ändert sich von einer Landschaft oder Region zur nächsten dramatisch, so dass die Biodiversität in Kulturlandschaften nur großräumig erhalten werden kann, wenn überall Strukturvielfalt erhalten oder geschaffen wird. Weiterhin ist es besonders effizient, strukturelle Verbesserungen (wie die Pflanzung einer Hecke) in ausgeräumten, einfach strukturierten Landschaften vorzunehmen. Denn in ohnehin komplexen Landschaften zeitigt so eine Maßnahme nur eine geringe Wirkung. Zusammenfassend ist festzuhalten dass pflanzenbauliches Handeln sich bewusster werden sollte, dass auch auf Nutzflächen eine kulturell und funktionell reiche Biodiversität anzutreffen ist, die es zu erhalten gibt. Es existieren eine Reihe von Möglichkeiten, auf lokaler Ebene und auf Landschaftsebene eine Intensivierung der Produktion zu betreiben, die ökologisch wie ökonomisch gleichermaßen einen Gewinn darstellt oder für Kompromisse genutzt werden kann (Abb. 1).



**Abb. 1** Biodiversität in Abhängigkeit von landwirtschaftlicher Intensivierung, um mögliche Kompromisse zwischen Biodiversitätsschutz und intensivierter Produktion zu illustrieren (Thies et al. 2010, Tscharrntke et al. 2012b, 2012c).

## Literatur

- Batáry, P.; T. Matthiesen und T. Tscharntke 2010: Landscape-moderated importance of hedges in conserving farmland bird diversity of organic vs. conventional croplands and grasslands. *Biological Conservation* 143: 2020–2027.
- Bengtsson, J.; J. Ahnström und A.C. Weibull 2005: The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42, 261–269.
- Bianchi, F.J.J.A.; C.H.J. Booij und T. Tscharntke 2006: Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society London B* 273: 1715-1727.
- Holzschuh, A.; J. H. Dudenhöffe und T. Tscharntke 2012: Landscapes with wild bee habitats enhance pollination, fruit set and yield of sweet cherry. *Biological Conservation* 153: 101–107.
- Lakner, S. et al. 2012: Der Kommissionsvorschlag zur GAP-Reform 2013 - aus Sicht von Göttinger und Witzenhäuser Agrarwissenschaftler(inne)n. Diskussionsbeitrag 1208, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Georg-August-Universität Göttingen, ISSN 1865-2697.
- Klein, A.M.; B.E. Vaissière; J.H. Cane; I. Steffan-Dewenter; S. A. Cunningham; C. Kremen und T. Tscharntke 2007: Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B* 274: 303-313.
- Letourneau, D. K. et al. 2011: Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications* 21: 9-21.
- Millennium Ecosystem Assessment 2005: Ecosystems and human well-being. Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Thies, C. et al. 2011: The relationship between agricultural intensification and biological control: experimental tests across Europe. *Ecological Applications* 21: 2187-2196.
- Thies, C.; Schreiber, J.; Flohre, A.; Fischer, C. und T. Tscharntke 2010: Diversität, Produktivität und landwirtschaftliche Intensivierung. In: V. Wolters und S. Hotes (Hrsg.), *Fokus Biodiversität*. Oekom Verlag, München, S. 171-175.
- Thies, C. und T. Tscharntke 1999: Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285: 893-895.
- Tischler, W. 1965: *Agrarökologie*. Fischer Verlag, Jena.
- Tischler, W. 1998: *Biologie der Kulturlandschaft*. Urban & Fischer, Mohn.
- Tivy, J. 1993: *Landwirtschaft und Umwelt. Stoffkreisläufe in Agrarökosystemen*. Spektrum Akademischer Verlag.
- Tscharntke, T.; P. Batáry und C.F. Dormann 2011: Set-aside management: How do succession, sowing patterns and landscape context affect biodiversity? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 143: 37– 44.
- Tscharntke, T.; C. Dormann; A. Holzschuh; A.M. Klein und C. Thies 2010a: Bedeutung und Management der Bestäubung in Kulturlandschaften. In: V. Wolters und S. Hotes (Hrsg.), *Fokus Biodiversität*. Oekom Verlag, München. S. 175-180.
- Tscharntke, T. et al. 2010b: Landschaftsmanagement für eine nachhaltige biologische Schädlingsbekämpfung. In: V. Wolters und S. Hotes (Hrsg.), *Fokus Biodiversität*. Oekom Verlag, München. S. 180-185.
- Tscharntke, T. et al. 2012a: Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biological Reviews* 87: 661-685.
- Tscharntke, T. et al. 2012b Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* 151: 53–59.
- Tscharntke et al. 2012c: Combining biodiversity conservation with agricultural intensification. In: Lindenmayer, D., S. Cunningham und A. Young (Hrsg.), *Land Use Intensification. Effects on Agriculture, Biodiversity and Ecological Processes*. CSIRO Publishing, S. 7-15.
- Vanloqueren, G. und P. V. Baret 2008: Why are ecological, low-input, multi-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study. *Ecological Economics* 66: 436-446.
- Whittingham, M. J. 2011: The future of agri-environment schemes: biodiversity gains and ecosystem service delivery? *Journal of Applied Ecology* 48:509-513.
- Zhu, Y. et al. 2000: Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406: 718-722.

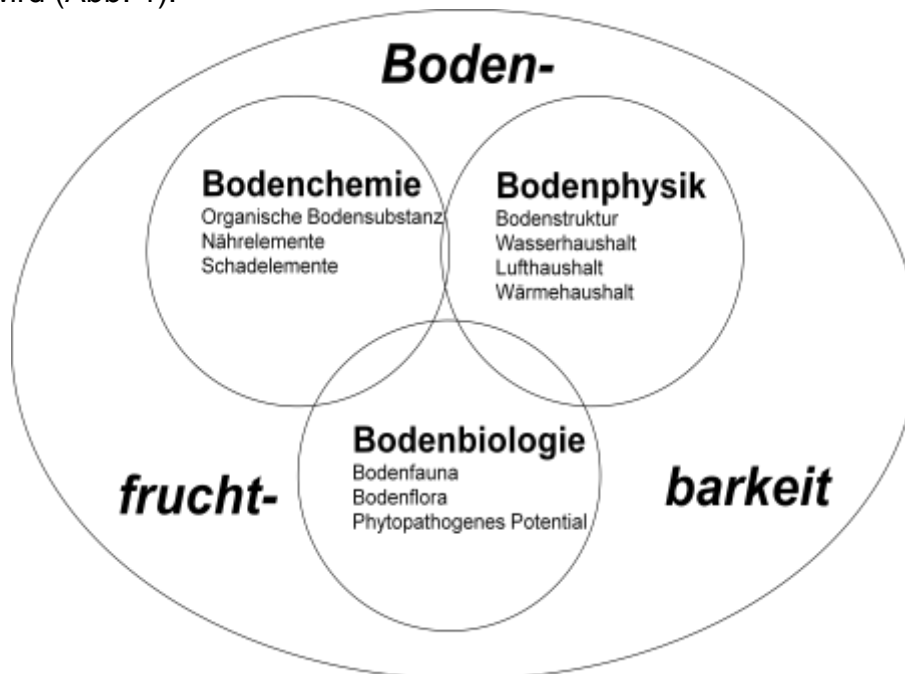
## Was sagen uns Dauerversuche über den Fruchtbarkeitsstatus der Böden?

Frank Ellmer<sup>1</sup>, Thomas Gäbert<sup>1</sup> und Michael Baumecker<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin; <sup>2</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Lehr- und Forschungsstation Thyrow, Dorfstraße 9, 14974 Thyrow E-Mail: frank.ellmer@agrar.hu-berlin.de

### Einleitung

Die Fruchtbarkeit der ackerbaulich genutzten Böden ist Voraussetzung und Bedingung für die biogene Stoff- und Energieerzeugung. Dabei bezeichnet der Terminus *Bodenfruchtbarkeit* den Anteil des Systems Bodens an der Ertrags- und Qualitätsbildung von Nutzpflanzen, welcher sich auf physiologische, phytosanitäre und technologische Funktionen von Böden gründet und durch ihre wechselseitig zusammenwirkenden physikalischen, chemischen und biologischen Zustandsgrößen bestimmt wird (Abb. 1).



**Abb. 1:** Bodenfruchtbarkeit als Funktion bodenchemischer, bodenphysikalischer und bodenbiologischer Zustandsgrößen

Dauerfeldversuche mit einer Laufzeit von mehr als 20 Jahren bieten für die Quantifizierung des Fruchtbarkeitsstatus von Böden gute Voraussetzungen, da sich unter dem Einfluss verschiedenster Prüffaktoren unterschiedliche Zustände im System Boden einstellen, welche mit bodenchemischen, bodenphysikalischen und bodenbiologischen Parametern erfasst werden können (Köpke et al. 2006, Southwood 2004). In Deutschland werden derartige Versuche aktuell noch an 19 verschiedenen Standorten durchgeführt: Sie sind weitgehend repräsentativ für die Verschiedenheit der geoökologischen Standortbedingungen.

Als Indikator für die chemische Komponente der Bodenfruchtbarkeit wird u. a. der Gehalt an organischem Kohlenstoff herangezogen. In den langjährig ungedüngten Prüfgliedern von Versuchen auf verschiedenen Standorten (Sandböden bis

Lößschwarzerden) variiert er standortabhängig zwischen 0,37 und 1,59 % um den Faktor 4,3. Die Prüfglieder mit langjähriger organisch-mineralischer Düngung erreichen Gehalte von 0,65 bis 2,48 % und variieren um das 3,8fache (Tab.1).

**Tab. 1:** C<sub>org</sub>-Gehalte von Böden in verschiedenen Dauerfeldversuchen in Deutschland

Standorte	Versuch	C <sub>org</sub> -Gehalte (%)		
		Minimum	Maximum	Differenz
Bad Lauchstädt	Statischer Düngungsversuch	1,59	2,48	0,89
Berlin-Dahlem	Statischer Versuch Bodennutzung	0,57	1,04	0,47
Darmstadt	Langzeitdüngungsversuch	0,80	1,10	0,30
Halle/Saale	Ewiger Roggenbau	0,83	1,25	0,42
Thyrow	Statischer Nährstoffmangelversuch	0,37	0,65	0,28

Neben der organischen Bodensubstanz sind die Gehalte an Nährelementen sowie die Bodenreaktion als weitere primäre Indikatoren für den Fruchtbarkeitsstatus heranzuziehen. Auf sandigen Böden bewirkt langjährig differenzierte Düngung große Spannen bei den verschiedenen Parametern. Die geringe Pufferfähigkeit dieser Böden führt bei unterlassener Düngung zu starker Beeinträchtigung des Fruchtbarkeitsstatus (Tab. 2).

**Tab. 2:** Bodenfruchtbarkeitsstatus im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow nach langjährig differenzierter Düngung (Mittel 2001-2010)

Prüfglieder	C <sub>org</sub> -Gehalt (mg 100 g <sup>-1</sup> )	P-Gehalt (mg 100 g <sup>-1</sup> )	K-Gehalt (mg 100 g <sup>-1</sup> )	pH-Wert
NPK+Kalk+Stallmist	660	14,3	14,9	5,9
Stallmist	557	8,2	7,1	4,7
NPK	438	8,1	8,1	4,3
NPK+Kalk	411	8,7	11,3	5,9
NK+Kalk	391	3,9	11,8	6,3
NP+Kalk	374	8,7	3,1	5,7
Ungedüngt	366	5,2	3,0	4,4
PK+Kalk	348	12,1	15,5	6,3

(Statischer Nährstoffmangelversuch Thyrow, Kreis Teltow-Fläming, Brandenburg; begründet 1937 auf schwach schluffigem Sand, 25 Bodenpunkte, 3 % Ton; nFK 11,3 mm)

Der C<sub>org</sub>-Gehalt variiert in diesem Versuch um das 1,8fache, der P-Gehalt um das 3,6fache, der K-Gehalt um das 4,8fache und der pH-Wert um 2 Einheiten. Ohne fortgesetzten Ersatz von Kohlenstoff durch organische Dünger sowie NPK und Kalk durch Mineraldünger hat sich der Fruchtbarkeitsstatus drastisch verschlechtert und führt zu erheblichen Ertragsverlusten bis zum Totalausfall.

Für die physikalische Komponente der Bodenfruchtbarkeit werden Parameter des Bodengefüges herangezogen. Dabei kann u. a. festgestellt werden, dass differenzierte Düngung die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit eines Sandbodens in weiten Bereichen verändert (Tab. 3).

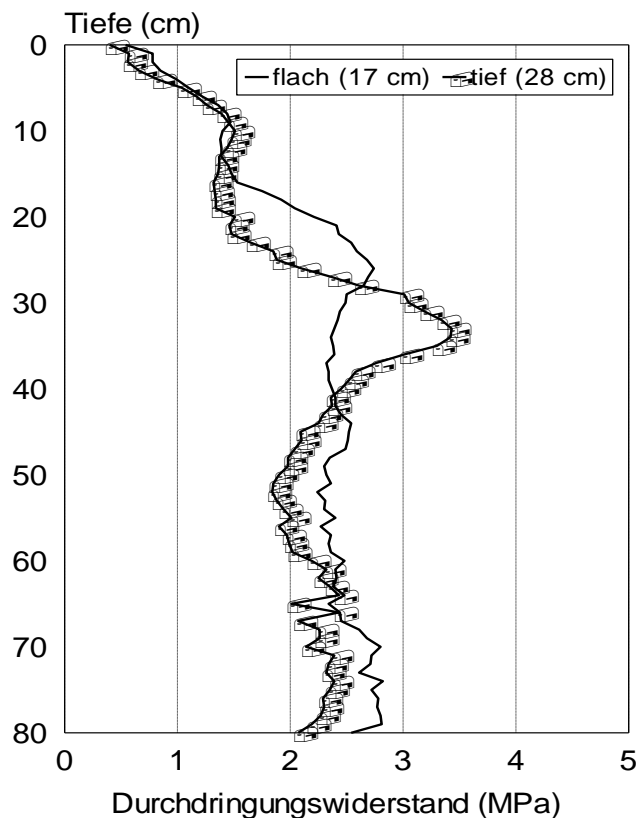
**Tab. 3:** Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit eines schwach schluffigen Sandbodens nach langjährig differenzierter Düngung (2011)

Prüfglieder	Mittelwert $K_s$ (cm d <sup>-1</sup> )	Standardabweichung
NPK+Kalk+Stallmist	122.5 c	39.2
Stallmist	93.0 bc	17.7
NPK+Kalk	55.9 ab	18.4
NPK	38.4 a	9.4

(Statischer Nährstoffmangelversuch Thyrow, Kreis Teltow-Fläming, Brandenburg; begründet 1937 auf schwach schluffigem Sand, 25 Bodenpunkte, 3 % Ton; nFK 11,3 mm)

Die Prüfglieder „NPK“ sowie „NPK+Kalk+Stallmist“ unterscheiden sich im  $C_{org}$ -Gehalt um den Faktor 1,5 (Tab. 2). Dies wirkt sich stark auf den Gefügestand des Sandbodens aus. Gemessen an der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit ist die Infiltrabilität im organisch-mineralisch gedüngten Prüfglied 3,2mal höher.

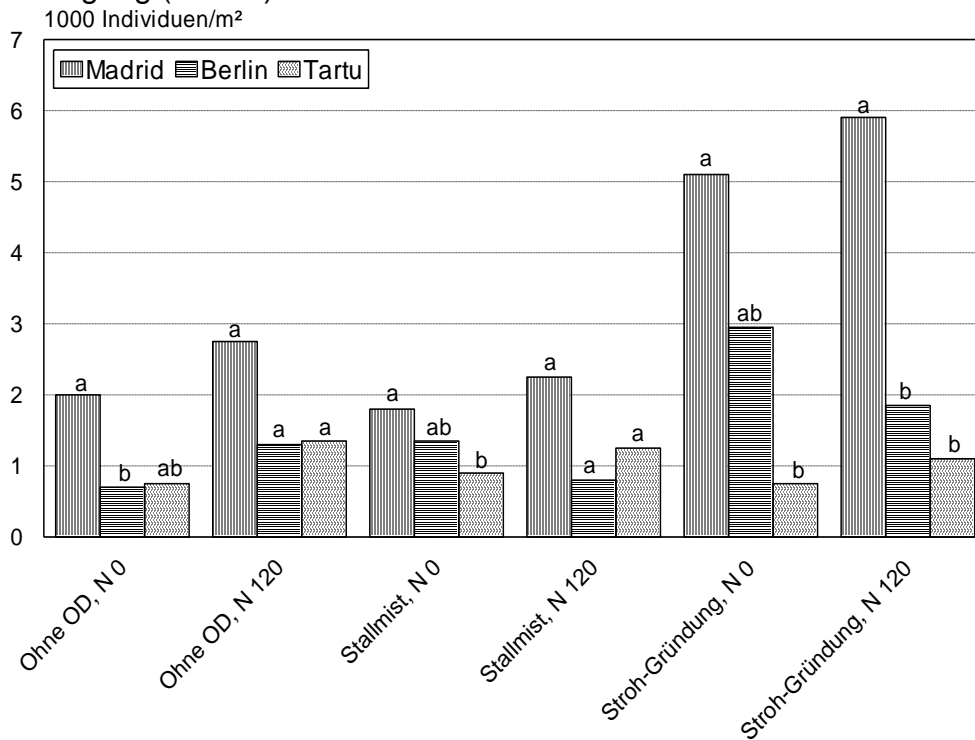
Neben den Wirkungen auf den Fruchtbarkeitsstatus in der Krume wirkt sich langjährig unterschiedliche Bodennutzung auch auf den Zustand tieferer Bodenschichten aus (Abb. 2).



**Abb. 2:** Durchdringungswiderstand des Bodens nach langjährig verschiedener Tiefe der Bodenbearbeitung (Statischer Versuch Bodennutzung Berlin-Dahlem, 2010)

Dauerhaft flache (17 cm) bzw. tiefe (28 cm) Bodenbearbeitung haben auf einer Braunerde/Fahlerde das Bodengefüge unterhalb des Ap-Horizontes deutlich verändert. Dabei hat die tiefe Bearbeitung eine Zunahme des Durchdringungswiderstandes unterhalb des Bearbeitungshorizontes um 1 MPa zur Folge. Flache Bodenbearbeitung begünstigt somit auf längere Sicht den Fruchtbarkeitsstatus des sandigen Standorts.

Veränderungen des bodenbiologischen Zustandes infolge langfristiger Einflüsse sind im makro-, meso- und mikroskaligen Bereich des Edaphons nachweisbar. Die biologische Komponente der Bodenfruchtbarkeit kann somit anhand einer Vielzahl von Aktivitäts- und Leistungsparametern des Edaphons bestimmt werden. Im seit 1984 laufenden Internationalen Organischen Stickstoff-Dauerdüngungsversuch (IOSDV) wurde dazu nachgewiesen, dass neben der Menge vor allem die Form organischer Düngestoffe die bodenbiologische Aktivität beeinflusst. Nach kombinierter Stroh- und Gründüngung war die Abundanz von Bodenmikroarthropoden um das Zwei- bis Dreifache höher als nach Stallmistdüngung (Abb. 3).



**Abb. 3:** Individuendichten von Mikroarthropoden nach langjährig differenzierter Düngung im Internationalen Organischen Stickstoff-Dauerdüngungsversuch an den Standorten Madrid, Berlin, Tartu (Kautz et al. 2006)

Der bodenbiologisch determinierte Fruchtbarkeitsstatus der Böden wurde in diesen Untersuchungen langfristig am besten durch Stroh- und Zwischenfruchtgründüngung gefördert. Dauerfeldversuche ermöglichen somit die standortbezogene Quantifizierung des Fruchtbarkeitsstatus von Böden in Bezug zum jeweiligen Bodennutzungssystem.

### Literatur

- Kautz, T.; Ch. Lopez-Fando.; F. Ellmer (2006): Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. *Applied Soil Ecology*. 33.278-285
- Köpke, U.; Ch. Dahn; F. Täufer; J.G. Zaller (2006): Soil fertility in a long-term field experiment with organic and biodynamic farmyard manure amendment. In: *Long-term Field Experiments in Organic Farming*. Verl. Köster Berlin. 33-40
- Southwood, T.R.E.: (1994): The importance of Long-term Experimentation. In: *Long-term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences*. CAB International Wallingford/UK. 3

# **Ökobilanzierung extensiver Grünlandbewirtschaftung: Energieproduktion, tierische Veredelung und Kompostierung im Vergleich**

Lutz Bühle

Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel, Steinstr. 19,  
37213 Witzenhausen. E-Mail: buehle@uni-kassel.de

## **Einleitung**

Extensiv bewirtschaftetes Grünland hat eine herausragende Bedeutung für den Erhalt der biologischen Vielfalt und gehört größtenteils zu den europäischen Schutzgebieten, die im Rahmen der Umsetzung der Flora-Fauna-Habitat- und der Vogelschutz-Richtlinie etabliert wurden. Der Fortbestand dieser Vegetationen ist auf eine regelmäßige Nutzung angewiesen, jedoch in vielen europäischen Regionen aufgrund abnehmender Bestände an rauhfutterfressenden Tieren nicht mehr gewährleistet. Bereits heute ist in manchen Bundesländern ein Viertel des Extensivgrünlands ohne Nutzung. Die Folge einer Unternutzung ist der Verlust der vorhandenen Lebensraumtypen durch zunehmende Artenverarmung und Verbuschung. Alternative Konzepte für die Bewirtschaftung und Nutzung extensiver Grünlandbestände in Ergänzung zur traditionellen Futterproduktion sind somit gefragt. Die energetische Verwertung der Grünlandaufwüchse bietet diesbezüglich vielversprechende Perspektiven für eine ökologisch und ökonomisch nachhaltige Grünlandpflege und -verwertung, die für den Erhalt der vorherrschenden Vegetationen unerlässlich ist.

Aufgrund der fortgeschrittenen Lignifizierung durch den späten Schnitttermin sowie der großen Heterogenität in der stofflichen Zusammensetzung stellt Grünlandbiomasse von artenreichen, extensiv bewirtschafteten Flächen besondere Ansprüche an die energetische Verwertung im Vergleich zu ackerbaulichen oder forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Geringe Biogasbildungsraten als Folge limitierter Abbaubarkeit machen diese Biomasse unrentabel für die anaerobe Vergärung, und hohe Mineralstoffgehalte erschweren eine direkte thermische Verwertung über die Verbrennung in herkömmlichen Öfen.

Das Verfahren der Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB) ist an die Eigenschaften extensiver Grünlandbiomasse angepasst, da es durch eine stoffliche Trennung mineralische Schadstoffe aus der Biomasse für die Brennstoffnutzung weitestgehend entfernt und dabei gleichzeitig ein hochverdauliches Flüssigsubstrat für die Biogaserzeugung zur Verfügung stellt (Wachendorf et al., 2009).

Dieser Beitrag bewertet das IFBB-Verfahren im Rahmen der Energie- und Emissionsbilanzierung und vergleicht es mit alternativen Konversionstechniken wie der Trockenfermentation und Heuverbrennung. Zusätzlich wird die tierische Verwertung über die Rinderhaltung sowie nicht veredelnde Verfahren wie Mulchen und Kompostierung analysiert.

## **Material und Methoden**

Die Ökobilanzierung erfolgte gemäß den Prinzipien der Lebenszyklusanalyse und betrachtet damit die gesamte Prozesskette der Produktbereitstellung von der Biomasseproduktion über die Verwertung bis hin zu der Entsorgung von Reststoffen



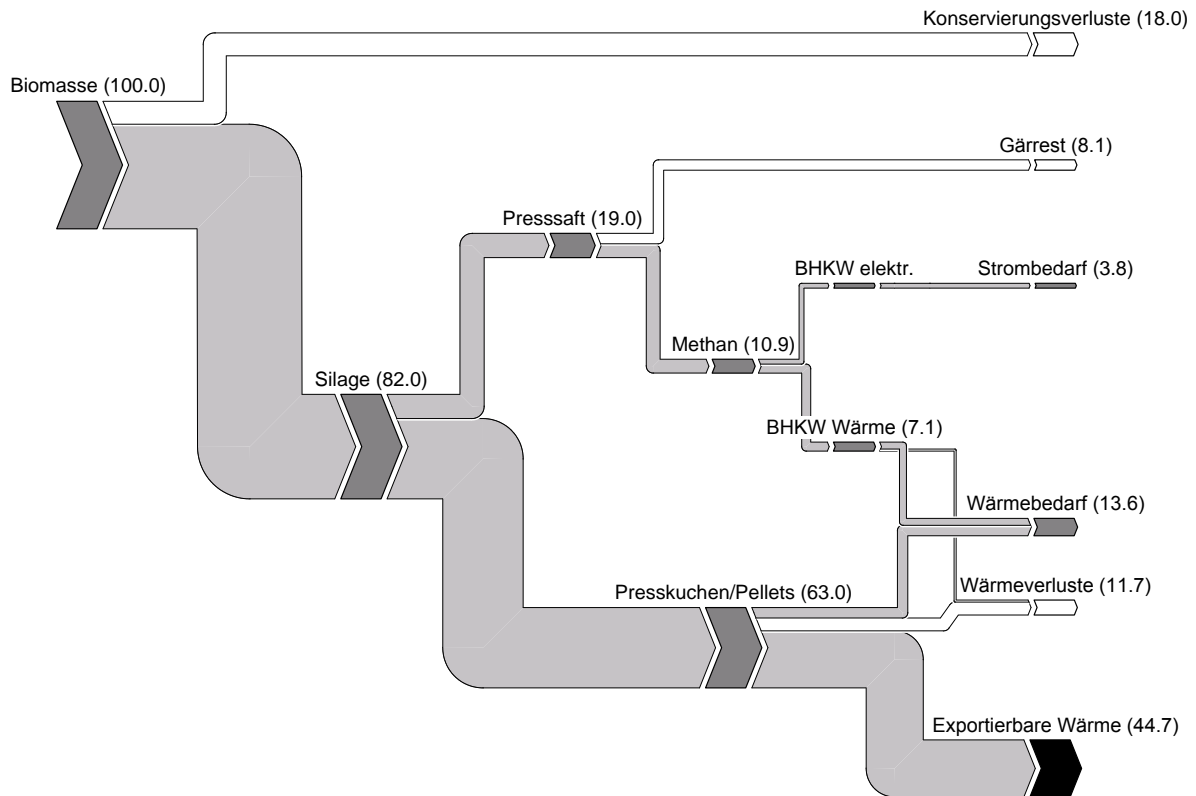
(DIN, 2006). Folgende Bewirtschaftungs- und Nutzungsverfahren wurden analysiert: 1) Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB stand-alone), 2) Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse in Kombination mit einer herkömmlichen Biogasanlage (IFBB add-on), 3) Trockenfermentation, 4) Heuverbrennung, 5) Rinderhaltung (Mähnutzung), 6) Mulchen und 7) Kompostierung. Die Prozessketten sind in Bühle et al. (2012) beschrieben. Die Datengrundlage der hier betrachteten Biomassen bilden 18 europäische Grünlandvegetationen in Deutschland, Wales und Estland, die im Rahmen des EU-Projekts PROGRASS untersucht wurden. Der mittlere Ertrag, der der Analyse zugrunde gelegt wurde, betrug  $3,8 \text{ t TM ha}^{-1}$  (Bühle et al., 2012).

Für die Verfahren der Energieproduktion (1-4) wurde die Konversionseffizienz untersucht, die beschreibt, in welchem Maße die in der Biomasse chemisch gespeicherte Energie in die Nutz- bzw. Endenergie Wärme und Strom umgewandelt wird. Verfahreninterne Bedarfe in Form von Wärme und Strom wurden dabei berücksichtigt und vom Output abgezogen. Zusätzlich wurden anhand der Ökobilanzierung aller untersuchter Verfahren (1-7) die Einsparpotenziale an fossilen Energieträgern und Treibhausgasen durch die Verwertung der Grünlandbiomassen auf flächenspezifischer Basis bewertet. Als Referenzverfahren der Energie produzierenden Verfahren wurde die konventionelle Wärme- und Stromerzeugung auf Basis des Durchschnittswerts der deutschen Energieversorgungsstruktur angenommen, unter zusätzlicher Berücksichtigung konventioneller Düngerprodukte, die durch die Ausbringung von Gärresten und Aschen eingespart werden. Für die tierische Verwertung wurde als Referenzverfahren die Fleischproduktion auf der Grundlage von intensiv bewirtschaftetem Grünland herangezogen, wobei die bilanzielle Äquivalenz der Versorgungsaufgabe auf Basis des flächenspezifischen Ertrags an metabolischer Energie der Grünlandbiomasse erfolgte. Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass durch die Grünlandverwertung keine bestehenden Produktionsverfahren verdrängt und daher nicht in der Bilanz berücksichtigt werden müssen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

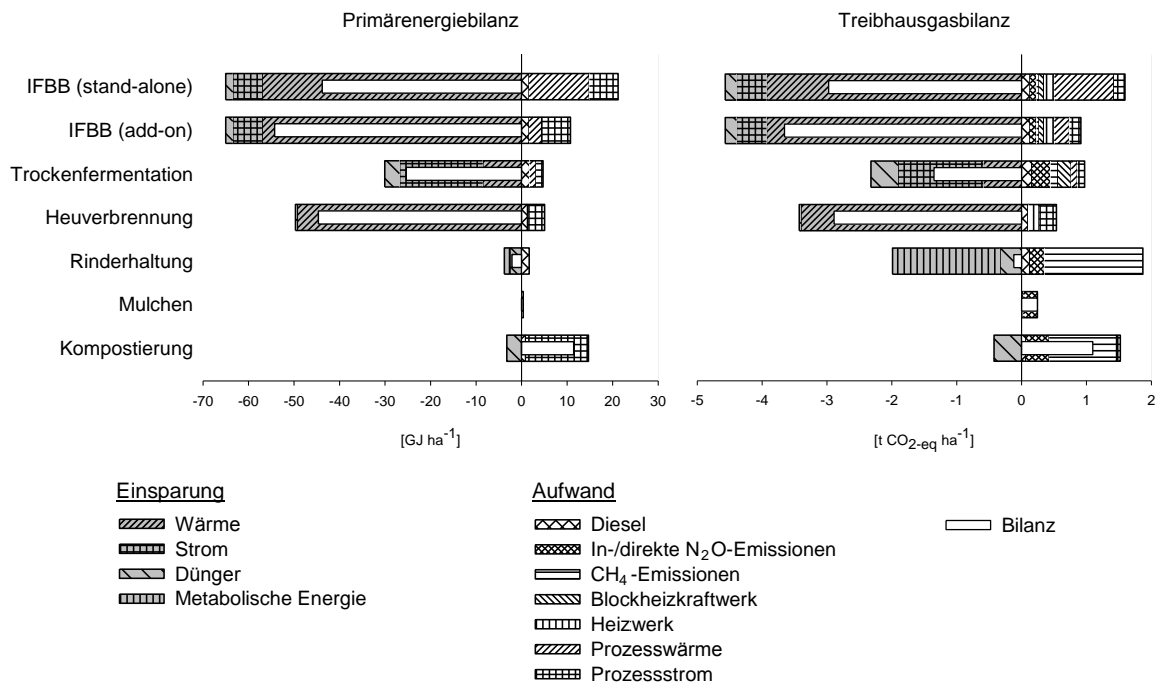
Bei der Konversion der Grünlandbiomasse über das IFBB-Verfahren (IFBB stand-alone) werden ca. 45 % der in der Biomasse gespeicherten Energie (Bruttoenergieertrag) in Nutzwärme überführt (Abb. 1). Der bereitgestellte Strom wird vollständig für den verfahrensternen Betrieb elektrischer Maschinen benötigt, darüber hinaus werden ca. 15 % des Bruttoenergieertrages als interner Wärmeverbrauch, vorwiegend für die Trocknung, genutzt. Die wesentlichen Verluste entstehen über die Konservierung als Silage (18 %) sowie Wärmeverluste bei der Verbrennung. Durch die Kombination des IFBB-Konzepts mit einer Biogasanlage mit Überschusswärme (IFBB add-on) kann der Wert der Wärmebereitstellung auf ca. 53 % des Bruttoenergieertrages gesteigert werden, da weniger Grünlandpellets für den internen Trocknungsbedarf benötigt werden (Daten nicht gezeigt). Die Verwertung des Grünlands über die anaerobe Vergärung der Ganzpflanzensilage in einer herkömmlichen Biogasanlage ohne vorhergehende Aufbereitung der Silage resultiert in einem Output an Wärme und Strom von 7 bzw. ca. 10 % des Bruttoenergieertrags bei einer unterstellten Abwärmenutzung von 50 % der ausschleusbaren Wärme des Blockheizkraftwerks. Die höchsten Verluste entstehen dabei durch den unverdauten Gärrests, der bei spät geerntetem Grünland aufgrund der fortgeschrittenen Lignifizierung besonders hoch ist. Vergleichbar mit dem IFBB add-on-Verfahren erreicht die Verbrennung des feldgetrockneten Heus, dessen Feldverluste mit 36 %

angesetzt wurden, mit ca. 54 % Wärmeoutput die höchste Konversionseffizienz der dargestellten Verfahren. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass der Heubrennstoff von weitaus geringerer Qualität als der IFBB-Brennstoff ist, da mineralische Schadstoffe wie beispielsweise Kalium und Chlor in hohen Konzentrationen enthalten sind und aus technischer Sicht ein problematisches Ascheerweichungs- und Korrosionsverhalten mit sich bringen. Außerdem birgt die Heuproduktion aufgrund der hohen Wetterabhängigkeit in vielen europäischen Regionen ein hohes Risiko bzw. ist eine Bodentrocknung nicht möglich.



**Abb. 1:** Konversionseffizienz bei der Umwandlung zu Wärme und Strom bei der Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB stand-alone) (in Klammern ist die Energiemenge in % vom Bruttoenergieertrag des Grünlandbestands angegeben)

Die bilanzielle Analyse der Einsparungen und Aufwendungen an primärenergetisch bewerteten Energiemengen und Treibhausgasen zeigt die höchsten Netto-Einsparpotenziale an fossilen Energieträgern und Treibhausgasen für das IFBB add-on-Verfahren (Abb. 2). Das IFBB stand-alone-Verfahren und die Heuverbrennung liegen in etwa gleichauf auf etwas geringerem Niveau, während die ausschließliche Biogasverwertung als Trockenfermentation die geringsten Einsparpotenziale aufweist. Durch das geringe Substitutionspotenzial an mineralischen Düngemitteln durch die Kompostproduktion bzw. die ausbleibende Wertschöpfung im Mulchverfahren verfügen diese Landschaftspflegeverfahren nicht über Einsparpotenziale, sondern tragen zum Verbrauch von fossilen Energieträgern und Ausstoß von Treibhausgasen bei. Hinsichtlich der Treibhausgasbilanz ergeben sich für die Fleischproduktion vom Extensivgrünland im Vergleich zum Referenzverfahren auf Basis des intensiv bewirtschafteten Grünlands kaum Unterschiede, da höhere Methanausstöße durch Düngegutschriften kompensiert werden.



**Abb. 2:** Flächenbezogene Primärenergie- und Treibhausgasbilanz der Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB) als stand-alone- und add-on-Szenario, der Trockenfermentation und der Heuverbrennung sowie der Rinderhaltung, des Mulchens und der Kompostierung

Zusammenfassend zeigt die ökobilanzielle Bewertung, dass die Verbrennung der Biomasse von extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen die effizienteste Form der Energieproduktion unter den betrachteten Verfahren darstellt. Diese Vorzüglichkeit wurde auch im Hinblick auf die Einsparpotenziale von fossilen Energieträgern und Treibhausgasen festgestellt. Das IFBB-Konzept ist zwar gegenüber der Heuverbrennung technisch aufwändiger, bietet jedoch eine höhere Flexibilität in der Biomassebereitstellung durch die Feuchtkonservierung und produziert darüber hinaus einen höherwertigen Festbrennstoff durch die mechanische Entwässerung der Silage und die damit verbundene Reduktion der verbrennungstechnisch relevanten Schadstoffe. Während die Nutzung des Extensivgrünlands als Futter in der Rinderhaltung bilanziell nur geringe Veränderungen gegenüber dem alternativen Referenzsystem aufzeigte, ist sowohl das Mulch- als auch Kompostierungsverfahren bezüglich des Verbrauchs an fossilen Energieträgern sowie der Treibhauswirkung als nachteilig zu beurteilen.

## Literatur

- Bühle L., F. Hensgen, I. Donnison, K. Heinsoo, und M. Wachendorf 2012: Life cycle assessment of the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) in comparison to different energy recovery, animal-based and non-refining management systems. *Bioresource Technology* 11: 230-239.
- DIN 2006: DIN EN ISO 14040. Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- Wachendorf, M., F. Richter, T. Fricke, R. Graß und R. Neff 2009: Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. I. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. *Grass and Forage Science* 64: 132-143.

## Potential C sequestration in resown grass-clover swards: Effect of sward age and slurry application on belowground net primary production

Shimeng Chen

Institut für Pflanzenbau und –züchtung, Grünland und Futterbau/ Ökologischer Landbau, Hermann-Rodewald-Str. 9, Christian-Albrechts-Universität-Kiel, 24118 Kiel. E-Mail: [schen@email.uni-kiel.de](mailto:schen@email.uni-kiel.de)

### Introduction

Carbon sequestration is highly potential in temperate grassland, which occurs mostly belowground. It is well documented that the land use changes of permanent grassland (e.g. conversion of permanent grassland to ley-arable rotations) would lead to loss of soil carbon stocks. Grassland is occasionally ploughed and resown to improve forage production, however, its effect on belowground net primary productivity (BNPP) is far from clear, which is of key importance for understanding the process C input to soil as the root-derived C had an average of 2.4-times residence time in soil compared to shoot-derived C. Therefore, the present work aimed to study the effect of grassland resowing on BNPP under different slurry application levels. The main hypotheses were set as following:

- (1) Both BNPP and fraction of BNPP ( $f_{\text{BNPP}}$ ,  $\text{BNPP} / \text{NPP}$ ) would decrease as sward age increases.
- (2) Slurry application would result in higher BNPP but lower  $f_{\text{BNPP}}$ .

### Material and Method

The field experiment was conducted at Kiel University's experiment station Lindhof (53°40' N; 10°35' O), with a mean annual temperature of 8.7 °C and mean annual precipitation of 785 mm. Main soil type is sandy loam with a pH 5.9 (Chen *et al.*, 2012). The experiment was conducted in four swards of different ages after resowing (1-year, 2-years, 5-years and permanent grassland since 1994; namely "Y1", "Y2", "Y5" and "PG" respectively), each of which had two levels of cattle slurry application (0 or 240 kg N ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, namely "N0" and "N1"). All the treatments were performed in 3 parallel plots in both 2010 and 2011. Swards were mown 4 times in each year at the height of 5 cm, when both aboveground biomass and stubble samples were harvested in a 0.5 m × 1.0 m subplot and then sorted into ryegrass, white clover and weeds. Ingrowth-cores (4 cm in diameter, mesh size 1 mm) was installed and sampled in between each mowing event (detail in Chen *et al.*, 2012). Briefly, for each sampling trial, 3 cores were installed in each plot at an angle of 45 degree till the vertical depth of 30 cm and filled with root-free soil to allow root grow in since the beginning of growing season and sampled on the day of 1<sup>st</sup> mowing; a new trial was installed on the same day lasting to the next mowing day; and so on. All the root samples were washed on a 0.63 mm sieve. All plant samples were dried at 58 °C for 48 hours for dry mass. Ash content was determined by combustion at 550 °C for 4 hours. Carbon and nitrogen content were measured by elementary analyzer. All results were given based on ash-free dry mass. Aboveground net primary productivity (ANPP) was estimated as accumulative aboveground biomass and the stubble biomass while the accumulation of root biomass from sequential ingrowth-core sets were regarded as belowground net primary productivity (BNPP).

Effect of the sward age, slurry and the interaction between age and slurry were analyzed in the mixed model with software R, while multiple comparisons among

means were analyzed with HSD test using the least significant difference at the  $p = 0.05$  level.

## Results and discussion

Significant interactions of sward age and slurry application exist in BNPP ( $P < 0.003$ ), ANPP ( $P < 0.0001$ ),  $f_{\text{BNPP}}$  ( $P < 0.0001$ ), belowground carbon allocation ( $P < 0.0001$ ), aboveground ryegrass ( $P < 0.0001$ ), clover ( $P < 0.0001$ ) proportion and fine root C / N ratio ( $P < 0.0001$ ). Average data of 2010 and 2011 are shown in Tab. 1.

**Tab. 1:** BNPP, ANPP,  $f_{\text{BNPP}}$ , aboveground ryegrass proportion (GP), aboveground white clover proportion (CP) and C / N ratio in root material (C / N root) from different sward age and slurry application treatments.

		Sward age			
		1-year	2-years	5-years	17-years
BNPP (g m <sup>-2</sup> )	N0	590±52 aB	408±27 abB	320±31 bB	371±21 bB
	N1	645±60 aA	608±87 abA	426±38 cA	448±50 bcA
ANPP (g m <sup>-2</sup> )	N0	645±51 bB	928±98 a	895±91 a	842±66 a
	N1	946±89 A	966±69	1038±45	1001±80
$f_{\text{BNPP}}$	N0	0.48±0.02 aA	0.31±0.02 bB	0.27±0.02 b	0.31±0.01 b
	N1	0.41±0.01aB	0.38±0.03 abA	0.29±0.02 b	0.31±0.02 b
GP (%)	N0	76±6 aB	46±3 bB	57±3 bB	51±5 bB
	N1	87±3 A	68±5 A	75±6 A	68±6 A
CP (%)	N0	14±4 cA	44±3 aA	32±3 bA	25±1 bA
	N1	5±2 B	18±2 B	13±4 B	12±4 B
C / N root	N0	35 ± 2 a	28 ± 1 bB	26 ± 1 b	27 ± 1 b
	N1	37 ± 2 a	32 ± 1 bA	29 ± 2 b	30 ± 2 b

Significant differences between swards and slurry levels are indicated by different small and capital letters, respectively ( $\alpha = 0.05$ ). Mean  $\pm$  1 SE,  $n=6$ .

Y1 showed significantly higher BNPP than Y2, Y5 and PG under both N0 and N1, implying the high belowground investment during the stage of perennial vegetation establishment. Meanwhile, slurry application significantly increased BNPP in all four swards, with its effect on improving  $N_{\text{min}}$ , Olsen-P and water regulation status, as well as reducing penetration resistance. This BNPP increment could also be partially attributed to the significant increase in ryegrass proportion and decrease in clover proportion, as ryegrass had significantly higher BNPP compared to clover (Neergaard *et al*, 2004).

Nevertheless, as N0 treatments had higher clover yield, the true effect of N availability should be reconsidered. We estimated the N fixation by the equation:  $N_{\text{fix}} = 0.031 \times \text{white clover DM} + 24$ , and take a factor of 0.45 as plant-available N in the present growing season from slurry, the actual difference of additional N between swards were only 93, 40, 64, 78 kg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> in Y1, Y2, Y5 and PG respectively. A larger difference of BNPP between N0 and N1 would be expected on pure grass stand.

On the other hand, ANPP of Y1 was significantly lower than Y2, Y5 and PG; yet there was neither significant difference among the latter three under N0, nor ANPP difference among four swards under N1. Similarly, only ANPP of Y1 was significantly increased by slurry application. White clover DM showed a decreasing tendency with increasing sward age after 2-years' establishment; while significant ( $P < 0.05$ ) decrease of (ryegrass + clover) proportion in PG indicating a decrease in productivity and forage quality in PG.

The inconsistent alternation in BNPP and ANPP induced different  $f_{\text{BNPP}}$  response among treatments. An overall tendency was that  $f_{\text{BNPP}}$  decreased as sward age

increased; and was slightly increased by slurry except for Y1. In addition of the significantly increased ryegrass proportion in N1 treatment, there are also other explanations referring to such tendency. The response in Y1 (where ryegrass proportion was high in both N0 and N1) implied the functional equilibrium theory: plants respond to an increase in belowground resources with decreased allocation to roots. As for Y2 sward, it had an intrinsic preferential allocation to belowground in ryegrass at this 2-years' stage after resowing. Y5 and PG showed the same level of  $f_{\text{BNPP}}$  and C / N ratio, which might indicate the vegetation character of resown sward was closed to the PG after 5 years. Although  $f_{\text{BNPP}}$  on sward level did not alter with slurry,  $f_{\text{BNPP}}$  of single species might be changed.

Does higher BNPP suggest higher C sequestration in soil? A parallel study performed on the same plots showed that, surprisingly, SOM in Y5 reached the same level as PG in 0 - 40cm soil layer in N0 treatment, even slightly higher than that in N1 treatment (unpublished data). It is impressive that the negative effect of ploughing on SOM seemed to be compensated during 5 years. Corresponding to the slightly higher SOM in N1 treatment, a higher C / N ratio in root biomass resulted from slurry indicated a slower decomposition rate, as the ryegrass roots with higher C / N than clover roots increased. Recent study on ryegrass using  $^{14}\text{CO}_2$  reported that additional N increased root biomass but had no effect on microbial C, microbial C incorporation rate, or root exudates (Kuzyakov *et al.*, 2001). These confirmed that higher BNPP resulted from additional slurry could be sequestered. However, additional N also increased soil respiration (Kuzyakov *et al.*, 2001). Hence the difference of SOM accumulation rate between N0 and N1 was not so evident as BNPP. Nevertheless, our results implied that slurry application to some extent accelerated SOM restoration.

On the other hand, lower SOM were observed from our Y1 and Y2 plots (unpublished data). In our experiments, resowing of grassland did not induce substantial increment in NPP or DM yield, although vegetation composition and amount of N fixation were improved. Combined with significant higher nitrate leaching and GHG emission after ploughing in Y1 (data not shown), our results suggested that frequent renovation of swards (e.g. < 5 years' interval) should be avoided. A complete dataset regarding to ecosystem evaluation is needed.

In conclusion, our 2 years' results showed that BNPP was significantly increased by slurry application, while had a decreasing tendency with increasing sward age, highlighting BNPP as a source of carbon sequestration in grassland soils and potential increase of carbon sequestration in grassland soil with proper level of slurry application. Regarding to the different residence time of root- and shoot-derived C in soil, we suggest further investigation on distinguishing decomposition rate of root and stubble / stolon of ryegrass and clover. Carbon net ecosystem exchange (NEE) should be evaluated on our site to achieve a better understand of C balance.

## Reference

- Chen S. M., Loges R., Biegemann T. and Taube F. 2012: A study of ingrowth-core sampling frequency in managed European grassland. *Grassland Science in Europe* 17.
- Kuzyakov, Y.; H. Ehrensberger und K. Stahr. 2001: Carbon partitioning and below-ground translocation by *Lolium perenne*. *Soil Biology & Biochemistry* 33: 61-74.
- Neergaard A. and Gorissen A. 2004: Carbon allocation to roots, rhizodeposits and soil after pulse labelling: a comparison of white clover (*Trifolium repens* L.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Biol Fertil Soils* 39, 228-234.

## Kann die Anwendung von HTC-Biokohle zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit beitragen?

Ana Gajić

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

### Einleitung

Der Abbau von Humus wird durch den Anbau von Energiepflanzen, insbesondere aber durch die Abfuhr von Ernterückständen für die Energieerzeugung begünstigt. Ein Absinken des Humusgehaltes wirkt sich negativ auf die ökologisch-agronomischen Bodenfunktionen (Struktur und Stabilität des Bodens, Wasserrückhaltevermögen, Nährstoffspeicherung, -pufferung und -umsatz, biologische Aktivität) bzw. auf die Bodenfruchtbarkeit aus.

In Deutschland fallen jährlich rund 100 Millionen Tonnen (t) Trockenmasse (TM) pflanzlicher Rest- und Abfallstoffe (Bioabfälle) an. Diese werden als Futtermittel in der Tierhaltung, als nachwachsende Rohstoffe für die Energieerzeugung, oder als Bodenverbesserer (z.B. Kompost) zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und C-Sequestrierung verwendet.

Die Hydrothermale Carbonisierung (HTC) vollzieht die natürliche Verkohlung von Biomasse/Bioabfällen technisch nach. Die Konversion findet in wässriger Phase unter erhöhter Temperatur (180-250 °C) innerhalb von 4-12 Stunden statt (Titirici et al., 2007). Die entstehenden HTC-Biokohlen können aufgrund ihres hohen Brennwertes entweder energetisch verwendet oder aufgrund ihrer humusähnlichen Eigenschaften (hohe Gehalte an organischem Kohlenstoff (C), große aktive Oberfläche, poröse Struktur) zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit auf Ackerflächen ausgebracht werden. Der Vorteil einer HTC im Vergleich zur konventionellen Behandlung von Bioabfällen wie beispielsweise der Kompostierung, besteht darin, dass während der Herstellung der HTC-Biokohle weniger Treibhausgase entstehen.

Ziel dieser Arbeit war es, die Wirkung unterschiedlicher HTC-Biokohlen auf chemische und physikalische Bodeneigenschaften sowie das Pflanzenwachstum auf typischen deutschen Ackerböden zu quantifizieren.

### Material und Methoden

Die HTC-Biokohlen wurden aus Rübenschnitzel (RS) und Biertreber (BT) durch Carbonisierung über 4 bzw. 12 h bei 190 °C hergestellt (RS<sub>4/190</sub>; RS<sub>12/190</sub>; BT<sub>12/190</sub>). Die Wirkung praxisüblicher Mengen dieser HTC-Biokohlen auf ackerbaulich bedeutsame Kenngrößen (CO<sub>2</sub>-Freisetzung, Trockenrohddichte (TRD), Gesamtporenvolumen (GPV), Feldkapazität (FK), Luftkapazität (LK), Aggregatstabilität (AS), pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (EC), potenzielle und effektive Kationenaustauschkapazität (KAK<sub>pot</sub>, KAK<sub>eff</sub>)) sowie auf Ertrag und Qualität von Zuckerrüben (ZR; Bereinigter Zuckergehalt) und Winterweizen (WW; Proteingehalt) wurde unter Feld- und Laborbedingungen untersucht.

Im Feld (Göttingen, Parabraunerde aus Löss) wurden die HTC-Biokohlen im Oktober 2009 bzw. im April 2010 vor der Aussaat von WW bzw. ZR in einer Menge von 7,5 t TM ha<sup>-1</sup> bzw. 10 t TM ha<sup>-1</sup> ausgebracht und in eine Bodentiefe von 15 cm eingearbeitet. Zur Prüfung einer möglichen Immobilisation von Stickstoff (N) wurde eine gestaffelte N-Düngung (WW: 80, 160 kg N ha<sup>-1</sup>; ZR: 0, 50, 100, 150 kg N ha<sup>-1</sup>)

durchgeführt. Im Herbst 2010 erfolgte eine Probenahme zur Messung der oben genannten Bodeneigenschaften. Die Wirkung von HTC-Biokohle auf pH, EC, KAK, TRD, GPV, FK, LK und AS auf einem sandigen Boden wurde zusätzlich bei einer Ausbringungsmenge von 30 t TM ha<sup>-1</sup> unter Laborbedingungen untersucht. Die Abbaustabilität bzw. mittlere Verweildauer der HTC-Biokohlen im Boden wurde durch Messung der C-Freisetzung in Feld- und Mikrokosmosversuchen ermittelt.

### Ergebnisse und Diskussion

Die HTC-Biokohlen wiesen Gesamtgehalte an C von 47-54% und N von 1,4-3,5% i. d. TM auf. Der pH-Wert der HTC-Biokohlen lag bei 4-5, die EC betrug 2-7 mS/cm. Bei einer Feldausbringung von 7,5-10 t TM ha<sup>-1</sup> wurden keine signifikanten Effekte auf die o.a. Bodeneigenschaften ermittelt (nicht dargestellt). Im Labor, bei einer Menge äquivalent zu 30 t TM ha<sup>-1</sup>, hatten die HTC-Biokohlen beträchtliche Effekte auf die untersuchten chemischen (Tab. 1) und physikalischen Bodeneigenschaften (Abb. 1). So stieg der pH-Wert und sank die EC des Bodens durch HTC-Biokohle-Anwendung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant. Die KAK<sub>eff</sub> des Bodens wurde insbesondere durch HTC-Biokohle aus RS erhöht, die KAK<sub>pot</sub> wurde nur durch RS<sub>12/190</sub> gesteigert. Der Anteil wasserstabiler Aggregate stieg von 75% in der Kontrolle auf 80-88% in den HTC-Biokohle-Varianten an (nicht signifikant), was zu einer Abnahme der Erosionsanfälligkeit der Böden beitragen kann. Die TRD betrug in der unbehandelten Kontrolle 1,5 g cm<sup>-3</sup>, das GPV 43,8%, die LK 26,3% und die FK 17,5 Vol.-%. Durch HTC-Biokohle wurde eine signifikante Abnahme der LK beobachtet, was anaerobe Bedingungen begünstigen und zu einer erhöhten N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emission führen kann. Weiterhin wurde eine Erhöhung der FK gegenüber der Kontrolle ermittelt, wodurch in niederschlagsarmen Zeiten zusätzliches Wasser den Pflanzen zur Verfügung stehen kann. Es wurde kein Effekt der HTC-Biokohle auf die TRD oder das GPV festgestellt. Bei gleichem Ausgangsmaterial (RS) wurde ein Einfluss der Herstellung von HTC-Biokohle gefunden: Die TRD stieg mit zunehmender Dauer der HTC an, wobei das GPV sowie die FK abnahmen.

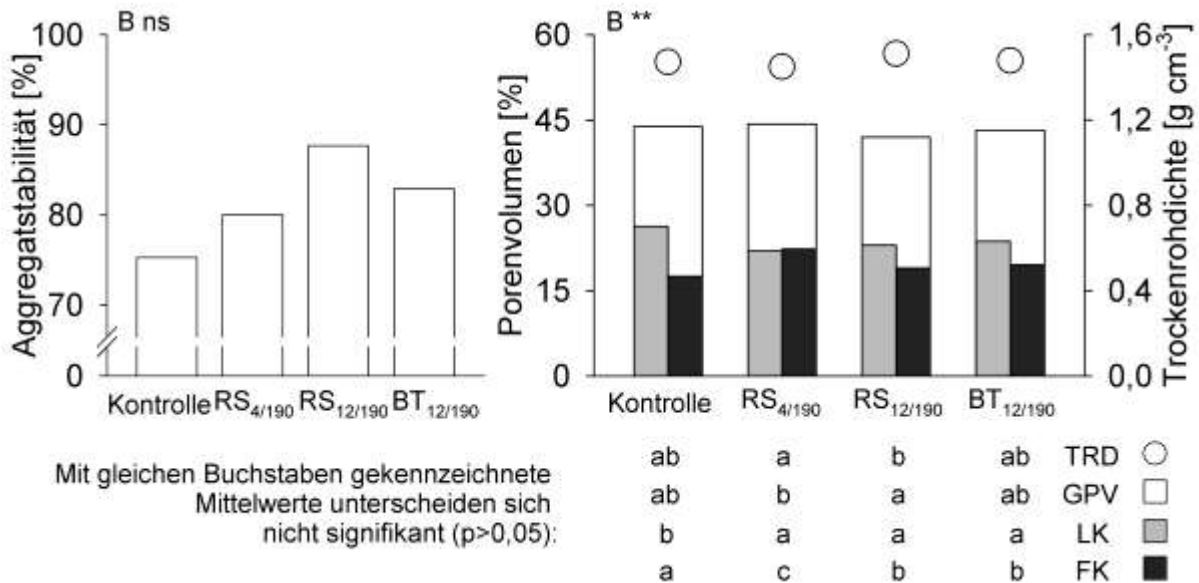
Teile des HTC-Biokohle-C wurde nach Einarbeitung in den Boden rasch als CO<sub>2</sub> freigesetzt: Im Feld wurden ~12% des mit der HTC-Biokohle zugefügten C im ersten Jahr mikrobiell umgesetzt (Gajić et al., 2011). In einem Mikrokosmoslaborversuch zur Quantifizierung der Abbaustabilität verschiedener HTC-Biokohlen wurde festgestellt, dass durch eine Carbonisierung bei 250 °C bzw. über 12 h die stabilste HTC-Biokohle entsteht: Die errechnete mittlere Verweilzeit von HTC-Biokohle im Boden (5-8 Jahre) lag zwischen der von Weizenstroh und Fertigungskompost (Gajić et al., 2012).

**Tab. 1.** Effekte verschiedener HTC-Biokohlen (30 t TM ha<sup>-1</sup>) auf chemische Bodeneigenschaften (pH-Wert; elektrische Leitfähigkeit, EC; potenzielle und effektive Kationenaustauschkapazität KAK<sub>pot</sub>, KAK<sub>eff</sub>) (Laborversuch, Braunerde)

Variante	pH [ ]		EC [µS cm <sup>-1</sup> ]		KAK <sub>pot</sub> [cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ]		KAK <sub>eff</sub> [cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ]	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Kontrolle	5,68 <sup>a</sup>	0,02	212,50 <sup>c</sup>	10,91	8,38 <sup>a</sup>	0,37	7,59 <sup>a</sup>	0,70
RS <sub>4/190</sub>	6,63 <sup>c</sup>	0,02	176,50 <sup>b</sup>	11,12	9,04 <sup>ab</sup>	0,53	10,92 <sup>b</sup>	0,50
RS <sub>12/190</sub>	6,37 <sup>b</sup>	0,04	125,00 <sup>a</sup>	2,94	9,53 <sup>b</sup>	0,25	10,18 <sup>b</sup>	0,84
BT <sub>12/190</sub>	6,35 <sup>b</sup>	0,06	193,75 <sup>bc</sup>	6,40	8,31 <sup>a</sup>	0,35	8,45 <sup>a</sup>	0,19

RS<sub>4/190</sub> = Rübenschnitzel carbonisiert bei 190 °C über 4 h, RS<sub>12/190</sub> = Rübenschnitzel carbonisiert bei 190 °C über 12 h, BT<sub>12/190</sub> = Biertreber carbonisiert bei 190 °C über 12 h. Mittelwerte (MW) mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (p>0,05). SD = Standardabweichung.



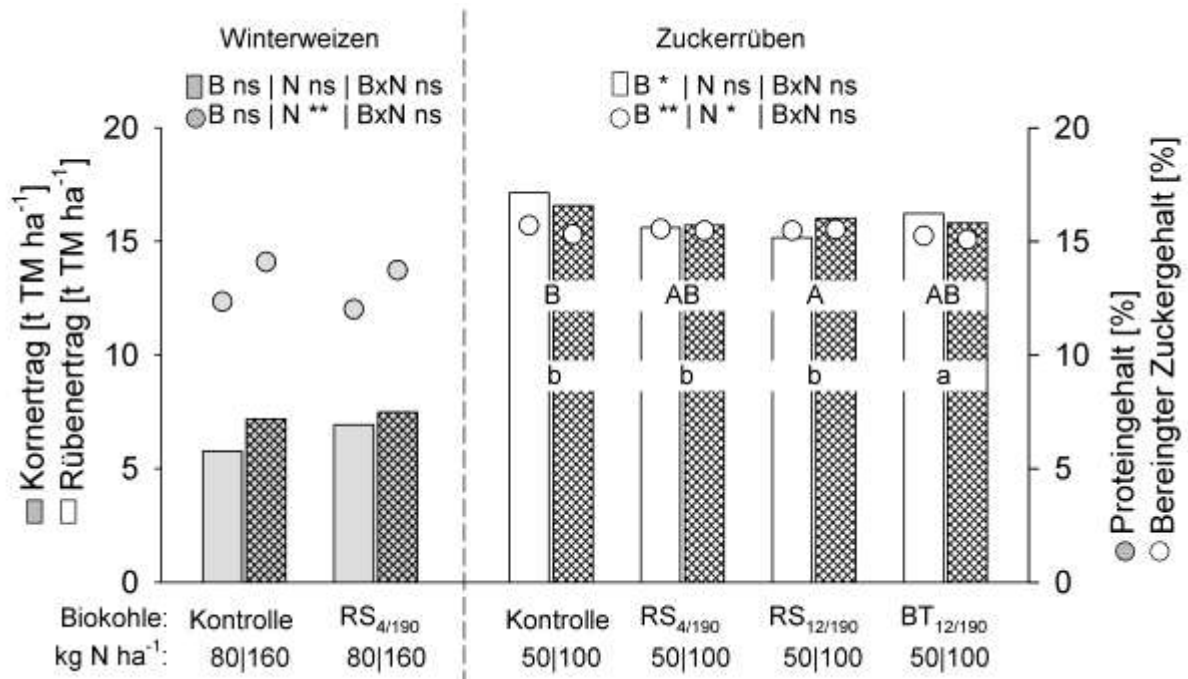


**Abb. 1:** Effekte verschiedener HTC-Biokohlen (B: RS<sub>4/190</sub> = Rübenschnitzel carbonisiert bei 190 °C über 4 h, RS<sub>12/190</sub> = Rübenschnitzel carbonisiert bei 190 °C über 12 h, BT<sub>12/190</sub> = Biertreber carbonisiert bei 190 °C über 12 h) auf Aggregatstabilität, Trockenrohdichte (TRD), Gesamtporenvolumen (GPV), Luftkapazität (LK) und Feldkapazität (FK) eines Sandbodens (Laborversuch, Braunerde, Menge 30 t TM ha<sup>-1</sup>). Irrtumswahrscheinlichkeit der F-Werte:  $p > 0,05$  (ns),  $p \leq 0,01$  (\*\*).

Ganz wesentlichen Einfluss nahm eine HTC-Biokohle-Anwendung auf das Pflanzenwachstum. Richtung und Ausmaß der Beeinflussung hingen im Wesentlichen von der Ausbringungsmenge, dem Ausgangsmaterial (C/N-Verhältnis der HTC-Biokohle), dem applizierten Dünger-N und dem N-Bedarf der Pflanze ab. HTC-Biokohle (RS<sub>4/190</sub>) in einer Menge von 7,5 t TM ha<sup>-1</sup> erhöhte tendenziell Ertrag und Qualität des Erntegutes von WW (Abb. 2). Bei einer Menge von 10 t TM ha<sup>-1</sup> wurde das frühe ZR-Wachstum durch alle HTC-Biokohletypen negativ beeinflusst (Gajić und Koch, 2012). Aufgrund des leicht abbaubaren C-Anteils der HTC-Biokohle (Gajić et al., 2012) kam es kurzfristig zu einer N-Immobilisierung, wenn HTC-Biokohlen ausgebracht wurden (Gajić und Koch, 2012). Eine praxisübliche N-Gabe (50-100 kg N ha<sup>-1</sup>) kompensierte das reduzierte ZR-Wachstum. Die Remineralisation des temporär festgelegten N durch HTC-Biokohle mit einem engem C/N-Verhältnis (16, BT) führte im Verlauf der Vegetation zum Ausgleich des Rübenertrages sowie zum Absenken des Bereinigten Zuckergehaltes in den Rüben (Abb. 2).

Da die Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff, Phosphor und Kalium in HTC-Biokohlen sehr gering waren, ist nicht von einer direkten Düngewirkung dieser Nährstoffe auszugehen (Bargmann et al., 2012). Im Zeitverlauf können jedoch durch den Biokohleabbau die enthaltenen Nährstoffe freigesetzt werden. Denkbar ist auch, dass die bis zu 40% erhöhte KAK im Boden nach der Anwendung von HTC-Biokohle zu einer verbesserten Nährstoffpufferung beitragen könnte. Überdies kann durch die geförderte Mykorrhizierung nach der Einarbeitung von HTC-Biokohle (Rillig et al., 2010) die Wasser-, Stickstoff- und Phosphat-Versorgung der Pflanzen verbessert werden, was vor allem auf humusarmen Standorten von Vorteil sein kann.

Um aus der möglichen N-Immobilisierung ökologische Vorteile zu ziehen, sollte HTC-Biokohle terminlich und standortbezogen optimiert angewendet werden.



**Abb. 2:** Effekte verschiedener HTC-Biokohlen (B: RS<sub>4/190</sub> = Rübenschrot carbonisiert bei 190 °C über 4 h, RS<sub>12/190</sub> = Rübenschrot carbonisiert bei 190 °C über 12 h, BT<sub>12/190</sub> = Birtreber carbonisiert bei 190 °C über 12 h) und Stickstoffdüngung (N) auf Ertrag und Qualität von Winterweizen bzw. Zuckerrüben bei einer Ausbringungsmenge von 7,5 bzw. 10 t TM ha<sup>-1</sup> im Feld (Parabraunerde). Irrtumswahrscheinlichkeit der F-Werte: p>0,05 (ns), p≤0,05 (\*), p≤0,01 (\*\*). Mit gleichen Großbuchstaben gekennzeichnete Mittelwerte des Rübenenertrags unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Bereinigten Zuckergehalten der Biokohlevarianten (p≤0,05).

Die Effekte der unterschiedlichen Prozessführung (Ausgangsmaterial, Dauer, Temperatur) bei der HTC wiesen auf Optimierungsmöglichkeiten hin. Bei entsprechender Herstellung kann die Anwendung von HTC-Biokohle den Gehalt an organischer Substanz im Boden erhöhen und weitere Bodeneigenschaften verbessern. Weitere systematische Untersuchungen, vor allem langfristiger Effekte unter Feldbedingungen, sind nötig.

## Literatur

- Bargmann, I., M. Kücke und J.-M. Greif 2012: Effekt von HTC-Biokohle auf Nährstoffhaushalt und Pflanzenwachstum. Initiativen zum Umweltschutz der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (eingereicht).
- Gajić, A., H.-J. Koch, B. Märländer 2011: HTC-Biokohle als Bodenverbesserer – Erste Ergebnisse aus einem Feldversuch mit Zuckerrüben. Zuckerindustrie 136 (12): 791-799.
- Gajić, A. und Koch, H.-J. 2012: Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Growth Reduction Caused by Hydrochar Is Related to Nitrogen Supply. Journal of Environmental Quality. doi:10.2134/jeq2011.0237.
- Gajić, A., H.-G. Ramke, A. Hendricks, H.-J. Koch 2012: Microcosm study on the decomposability of hydrochars in a Cambisol. Biomass Bioenergy (eingereicht).
- Rillig, M.C., M. Wagner, M. Salem, P.M. Antunes, C. George, H.-G. Ramke, M.M. Titirici, M. Antonietti (2010): Material derived from hydrothermal carbonization, Effects on plant growth and arbuscular mycorrhiza. Applied Soil Ecology 45, 238-242.
- Titirici M.-M., A. Thomas, M. Antonietti 2007: Back in the black: hydrothermal carbonization of plant material as an efficient chemical process to treat the CO<sub>2</sub> problem? New Journal of Chemistry 31: 787-778.

## Untersuchungen zur Umweltauswirkung und Effizienz des Energiepflanzenanbaus

Martin Gauder

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340a), Universität Hohenheim, Stuttgart, E-Mail: gauder@uni-hohenheim.de

### Einleitung

Erneuerbare Energien weiterzuentwickeln und verstärkt zu nutzen, kann als eine der wichtigsten Aufgaben des 21. Jahrhunderts gesehen werden. Die Bioenergie ist unter den erneuerbaren Energien zurzeit die bedeutendste. Im Sinne einer nachhaltigen Landnutzung sollten die Umweltauswirkungen von Agrarökosystemen bekannt und so emissionsarm wie möglich sein. Weiterhin sollten speziell beim Energiepflanzenanbau die Produktionsressourcen effizient eingesetzt werden, so dass dem Verbrauch jener Ressourcen ein möglichst hoher Energieertrag gegenüber steht. Die Effizienz und die Umweltauswirkungen einer solchen landwirtschaftlichen Energieerzeugung hängt stark von den angebauten Kulturen und ihren Bedürfnissen – somit folglich auch vom Anbaustandort ab. Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren auf Arbeiten an einem langjährigen Feldversuch auf fruchtbarem Boden, wie er typisch für die Gäulandschaften im südwestdeutschen Hügelland ist. Untersuchungen zur Stickstoffeffizienz verschiedener Kulturpflanzen, Treibhausgasemissionen aus den Böden der verschiedenen Anbausysteme, sowie die Berechnung einer einfachen Ökobilanz des Anbaus waren die Schwerpunkte der Untersuchungen und sollen hier vorgestellt werden.

### Material und Methoden

Die präsentierten Ergebnisse wurden an einem Feldversuch der Versuchstation Ihinger Hof bei Renningen in Baden-Württemberg erarbeitet. 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). Auf einer Fläche von insgesamt 3 ha wurden im Jahr 2002 verschiedene einjährige und mehrjährige Energiepflanzen ausgesät und ausgepflanzt. Die Spaltanlage war in vier Wiederholungen aufgeteilt, wovon in jeder Wiederholung drei, jeweils 160 m<sup>2</sup> große Parzellen, für jede Kultur zur Verfügung standen. Eine dieser drei Parzellen wurde in jeder Wiederholung mit einer, der Kulturart angepassten, Stickstoffmenge (N) gedüngt, eine Parzelle jeweils mit einer halbierten N-Menge und eine Parzelle wurde jeweils als Nullparzelle verwendet.

*Kulturen und Erträge:* 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<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> versorgt. Energiemais (*Z. mays* 'Mikado') in Selbstfolge wurde mit 240, bzw. 120 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> gedüngt. Die anderen Nährstoffe (P, K, Mg, S) 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 Ertragserfassung erfolgte jedoch jährlich anhand von Probeschnitten.

*Messung der Spurengasemissionen:* Im Jahr 2010 wurde neben der üblichen Ertrags- und Qualitätserfassung die Emissionen klimarelevanter Spurengase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) aus dem Boden der Weiden-, Miscanthus- und Maisparzellen über den Verlauf eines Jahres erfasst. In diese Messungen wurden in drei Wiederholungen Parzellen mit der vollständigen Stickstoffdüngung, sowie Parzellen ohne Stickstoffdüngung einbezogen. Gemessen wurde mit im Boden verankerten Rahmen, welche ein bis zweimal wöchentlich zur Messung mit einer Kammer abgedichtet wurden, so dass der Gasfluss anhand von vier Messproben je Kammer mittels gaschromatographischer Analyse ermittelt werden konnte. Mittels Interpolation zwischen den einzelnen Messterminen wurden weiterhin die Mengen der über das Jahr emittierten Spurengase abgeschätzt.

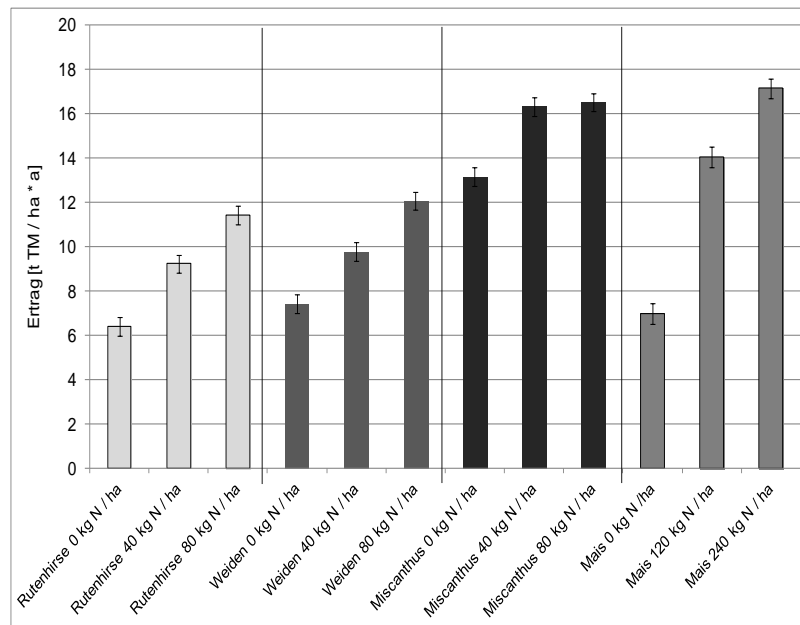
*Ökobilanzierung:* Nach 10 Versuchsjahren wurde eine einfache Ökobilanzierung mit der Bilanzierungssoftware Gabi 4.4 (PE International AG, Leinfelden-Echterdingen) anhand der Aufwendungen und realisierten Erträge für Mais, Miscanthus und Weiden berechnet. Hierbei wurden die einzelnen Arbeitsmaßnahmen dem Tagebuch der Versuchstechniker entnommen. Die Berechnung erfolgte auf Grundlage der üblichen Landtechnik, wobei auf die Datengrundlage aus den Datenbanken von PE International und ecoinvent (Swiss Centre of Life Cycle Analytics), sowie auf Literaturangaben zurück gegriffen wurde. Die Systemgrenzen wurden von der Wiege (Einbezug der Herstellung von Maschinen und Betriebsmitteln) bis zum Hoftor gewählt.

## **Ergebnisse und Diskussion**

*Erträge und Erntefeuchten:* Im ersten Jahr konnten bei den perennierenden Kulturen lediglich Erntemengen von etwa 2 bis 3 t Trockenmasse (TM) ermittelt werden, in den folgenden Jahren steigerten sich die Erträge, so dass bei den Weiden schon im zweiten Jahr im Mittel 9,5 t TM Zuwachs erreicht wurde. Besonders Miscanthus steigerte sich bis zum vierten Jahr im Ertrag, so dass 2005 erstmals im Mittel über 20 t TM ha<sup>-1</sup> in der mit 80 kg N ha<sup>-1</sup> gedüngten Variante geerntet wurde. Beim Mais zeigte sich das umgekehrte Bild, hier war der Ertrag im ersten Jahr des kontinuierlichen Anbaus in der reduzierten und ungedüngten Variante mit über 20 t TM ha<sup>-1</sup> von allen Versuchsjahren am höchsten. Die Maiserträge vielen in der Folge in der ungedüngten Variante kontinuierlich ab. Auch die mit 120 kg N ha<sup>-1</sup> gedüngte Variante zeigte in den Folgejahren niedrigere Erträge, welche sich um 15 t TM ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> bewegten. Im Mittel von 10 Erntejahren wurden bei Miscanthus die höchsten Erträge geerntet (Abb. 1). Selbst ohne N-Düngung konnten mittlere Erträge von 13,1 t TM ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ermittelt werden, welche signifikant über denen der anderen Kulturen lagen. Bei hoher N-Düngung zeigte Mais im Mittel aller Jahre die höchsten Erträge, Grund hierfür war die Etablierungszeit von drei Jahren des Miscanthus, da nach diesen die Erträge auf demselben Niveau lagen. Der Versuch zeigte, dass die hier untersuchten mehrjährigen Kulturen mit moderaten Stickstoffgaben von 40 bis 80 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> hohe Erträge erzielten, welche im Falle von Miscanthus nach der Etablierungsphase auf dem Niveau von Energiemais lagen. Die Kulturen Weiden, Rutenhirse und Mais reagierten auf die Stickstoffdüngung wesentlich stärker als der Miscanthus, welcher durch seine Rhizome und den Blattwurf im Winter einen relativ geschlossenen N-Kreislauf aufweist (Strullu *et al.*, 2011).

Es konnte festgestellt werden, dass die Trockensubstanzgehalte (TS) zum Erntezeitpunkt bei den spät geernteten Energiepflanzen, Miscanthus und Rutenhirse, signifikant durch die N-Düngung beeinflusst wurden. Höhere N-Düngermengen führten zu höheren Wassergehalten. Bei Rutenhirse wurden zu den Erntezeitpunkten

im Mittel 84 % TS in den ungedüngten Parzellen gemessen, was signifikant über denen der mittleren und vollen N-Düngungsvarianten lag (81 und 79 % TS). Auch bei Miscanthus sank der TS-Gehalt mit steigender N-Düngung von im Mittel 83 % auf 79 % signifikant ab. Diese Tatsache könnte mit den dichteren Beständen in diesen Varianten zusammenhängen, welche eine rasche Abtrocknung verhindern.



**Abb. 1:** Mittlere Erträge aus 10 Jahren (2002 - 2011) verschiedener Energiepflanzen ( $\pm$  Standardfehler).

*Spurengasemissionen aus den Böden:* Die gemessenen  $\text{CO}_2$ -Emissionen zeigten einen klar saisonalen Verlauf, welcher signifikant mit der Bodentemperatur korreliert war. Dagegen bewegten sich die  $\text{CH}_4$ -Flussraten in allen Varianten meist im leicht negativen Bereich, was darauf hinweist, dass die untersuchten Parzellen als schwache Methansenken fungierten. Größte Differenzen zwischen den untersuchten Varianten wurden beim  $\text{N}_2\text{O}$ -Austausch gefunden. Hier wurden beim gedüngten Mais hohe Emissionsraten, welche im Mittel des Jahres bei  $17,9 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  lagen, gemessen. Jedoch zeigten sich auch nach der Miscanthusdüngung im Frühjahr hohe  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen, welche durch gute Mineralisationsbedingungen, sowie eine unzureichende Aufnahme durch Pflanzenwurzeln in diesem Zeitraum erklärt werden könnten. Dagegen wurden nach der Weidendüngung keine erhöhten  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen gemessen, weiterhin war hier über den Verlauf des ganzen Jahres kein signifikanter Unterschied zu den ungedüngten Parzellen messbar. Eine mögliche Erklärung könnte der intensive Bodenbewuchs in den Weidenparzellen, sowie deren frühe Wachstumsaktivität sein, die zu raschen Aufnahmen des applizierten Düngers geführt haben könnten (Kavdir *et al.*, 2008). Über das gesamte Jahr gesehen, wurden beim Weidenanbau die geringsten Emissionen an  $\text{N}_2\text{O}$  gemessen; in Relation zum Ernteertrag erscheint der ungedüngte Miscanthus jedoch überlegen, da hier ein hoher Flächenertrag mit geringen Emissionen verknüpft war (Tab. 1).

*Ökobilanzierung:* Die Verwendung der tatsächlichen Arbeitstätigkeiten und Aufwandmengen führten zu einem Ergebnis, welches relativ spezifisch für die Bearbeitungsintensität dieses Betriebes steht, jedoch sehr praxisnah ist, da alle kleineren Arbeiten dokumentiert und berücksichtigt werden konnten.

**Tab. 1:** Interpolierte Jahresemissionen aus 54 Messterminen (GWP: Treibhauspotenzial in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten).

Anbausystem	CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	CH <sub>4</sub> [kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	N <sub>2</sub> O [kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	GWP: CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O [kg CO <sub>2</sub> -eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	relative N <sub>2</sub> O-Emission [g N <sub>2</sub> O / t TM Ertrag]
Mais 0 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	13172,2	-0,2	0,2	62,5 <sup>a</sup>	32,8
Mais 240 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	18136,7	0,0	3,6	1062,6 <sup>b</sup>	208,2
Miscanthus 0 kg N ha <sup>-1</sup> a	17942,0	-0,3	0,0	-21,8 <sup>a</sup>	-3,7
Miscanthus 80 kg N ha <sup>-1</sup>	17222,0	0,0	1,4	420,1 <sup>c</sup>	85,3
Weiden 0 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	18373,0	-0,6	0,0	-14,3 <sup>a</sup>	-0,2
Weiden 80 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	16801,3	-0,9	0,0	-8 <sup>a</sup>	4,0

Es zeigte sich, dass die N-Düngung den größten Einfluss auf das Ergebnis der Ökobilanzierung hatte. In den Varianten ohne N-Düngung trat der Dieserverbrauch in den Vordergrund: Hier konnte gezeigt werden, dass der Weidenanbau gegenüber dem Miscanthusanbau einen geringeren Energieverbrauch aufwies, da hier lediglich alle drei Jahre geerntet wurde, was in der Bilanz zu Einsparungen an Maschinen- und Dieselaufwendungen führte. Auch beim ungedüngten Mais wurden relativ hohe Energie- und damit auch Emissionen bilanziert, da viele jährlich anfallenden Bearbeitungsmaßnahmen, wie Bodenbearbeitung, Aussaat und Ernte in Teilen bei den perennierenden Kulturen entfielen. Auch konnte gezeigt werden, dass sich die Miscanthus- und Weidenbestände vorteilhaft im Verhältnis von Energieaufwendungen zur geernteten Biomasse gegenüber dem Maisanbau darstellen (Tab. 2).

**Tab. 2:** Mittlere Energieaufwendungen, Treibhauspotenzial und Energieeffizienz verschiedener Energiepflanzen-Anbausysteme vom Anbau bis zum Hoftor.

Anbausystem	Energieaufwand [GJ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	Energieeffizienz [Energie im Erntegut / Energieaufwand]
Mais 0 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	7,75	335	15,9
Mais 240 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	22,96	1978	13,2
Miscanthus 0 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	3,88	178	59,9
Miscanthus 80 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	8,41	668	34,7
Weiden 0 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	2,91	140	45,0
Weiden 80 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	6,55	530	32,6

**Fazit:** Es konnte gezeigt werden, dass mehrjährige Energiepflanzen beim Anbau wesentliche Vorteile gegenüber dem Energiemais besitzen. Dies schließt die N-Düngebedürfnisse, den Kraftstoff- und Materialverbrauch bei Anbau- und Erntemaßnahmen und die Treibhausgasemissionen aus dem Boden mit ein. Es konnte jedoch weiterer Optimierungsbedarf beim Anbau der perennierenden Kulturen festgestellt werden, um etwa die hohen N<sub>2</sub>O-Verluste nach der Düngung von Miscanthus zu vermeiden.

## Literatur

Kavdir, Y.; Hellebrand, HJ. und J. Kern 2008: Seasonal variations of nitrous oxide emission in relation to nitrogen fertilization and energy crop types in sandy soil. *Soil and Tillage Research* 98: 175-186.  
 Strullu, L.; Cadoux, S.; Preudhomme, M.; Jeuffroy, M-H. und N. Beaudoin 2011: Biomass production and nitrogen accumulation and remobilisation by *Miscanthus x giganteus* as influenced by nitrogen stocks in belowground organs, *Field Crops Research*, 121(3): 381-391.

## **Extensive Grünlandbiomasse zur Energiegewinnung: Einfluss von funktionellen Gruppen und Artenzahl auf verbrennungs- und vergärungsrelevante Parameter**

Jan Khalsa

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

### **Einleitung**

Die bioenergetische Nutzbarkeit von extensiver Grünlandbiomasse ist schon seit längerem Gegenstand der Forschung. Die Möglichkeit Artenschutz zu gewährleisten, ökonomische Perspektiven für die Landwirte zu schaffen und keine weitere Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zu erzeugen, bietet einen starken Anreiz. Jedoch ist extensive Grünlandbiomasse nur selten ein optimales Substrat zur Erzeugung von Energie durch Verbrennung oder Vergärung. Die botanische Zusammensetzung spielt dabei eine erhebliche Rolle und wirkt sich zum einen auf die Brennstoffqualität der Biomasse aus, die für Korrosions-, Emissions- und Verschlackungsprobleme verantwortlich ist. Zum anderen bestimmt die botanische Zusammensetzung sehr stark die Vergärbarkeit der Biomasse und damit das Biogaspotential. In dieser Studie wurden die Sommer- und Herbstaufwüchse (aus 2008 und 2009) eines groß angelegten Diversitäts-Experimentes auf ihre Brennstoffqualität bezüglich Brennwert, K-, Ca-, Mg-, N-, Cl-, S-Gehalte untersucht und in Beziehung gesetzt zu den dort angelegten Biodiversitätsgradienten (1, 2, 4, 8, 16 und 60 Arten) und verschiedenen funktionellen Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter). Außerdem wurde der potentielle Methangehalt über die Gehalte an Rohfaser (XF), Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und N-freien Extraktstoffen ermittelt und ebenfalls in Beziehung gesetzt zu den Diversitätsparametern. Es zeigten sich deutliche Effekte der funktionellen Gruppen: Leguminosen erhöhten den Brennwert leicht und steigerten die Methanausbeute, wobei sie auch die Bildung von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) erhöhten; Gräser verringerten die Methanausbeute aber auch das Risiko von  $\text{NO}_x$ -Emissionen. Weiterhin ergaben sich Effekte der Artenzahl in Bezug auf die Energieparameter. So nahm z. B. der N- als auch der XP-Gehalt mit steigender Artenzahl leicht ab, was zum einen auf ein sinkendes  $\text{NO}_x$ -Emissionsrisiko hindeutete aber auch eine geringere Methanausbeute zur Folge hatte. Außerdem stiegen der XF-Gehalt mit steigender Artenzahl und ebenso der Biomasseertrag. Aus dem Anstieg der Biomasse ergab sich sowohl ein steigender Energieertrag durch Verbrennung als auch steigender Methanertrag.

### **Material und Methoden**

Pflanzenbestände aus dem Artenpool der Glatthaferwiesen wurden mit steigender Artenzahl (1 - 60 Arten) auf einer Fläche nahe dem Saale-Ufer bei Jena im Jahr 2002 etabliert. Im Vorfeld wurden die 60 Arten in vier funktionelle Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) unterteilt. Der Versuchsaufbau basiert auf einer vollständig randomisierten Blockanlage mit 82 Parzellen der Größe 20 x 20m. Auf diesen Parzellen wurden (in 4-facher Wiederholung) alle möglichen Kombinationen von Artenzahl x Anzahl funktioneller Gruppen realisiert. Zum Erhalt der Zielbestände wurden die Parzellen regelmäßig gejätet. Eine Düngung fand nicht

statt (detailliertes Versuchsdesign siehe Roscher et al. 2004). Von allen 82 Parzellen wurden in den Jahren 2008 und 2009, von den Sommer- als auch von den Herbstaufwüchsen, 300g Frischmasseproben (Stoppelhöhe 5cm) aus einem repräsentativen Bereich in der Kernzone der Parzelle genommen. Die geerntete Biomasse wurde bei 70°C 48 Stunden getrocknet. Mittels der Röntgenfluoreszenzanalyse wurden die Konzentrationen von K, Ca, Mg, S und Cl bestimmt, während C, H und N-Konzentrationen durch Elementaranalyse (vario MAX CHN, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Deutschland) bestimmt wurden. Der Brennwert (HHV) wurde berechnet nach der empirischen Gleichung von Friedl et al. (2005), basierend auf der C-, H- und N-Konzentration.

Zur Bestimmung von XF und XL wurden 100 der 164 Proben nach Standardmethoden untersucht (Naumann und Bassler, 2004) und anschließend für eine Kalibration der Nahinfrarotspektroskopie (XDS Rapid Content Analyser, FOSS NIRSystems Inc., Laurel, USA) verwendet. Die Werte aller 164 Proben wurden nach Kreuzvalidation (XF:  $R^2 = 0.96$ , RPD = 3.68; XL:  $R^2 = 0.74$ , RPD = 1.70) vorhergesagt. Rohasche (XA) wurde nach Erhitzen bei 550°C bestimmt, wohingegen XP direkt von dem N-Gehalt abgeleitet wurde ( $XP = N \times 6.25$ ). Die N-freien Extraktstoffe (NfE) wurden berechnet mit:  $NfE = 100 - XA - XF - XL - XP$  (alle in % TM). Die Summe aus NfE und XF wurde als die Fraktion der Kohlenhydrate definiert.

Zur Berechnung des substratspezifischen Methangehaltes ( $CH_{4\ sub}$ ) wurde die Methode der VDI-Norm 4630 leicht modifiziert, um die möglichen Unterschiede durch verschiedene botanische Zusammensetzungen der Substrate und die zwei Erntezeitpunkte mit zu berücksichtigen. Die Methode beruht auf den untersuchten Qualitätsparametern (%TM), einen Verdauungskoeffizienten ( $D$ ) für jeden Parameter und den potentiellen Biogasertrag ( $B$ ) der Kohlenhydrate, XL und XP.

**Tab. 1:** Lineare Regressionen für Grünlandbiomassen des ersten Schnittes zur Herleitung von Verdaulichkeitswerten der Qualitätsparameter in Bezug auf Dominanz der funktionellen Gruppen (FGD) und des XF-Gehaltes (%TM).

FGD	Parameter	Linear regression	$R^2$	RSE
Gräser (> 70% der Biomasse), 1. Schnitt	XF	$D_{(XF)} = -0.98 \times XF + 102.3$	0.88	2.11
	NfE	$D_{(NfE)} = -1.27 \times XF + 107.8$	0.94	1.89
	XL	$D_{(XL)} = 0.26 \times XF + 57.7$	0.80	0.78
	XP	$D_{(XP)} = -1.07 \times XF + 96.5$	0.95	1.48
Leguminosen und Kräuter (> 30% der Biomasse), 1. Schnitt	XF	$D_{(XF)} = -1.75 \times XF + 123.7$	0.95	2.03
	NfE	$D_{(NfE)} = -2.42 \times XF + 136.2$	0.98	1.80
	XL	$D_{(XL)} = -0.14 \times XF + 61.9$	0.01	6.47
	XP	$D_{(XP)} = -0.87 \times XF + 93.8$	0.91	1.33

Die Werte für  $B$  wurden mittels einer stöchiometrischen Gleichung hergeleitet und können der VDI 4630 entnommen werden, genauso wie der mittlere Methangehalt des Biogases ( $M$ ) für die entsprechenden Parameter.  $CH_{4\ sub}$  wird in Normliter pro kg oTM angegeben, welche sich auf die Normbedingungen von 273.2 K und 101.3 kPa beziehen:

$$CH_{4\ sub} (l_n \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}) = (XF \times D_{(XF)} + NfE \times D_{(NfE)}) \times B_{(XF+NfE)} \times M_{(XF+NfE)} + XL \times D_{(XL)} \times B_{(XL)} \times M_{(XL)} + XP \times D_{(XP)} \times B_{(XP)} \times M_{(XP)}$$

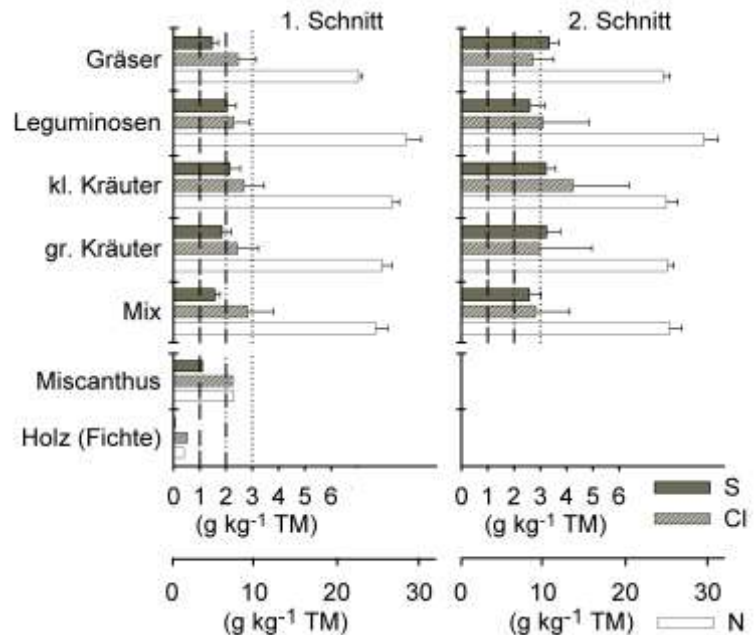
Für diese Studien wurde  $D$  für jede Probe individuell berechnet, um die dominierende funktionelle Gruppe, den Fasergehalt und den Schnitt zu



berücksichtigen. Ermöglicht wurde dies durch lineare Regressionen basierend auf den DLG-Futterwerttabellen (Tab. 1, 2. Schnitt nicht dargestellt).

## Ergebnisse und Diskussion

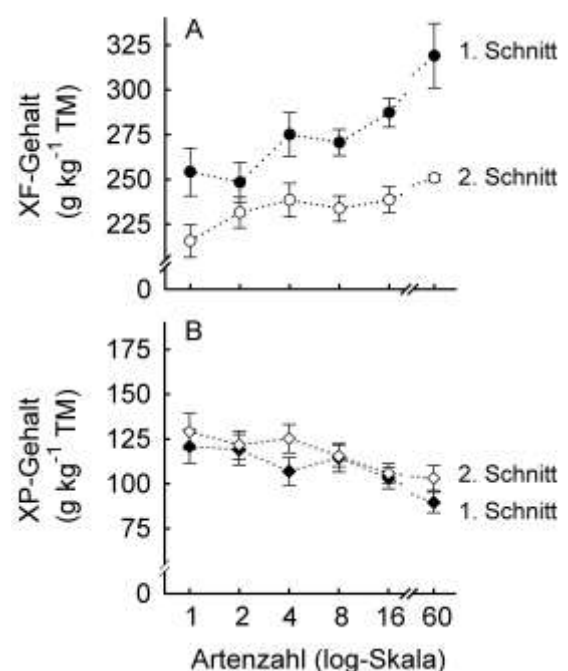
Unter den verschiedenen funktionellen Gruppen gab es keine Gruppe, die per se zu bevorzugen wäre bezüglich einer Umwandlung zu Energie durch Verbrennung. Leguminosen z.B. erhöhten den HHV leicht, erhöhten aber auch das Risiko der  $\text{NO}_x$ -Bildung. Entlang des Artenzahlgradienten nahmen N und S signifikant (alle  $p < 0.001$ ; außer N, 1. Schnitt:  $p = 0.037$ ) von 1 zu 60 Arten in beiden Schnitten ab (bei N um 14 % im 1. Schnitt und 18% im 2. Schnitt; bei S um 23% und 16%). Dies ist zunächst ein positiver Trend jedoch wird in Abb. 1. deutlich, dass die Werte immer noch weit über den empfohlenen Grenzwerten liegen.



**Abb. 1:** S-, Cl- und N-Konzentrationen (mit Standardfehler) in den Funktionelle-Gruppen-Monokulturen und den Alle-Funktionelle-Gruppen-Mischungen (Mix) zu beiden Schnittzeitpunkten. Außerdem sind dargestellt der  $1 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ -Grenzwert (----), relevant für Korrosion durch S und Cl, der  $2 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ -Grenzwert (-·-·-·), relevant für  $\text{SO}_x$ -Emissionen und der  $3 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ -Grenzwert (·····), relevant für PCDD/F-Emissionen bedingt durch Cl. Zum Vergleich wurden Werte für Holz (Fichte, als Hackschnitzel) und Miscanthus aufgeführt.

In Bezug auf die Verschlackungsgefahr wurde deutlich, dass besonders die Konzentrationen von K sehr hoch waren und zu einer geringen Ascheerweichtemperatur beitragen würden. Allerdings war die Ca-Konzentration hoch genug um diesem Trend entgegen zu wirken. Hierbei waren insbesondere die Leguminosen von Vorteil, die geringe K- und hohe Ca-Gehalte hatten.

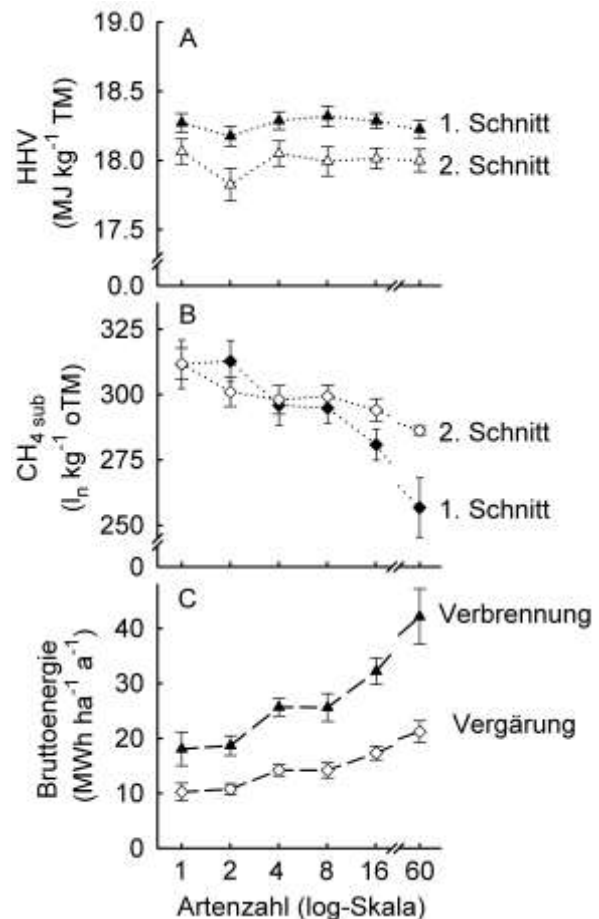
**Abb. 2:** Veränderung der Qualitätszusammensetzung der Biomasse mit zunehmender Artenzahl. (A) zeigt den mittleren Rohfasergehalt (XF) und (B) den mittleren Rohproteingehalt (XP) inklusive Standardfehler, für jeweils den ersten und zweiten Schnitt.



Für die Methanausbeute waren XP- und XF-Gehalt die entscheidenden Faktoren, welche insbesondere durch Leguminosen und Gräser beeinflusst wurden. Die Leguminosen hatten einen positiven Einfluss auf den XP-Gehalt, wohingegen die Gräser den XF-Gehalt erhöhten. Wie auch schon durch die abnehmenden N-Gehalte mit steigender Artenzahl sichtbar wurde, nahm der XP-Gehalt mit der Artenzahl ab. Der gegenteilige Trend zeigte sich für den XF-Gehalt, der in beiden Schnitten signifikant anstieg (1. Schnitt:  $p=0.001$ ; 2. Schnitt:  $p=0.022$ ; Abb. 2.)

Dies hat eine direkte Auswirkung auf  $\text{CH}_4_{\text{sub}}$ , der mit steigender Artenzahl in beiden Schnitten abnahm (Abb. 3 (B)). HHV, als relevanter Energieparameter bei der Verbrennung, zeigte keine Veränderung mit steigender Diversität (Abb. 3 (A)). In Bezug auf den Energieertrag pro Hektar und Jahr zeigt sich jedoch, dass sowohl bei einer Wandlung durch Verbrennung und Vergärung eine steigende Artenzahl einen positiven Effekt auf die Energieausbeute hatte (Abb. 3 (C)). Dieser Zusammenhang resultiert maßgeblich aus der positiven Artenzahl-Biomasseertrag-Beziehung, die ausführlich in Khalsa et al. (2012) diskutiert wurde.

**Abb. 3:** Veränderung der mittleren substratspezifischen Energiegehalte mit zunehmender Artenzahl bei einer energetischen Umwandlung durch (A) Verbrennung (HHV) und (B) Vergärung ( $\text{CH}_4$ ). (C) zeigt den Verlauf des mittleren Bruttoenergieertrags pro Hektar und Jahr mit zunehmender Artenzahl für die beiden Wandlungspfade. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.



Letztendlich konnten mit dieser Studie Diversitäts-Bioenergie-Zusammenhänge dargestellt werden, die die Wirkungen von einzelnen funktionellen Gruppen hervorheben und den Vorteil von einer hohen Artenzahl im Extensivgrünland aufzeigen. Eine Wandlung durch Verbrennung ist gegenüber der Vergärung nicht nur auf Grund des höheren Bruttoenergieniveaus zu bevorzugen (Abb. 3 (C)), sondern auch in Anbetracht einer möglichen maschinellen Aufbereitung der Biomasse zu einem höherwertigen Festbrennstoff.

## Literatur

- Friedl, A.; Padouvas, E.; Rotter, H und Varmuza, K. 2005: Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. *Analytica Chimica Acta* 544: 191–198.
- Khalsa, J.; Fricke, T.; Weisser, W.W.; Weigelt, A. und Wachendorf, M. 2012: Effects of functional groups and species richness on biomass constituents relevant for combustion - Results from a diversity grassland experiment. *Grass and Forage Science*, DOI: 10.1111/j.1365-2494.2012.00884.x
- Roscher, C.; J. Schumacher; J. Baade; W. Wilcke; G. Gleixner; W.W. Weisser; B. Schmid und E.-D. Schulze 2004: The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic Appl. Ecol.* 5: 107-121.

## **Phytodiversität im Dauergrünland – Einfluss auf Futterertrag und -qualität**

Ute Petersen

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Graslandwissenschaft, Georg-August-Universität, Göttingen. E-Mail: Ute.Petersen@agr.uni-goettingen.de

### **Einleitung**

Der Zusammenhang zwischen Biodiversität und Ökosystemfunktionen ist in den letzten Jahrzehnten immer mehr in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Untersuchungen zur pflanzlichen Biodiversität wurden dabei häufig am Modellsystem Grünland durchgeführt. Meist wurde die Biodiversität dabei als förderlich für viele Ökosystemprozesse angesehen. Wie Wrage et al. (2011) zusammenfassen, gab es zahlreiche Feldexperimente zu diesem Thema - allerdings meist auf angesätem Grünland mit künstlicher Artenzusammensetzung und daher schwer auf landwirtschaftlich genutztes Grünland übertragbar. Dauergrünland wurde vorwiegend in empirischen Studien untersucht, nicht in manipulativen Experimenten. Im Grassland Management Experiment (GrassMan) wurde moderat artenreiches Dauergrünland mit Herbiziden gegen a) monokotyle und b) dikotyle Arten manipuliert, um einen Funktionalitäts- und Diversitätsgradienten zu erhalten (Petersen et al. 2012). Die Grasnarben wurden nach landwirtschaftlichen Gesichtspunkten mit unterschiedlichen Intensitätsstufen bewirtschaftet. Zunächst wurde untersucht, in welchem Maße die Herbizidanwendung geeignet ist, einen Biodiversitätsgradienten in einer zuvor geschlossenen Grasnarbe zu erzeugen. Ein weiterer hier vorgestellter Aspekt geht der Frage nach, ob der in vielen experimentellen Studien bei Artenzahlen zwischen 1 und 5 am stärksten ausgeprägte positive Zusammenhang zwischen Artenvielfalt und Produktivität auch bei höheren Artenzahlen (> 7 Arten) gilt, oder ob bei diesen mit vielen landwirtschaftlich genutzten Grünlandflächen vergleichbaren Artenzahlen eher funktionelle Merkmale der Grasnarbe einen Einfluss auf Produktivität und Futterqualität haben.

### **Material und Methoden**

Das Grassland Management Experiment wurde im Frühjahr 2008 auf einem vormals als Rinderweide genutzten Dauergrünland bei Neuhaus im Solling (490 m ü. NN, 6,7°C Jahresdurchschnittstemperatur, 1048 mm mittlerer Jahresniederschlag) angelegt. Im Juli 2008, etwa vier Wochen nach Beerntung der gesamten experimentellen Fläche, wurde jeweils ein Drittel der Versuchspartellen mit Herbiziden gegen monokotyle bzw. gegen dikotyle Arten behandelt. Ein Drittel verblieb als unbehandelte Kontrolle. Neben dem Faktor Grasnarbe (Tab. 1) wurde die Bewirtschaftung mittels Dünge- und Schnittregime in der Intensität variiert. Die Ernte erfolgte mit Hilfe eines Haldrup® Forage Combine Harvester (Schnitthöhe 7 cm). Im Jahr 2008 wurden die Partellen nur im Juni und September geerntet und mit 50 kg N ha<sup>-1</sup> gedüngt. Die Bewirtschaftung gemäß Tab. 1 startete im Frühjahr 2009. Die insgesamt zwölf Behandlungsvarianten wurden in 15 m x 15 m großen Partellen sechs Mal repliziert und in Form eines Lateinischen Rechtecks mit sechs Reihen und zwölf Spalten angelegt. Zwei Spalten bilden einen Block.

**Tab. 1:** Experimentelle Faktoren und Behandlungsvarianten des GrassMan Experiments. Die Akronyme der verschiedenen Behandlungsvarianten entstehen aus der Kombination der (englischen) Abkürzungen der Faktorstufen.

Faktor	Stufe	Abkürzung
Grasnarbentyp	1.1 Unbehandelte Kontrolle	<b>Co</b>
	1.2 Dikotyl-reduziert (Herbizid Behandlung) <sup>a</sup>	<b>-Dic</b>
	1.3 Monokotyl-reduziert (Herbizid Behandlung) <sup>a</sup>	<b>-Mon</b>
Nutzung	2.1 Ein Mal gemäht (Juli)	<b>1</b>
	2.2 Drei Mal gemäht (Mai, Juli, September)	<b>3</b>
Düngung	3.1 Keine Düngung	<b>x</b>
	3.2 180/30/100 kg NPK ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> b	<b>NPK</b>

<sup>a</sup> Aktive Wirkstoffe gegen Dikotyle: Fluoroxypyr+Triclopyr and Mecoprop-P (jeweils 3l ha<sup>-1</sup>), gegen Gräser: Clethodim (0.5l ha<sup>-1</sup>), gespritzt im Juli 2008

<sup>b</sup> N-Dünger: Kalk-Ammon-Salpeter N27, P- & K-Dünger: Thomaskali® (8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 15% K<sub>2</sub>O, 20% CaO).

Für die Bestimmung der Futterqualität (Gehalte von Rohprotein (XP), Rohzucker (XZ), säurelösliche Faser (ADF) und neutrallösliche Faser (NDF)) wurden Mischproben jeder Ernte mit Hilfe von Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) analysiert. Die Biodiversität wurde mittels Vegetationsaufnahmen erfasst, wobei jeweils im Juni 2008, Mai und August 2009 die Ertragsanteile der einzelnen Arten pro Parzelle auf einer Fläche von 1 m<sup>2</sup> und 9 m<sup>2</sup> geschätzt wurden. Aus diesen Aufnahmen wurden Biodiversitätsindizes und funktionelle Charakteristika (Anteile an Gras, Kraut und Leguminosen, Anteile hoch- und niedrigwüchsiger Arten, analog zur Einteilung in Ober- und Untergräser) berechnet.

## Ergebnisse und Diskussion

Im Mai 2009 waren keine sichtbaren negativen Nachwirkungen der Herbizide (offener Boden, erhöhter Anteil annueller Pionierarten) in den gespritzten Parzellen zu erkennen. Das Verhältnis der funktionellen Gruppen Gras:Kraut:Leguminosen umfasste ausgehend von im Mittel 76:22:2 (Juni 2008) einen Gradienten von 39:52:9 bis 93:7:0. Die Artenzahlen (über die gesamte Fläche 7–16 m<sup>2</sup>) waren nur in den Parzellen mit reduzierter Menge von Dikotylen deutlich geringer als in der ungespritzten Kontroll-Grasnarbe. Ebenso verhielt es sich mit fast allen der untersuchten Biodiversitätsindizes - Evenness, Shannon und Gini-Simpson. Nach dem Spritzen kolonisierten vor allem Ausläufer bildende Arten die frei gewordenen Flächen. Da dieses Merkmal vor allem auf Untergräser zutrifft, unterschieden sich die gegen dikotyle Arten gespritzten Parzellen strukturell von den übrigen zwei Varianten; sie bestanden nun größtenteils aus Arten der Unterschicht.

Obwohl der erzeugte Biodiversitätsgradient nur kurz war, gab es deutliche funktionelle sowie Kompositionsunterschiede zwischen den drei Grasnarbentypen. Die Regeneration der herbizidbehandelten Grasnarben verlief schnell und problemlos. Nach etwa drei Jahren waren die Unterschiede zwischen den Grasnarben deutlich zurückgegangen, so dass eine erneute Anwendung des Herbizids in Erwägung gezogen werden muss. Die Manipulation bestehender Grasnarben mit Herbiziden stellt eine neue, innovative Methode dar, um das Vorhandensein und die Ursachen des experimentell gefundenen Biodiversitätseffekts unter landwirtschaftlichen Aspekten zu überprüfen.

Im Jahr 2009 lagen die Erträge zwischen 55 dt ha<sup>-1</sup> (-Mon3x) und 120 dt ha<sup>-1</sup> (Co3NPK). Weder die Erträge der einzelnen Ernten noch die Jahreserträge wurden signifikant vom Grasnarbentyp beeinflusst (Tab. 2); innerhalb eines Managementregimes unterschieden sich die Erträge der Grasnarbentypen nicht signifikant.

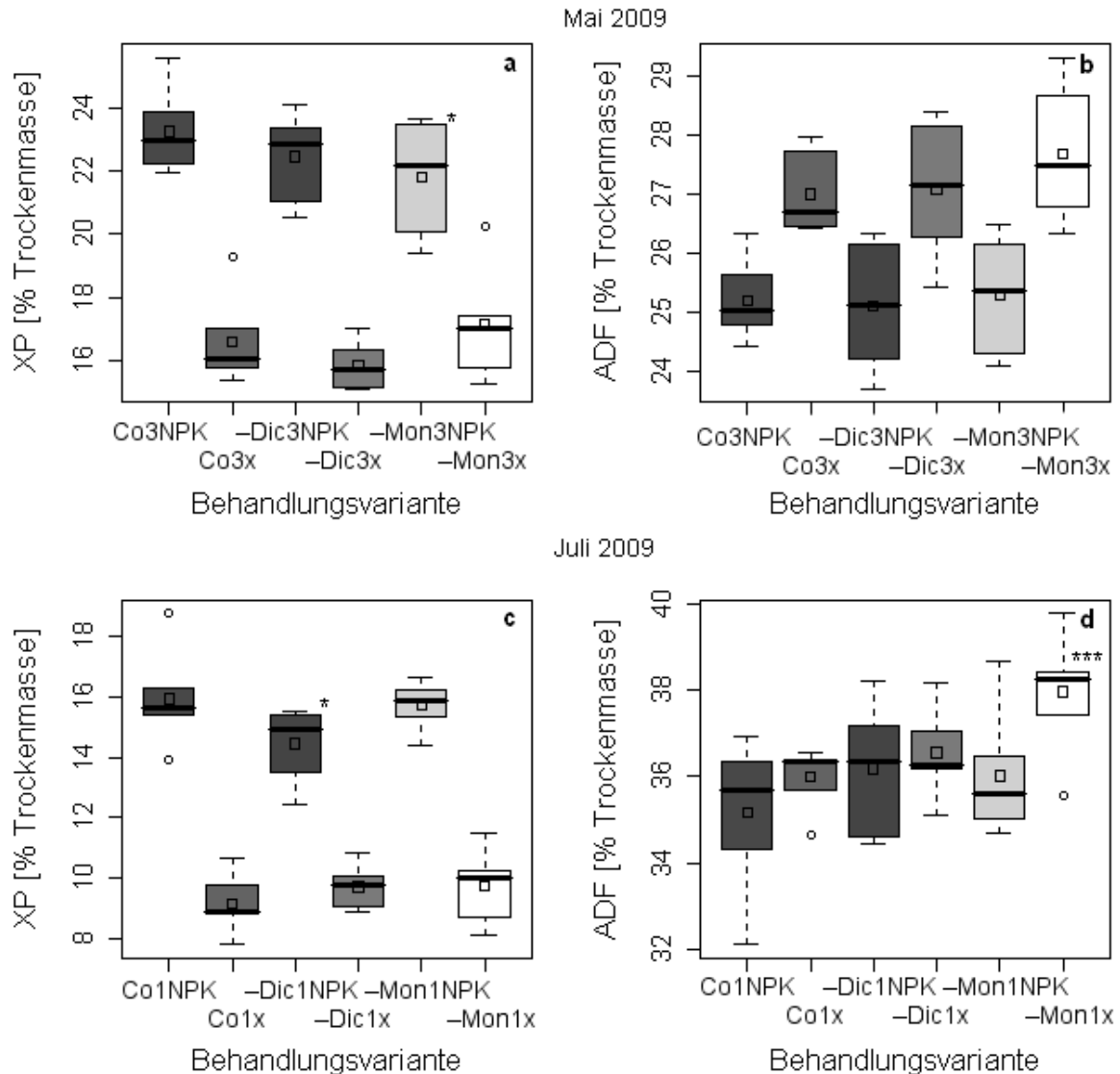
**Tab. 2:** Anteile der Varianz der Erträge der einzelnen Ernten 2009, die durch die einzelnen Faktoren und Interaktionsterme erklärt wird in %. \*\*\*  $P < 0,001$ , '  $P < 0,1$ .

	Mai 09	Juli 09	Sept 09	ges 2009	Juli 1 Schnitt Parzellen	Juli 3 Schnitt Parzellen
Grasnarbentyp	7,2	1,1	0,4	0,2	1,7	2,1
Nutzung		37,4***		58,5***		
Düngung	32,0***	39,3***	77,7***	10,4***	50,9***	77,3***
Nutzung x Düngung		1,0'		8,6***		
Narbe x Düngung						2,7'

Düngung und Nutzungsintensität hatten den größten Einfluss auf die Erträge. Weder die Artenzahl noch die oben genannten Biodiversitätsindizes oder die Anteile der funktionellen Gruppen in den Grasnarben hatten einen signifikanten Einfluss auf die Erträge (Daten nicht gezeigt). Der oft beobachtete positive Effekt der Leguminosen wurde hier nicht gefunden. Vielmehr war die Statur oder Wuchsform der Arten entscheidend für die Ertragsbildung. Der Ertrag im ersten Aufwuchs im Mai 2009 war umso höher, je höher der (Ertrags-)Anteil der Obergräser war. Dies galt allerdings nur für die gedüngten Parzellen, in denen die Obergräser von dem reichlichen Nährstoffangebot mehr profitierten als die übrigen Pflanzen (Interaktion Obergräser x Düngung,  $P = 0,013$ ). Mit höheren Anteilen der niedrigwüchsigen Arten der Unterschicht fiel der Ertrag in den gedüngten Parzellen.

Die Futterqualität war nur indirekt mit der Artenzahl korreliert. Mehr Arten und auch eine höhere Evenness waren in unserem Versuch gleichbedeutend mit höheren Kraut- und Leguminosenanteilen in der Vegetation. Wie aus Abb. 1 hervorgeht, war auch hier vor allem die Bewirtschaftung für Veränderungen der Futterqualität verantwortlich. Schnittzeitpunkt und Düngung beeinflussten die XP- und ADF- Gehalte weit mehr als die Grasnarbentypen. Dennoch gab es Unterschiede innerhalb eines Bewirtschaftungsregimes. Im Mai beim frühen Schnittermin (Abb. 1a) hatten die krautreichsten Grasnarben (-Mon) den geringsten XP Gehalt (nur in der gedüngten Variante). Bis zur Juli-Ernte hatte sich dieses Verhältnis umgekehrt (Abb. 1c), was auf die Nutzungselastizität der Kräuter hinweist.

Untersucht man den Biodiversitätseffekt bei höheren Artenzahlen, vergleichbar mit denen auf bewirtschaftetem Grünland, so ist dessen Einfluss kaum feststellbar. Es ist davon auszugehen, dass hier schon eine Sättigung der beteiligten Ökosystemprozesse stattgefunden hat. Neu hinzu kommende Arten verbessern die Leistung nicht weiter. Gerade unter nährstoffreichen Bedingungen spielt vielmehr die Artidentität eine große Rolle. Konkurrenzstarke, wüchsige Arten sorgen hier für einen hohen Ertrag. Die Qualität wird vorwiegend vom Verhältnis zwischen monokotylen und dikotylen Arten bestimmt. Für verschiedene Bewirtschaftungsweisen (z.B. früher vs. später Schnitt) können jedoch unterschiedliche Verhältnisse günstig sein.



**Abb. 1:** XP und ADF Gehalte der jeweils ersten Aufwüchse im 1-Schnitt und 3-Schnitt Regime gruppiert nach Grasnarbentyp und Düngung. Sternchen geben signifikante Unterschiede zu den Kontrollgrasnarben der jeweiligen Düngestufe an.

Den Versuchsergebnissen zu Folge wird mäßig artenreiches Dauergrünland durch gesteigerte Diversität weder produktiver noch liefert es qualitativ besseres Futter. Ein größerer Artenpool könnte jedoch als „Versicherung“ bei schwankenden Witterungsverhältnissen dienen, die im Zuge des Klimawandels verstärkt auftreten werden.

### Literatur

- Petersen, U., Wrage, N., Köhler, L., C. Leuschner und J. Isselstein 2012: Manipulating the species composition of permanent grasslands—A new approach to biodiversity experiments. *Basic and Applied Ecology*, 13: 1-9.
- Wrage, N., Strodthoff, J., Cuchillo, H.M., J. Isselstein und M. Kayser 2011: Phytodiversity of temperate permanent grasslands: ecosystem services for agriculture and livestock management for diversity conservation. *Biodiversity and Conservation*. 20: 3317-3339.

## Modellgestützte N-Düngung von Winterweizen

Arne M. Ratjen

CAU Kiel, Institut f. Pflanzenbau u. Pflanzenzüchtung E-Mail: ratjen@pflanzenbau.uni-kiel.de

### 1. Einleitung

Bei der Erzeugung von Brotweizen müssen definierte Mindestgehalte an Protein erreicht werden. Daher kann eine Unterversorgung mit Stickstoff ( $N$ ) vergleichsweise starke ökonomische Auswirkungen haben, was in der Praxis zu Risikoaufschlägen bei der N-Düngung von Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) führt. Die Schätzung von N-Bedarf und N-Mineralisation durch Bilanz-Modelle stellt in diesem Zusammenhang prinzipiell ein geeignetes Mittel dar, um wichtige Schlaginformationen und Produktionsziele sinnvoll zu verknüpfen und mehr Transparenz bei der Bemessung des N-Angebots zu erreichen. Dies setzt allerdings ein besseres Verständnis über die Interaktion von N-Angebot (incl.  $N_{min}$ ) und N-Aufnahmeeffizienz ( $NUpE$ ) voraus. Unberücksichtigt bleibt bei diesem Vorgehen jedoch der Einfluss der wechselnden Jahreswitterung auf den N-Bedarf des Bestandes und die N-Nachlieferung des Bodens. Prozessorientierte, dynamische Pflanzen-Boden-Modelle ( $PBM$ ) sind prinzipiell geeignet, um diesen Einfluss zu bewerten, und durch Szenariorechnungen den potentiellen weiteren Verlauf wichtiger Zustandsvariablen zu evaluieren. Allerdings kommt es hierbei häufig zu einer Verzerrung ( $Bias$ ) zwischen mittlerem Simulations- und Beobachtungswert (z.B. Palosuo et al. 2011), was die Einsatzmöglichkeiten bei der Bestandesführung limitiert. Das hier vorgestellte, bereits auf der Internetplattform I.S.I.P. ([www.isip.de](http://www.isip.de)) implementierte Konzept möchte zu einer Reduktion von Risikoaufschlägen bei schlag- und teilflächenspezifischer Düngung beitragen. Durch die Kombination von Bilanz-Modell und  $PBM$  sollen die Stärken beider Konzepte genutzt werden, ohne die Nachteile, welche sich aus dem  $Bias$  der  $PBM$  ergeben in Kauf nehmen zu müssen.

### 2. Material und Methoden

Das in diesem Beitrag skizzierte Düngekonzept besteht aus zwei Komponenten. Die erste Komponente besteht aus einem Bilanz-Modell und wurde anhand von N-Steigerungsversuchen parametrisiert um eine standort- und vorfruchtangepasste N-Düngung zu ermöglichen. Die Versuche wurden über einen Zeitraum von 12 Jahren (1999-2010) an 12 Standorten in Norddeutschland (Amelungsborn, Astrup, Borwede, Groß-Malchau, Hamerstorf, Höckelheim, Holtorfsloh, Königsutter, Otterndorf, Poppenburg, Sophienhof; Hohenschulen) durchgeführt. Zunächst wurden N-Response-Kurven für Ertrag und Proteinkonzentration abgeleitet. Insgesamt standen 2x70 N-Response-Kurven (vorwiegend mit Vorfrucht Raps, Zuckerrübe und Weizen) zur Verfügung. Die zweite Komponente besteht aus einem  $PBM$  und dient der jahresspezifischen Anpassung einzelner Bilanzgrößen.

#### 2.1 Schätzung der Nachlieferung

Der N-Bedarf des Bestandes ( $D$ ) wurde als Summe von N-Entzug und nicht pflanzenverfügbarer N-Menge definiert und für die Parametrisierung direkt aus den N-Response-Kurven abgeleitet. Die effektive N-Mineralisation von ungedüngten Beständen ( $Min^{eff}$ ) wurde als Differenz zwischen  $D$  und dem im Frühjahr

gemessenen  $N_{min}$  definiert. Da das bilanzierte  $Min^{eff}$  von gedüngten Beständen wegen der niedrigeren  $NU\mu E$  (Rahimizadeh et al. 2010) in der Regel niedriger ausfällt, während das Ertragsniveau der Fläche positiv mit der bilanzierten Nachlieferung korreliert, wurden zwei Parameter ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) zur Schätzung der effektiven N-Mineralisation gedüngter Bestände ( $Min^{corr}$ ) eingeführt:

$$Min^{corr} = \bar{Min}^{eff} + \alpha + \beta \bar{Y} \quad \text{Eq.1}$$

Diese Formulierung ermöglicht, dass neben dem Einfluss von Vorfrucht und Bodengruppe ( $BG1$  = tonige Schluffe,  $BG2$  = sandig/lehmmige Böden) auch das Ertragsniveau bei der Ermittlung der N-Nachlieferung berücksichtigt werden kann. Die Parameter  $\alpha$  und  $\beta$  wurden so gewählt, dass die Abweichungsquadrate zwischen ökonomisch optimalem N-Angebot ( $N^{opt}$ ), und der Differenz  $D - Min^{corr}$  minimal ist:

$$N^{opt} \sim D - Min^{corr}, \quad \text{Eq.2}$$

wobei  $D$  den aus N-Responskurven errechneten N-Entzug bei  $N^{opt}$  berücksichtigt und  $\bar{Y}$  (Eq.1) durch den jeweils bei  $N^{opt}$  beobachtetem Ertrag ersetzt wurde.

## 2.2 Berücksichtigung der Jahreswitterung

Um den Einfluss der Jahreswitterung auf N-Bedarf und N-Nachlieferung zum Zeitpunkt der letzten N-Gabe abschätzen zu können, wurde ein mechanistisches *PBM* eingesetzt. Hierbei wurden die Simulationsgrößen Kornertrag, Mineralisation und N-Auswaschungsverluste (bilanziert bei 120cm Bodentiefe) herangezogen, wobei sich die Größen Mineralisation und Auswaschung auf den Zeitraum nach  $N_{min}$ -Probenahme beziehen (akkumuliert zwischen 1.März und BBCH 75).

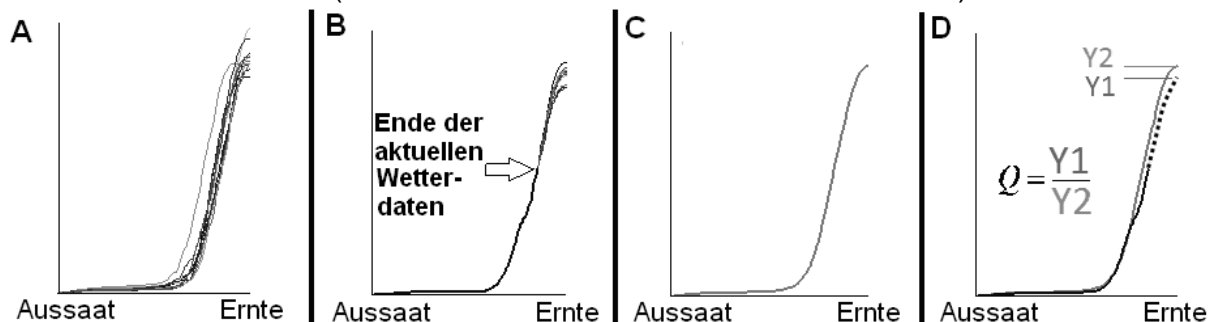


Abb.1 Extraktion qualitativer Information  $Q$  aus dem Simulations-Output am Beispiel Trockenmassebildung. Zunächst werden mit historischer oder standorttypischer Witterung Referenz-Szenarien gerechnet A. Dieses Wetter wird auch genutzt, um die zum Zeitpunkt der letzten N-Gabe noch unvollständige aktuelle Witterung zu extrapolieren B. Das Mittel der in A gezeigten Szenarien bildet den Referenzverlauf C. Das Mittel der Szenarien aus B bildet den erwarteten weiteren Verlauf (D gestrichelte Linie). Die Beurteilung der Zustandsgröße  $Q$  ergibt sich durch das Verhältnis von Erwartungs- und Referenz-Endwerten.

Die absoluten Simulationswerte des *PBM* wurden in relative Werte überführt. Dies geschah durch Berücksichtigung von historischem Wetter als Referenz zur aktuellen Witterung (Abb.1). Die Modifikation des bilanzierten N-Bedarfs ergibt sich aus der erwarteten N-Abfuhr ( $N^{grain}$ ) und dem Relativwert des simulierten Kornertrags ( $Q^y$ ):

$$^{mod} N^{grain} = N^{grain} \times (Q^y - 1). \quad \text{Eq.3}$$



Die jahresspezifische Modifikation der Mineralisation ( ${}^{mod}Min^{corr}$ ) ergibt sich aus der erwarteten Nachlieferung des Bilanz-Modells ( $Min^{corr}$ , Eq.2) und dem Relativwert der simulierten Mineralisation ( $Q^m$ ):

$${}^{mod}Min^{corr} = Min^{corr} \times (Q^m - 1). \quad \text{Eq.4}$$

Da  $Min^{corr}$  bereits den durchschnittlichen Auswaschungsverlust nach Vegetationsbeginn enthält, wurden nur überdurchschnittliche Auswaschungsmengen berücksichtigt, welche sich aus der Differenz mittleren simulierten Auswaschung der Szenariojahre ( $\tilde{L}$ ) und Referenzjahre ( $\hat{L}$ ) ergibt:

$${}^{mod}N^{loss} = \max(0, \tilde{L} - \hat{L}). \quad \text{Eq.5}$$

Aus diesen Teilgrößen ergibt sich die netto Modifikation der bilanzierten N-Angebotsmenge  $Mod^{year}$ , wobei  ${}^{mod}Min^{corr}$  negativ einght:

$$Mod^{year} = {}^{mod}N^{grain} - {}^{mod}Min^{corr} + {}^{mod}N^{loss}. \quad \text{Eq.6}$$

### 2.3 Berechnung des N-Angebotes (incl. $N_{min}$ )

Das berechnete N-Angebot des Bilanzmodells wurde durch einen Zuschlag (S) in Abhängigkeit von der Preis-Kosten-Relation ( $PKR = \text{Weizenpreis zu N-Preis}$ ) optimiert, wobei auch der Einfluss des Proteingehalts auf den Weizenpreis berücksichtigt wurde (nicht gezeigt). Bei der Modellanwendung wird die bilanzierte N-Angebotsmenge des Gesamtmodells  $A^{MOD}$  [kg N/ha] wie folgt berechnet:

$$A^{MOD} = \bar{D} - Min^{corr} + S + Mod^{year}. \quad \text{Eq.7}$$

### 2.4 Evaluierung

Die Inputgrößen des Bilanz-Modells (erste Komponente) sind Durchschnittsertrag des jeweiligen Standorts, der erwartete Proteingehalt, der Erwartungswert für  $Min^{eff}$  und Bodentextur, sowie die  $PKR$ . Zur Evaluierung des Konzepts wurde die verfügbare Jahreswitterung auf den 31. Mai begrenzt, was in etwa dem Zeitpunkt der letzten N-Gabe entspricht. Die jahresspezifischen Anpassung ( $Mod^{year}$ ) wurde mit der Differenz zw. jahresspezifischem und mittleren  $N^{opt}$  ( $N^{diff} = N^{opt} - \bar{N}^{opt}$ ) verglichen. Der erwartete Proteingehalt wurde mit 12% veranschlagt.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Tab.1: Mittlere Nachlieferung (SD in Klammern) von ungedüngten  $\bar{Min}^{eff}$  bzw. ökon. optimal gedüngten Beständen  $\bar{Min}^{corr}$  (BG1 = Ut2-4, BG2 = sandig / lehmige Böden).

BG1				BG2			
VF	n	$\bar{Min}^{eff}$ [kg N/ha]	$\bar{Min}^{corr}$ [kg N/ha]	VF	n	$\bar{Min}^{eff}$ [kg N/ha]	$\bar{Min}^{corr}$ [kg N/ha]
Raps	2	131.6 (30.9)	87.8 (3.2)	Kart.	5	56.5 (10.5)	5.1 (7.3)
WW	11	91.6 (19.6)	50.1 (3.9)	Raps	24	77.5 (24.6)	31.5 (10.7)
ZR	20	114.4 (25.8)	76.3 (4.4)	WW	7	69.1 (23.9)	22.1 (9.9)
-	-	-	-	ZR	1	66.3 (-)	22.9 (-)
<b>33</b>		<b>107.8 (26.4)</b>	<b>69.9 (13.4)</b>	<b>37</b>		<b>72.8 (23.5)</b>	<b>26.4 (13.5)</b>

Sandig/ lehmige Böden (BG2) zeigten deutlich niedrigere  $Min^{eff}$ -Werte im Vergleich zu den Löss-Böden BG1 (Tab.1). Dies ist vermutlich durch die höhere nutzbare Feldkapazität und die dadurch bedingte verbesserte N-Verfügbarkeit, sowie durch höhere Nährhumusgehalte zu erklären, da ein hoher Tongehalt sich mindernd auf

den Abbau von organischen N-Verbindungen auswirkt (Verberne et al. 1990). Die Unterschiede zwischen den BG schlagen jedoch nicht immer auf das berechnete N-Angebot durch, da BG2-Böden häufig ein geringeres Ertragsniveau aufweisen (nicht gezeigt), was die niedrigere Nachlieferung teilweise kompensiert.

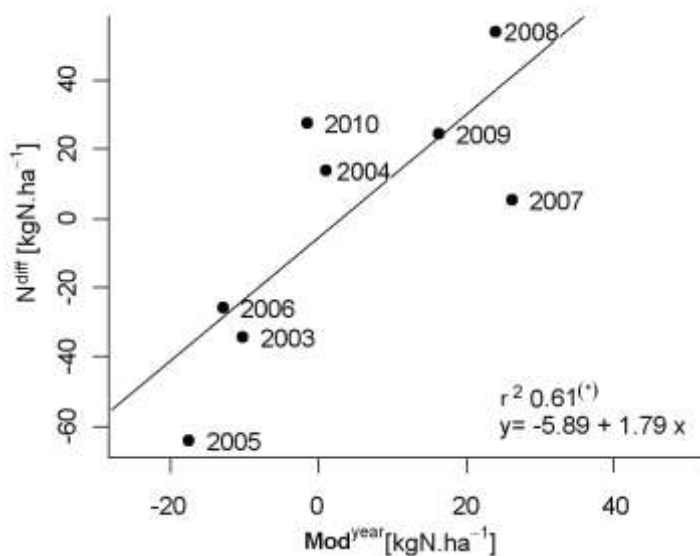


Abb.1: Ex post errechnete Differenz zwischen aktuellem und mittlerem optimalem N-Angebot  $N^{diff}$  für den Standort Königslutter (VF ZR) gegen modell-induzierte jahresspezifische Modifikation des balanzierten N-Angebots  $Mod^{year}$ .

Vorfrucht und Düngung hatten deutliche Effekte auf  $Min^{eff}$ . Letzteres kann durch Unterschiede in  $NUPE$ , sowie durch die N-Immobilisation von Düngerstickstoff erklärt werden. Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen  $N^{diff}$  und  $Mod^{year}$  (Abb.1). Zu beachten ist, dass  $N^{diff}$  ex post errechnet wurde, während  $Mod^{year}$  Ende Mai ohne Kenntnis des weiteren Witterungsverlauf (ex ante) errechnet wurde. Die Standardabweichung von  $Mod^{year}$  ist jedoch geringer gegenüber  $N^{diff}$  (16.9 / 38.5 kg N/ha), was dadurch erklärt werden kann, dass sich Q (Abb.1) aus dem Mittel von Szenarien ergibt, was mögliche Extremverläufe abmildert.

Neben der hier dargestellten Auswertung wurde die Modellempfehlung ( $A^{MOD}$ , Eq.7) mit der Sollwertdüngung der Kammer Niedersachsen für verschiedene Preisszenarien verglichen. Hierbei ergab sich eine Erhöhung der mittleren direktkostefreien Leistung (+59 €/ha), jedoch auch leicht erhöhte N-Bilanzüberhänge (+5.9 kg N/ha). Die errechnete N-Düngermenge des Modells lag im Mittel mit 196 kg N/ha zwar leicht oberhalb der Referenzdüngung, jedoch niedriger als die praxisüblichen N-Mengen (Avenhaus und Blumöhr 2011). Durch eine größere Datenbasis, sowie die Berücksichtigung zusätzlicher Einflussgrößen ist eine weitere Optimierung zu erwarten.

## Literatur

- Avenhaus W., Blumöhr T., (2011). Testerhebung zum Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft. Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik 2/2011:122 ([www.destatis.de](http://www.destatis.de))
- Palosuo T., Kersebaum K.C., Angulo C., Hlavinka P., Moriondo M., Olesen J.E., Patil R.H., Ruget F., Rumbaur C., Takáč J., Trnka M., Bindi M., Çaldağ B., Ewert F., Ferrise R., Mirschel W., Şaylan L., Šiška B., Roetter R. (2011) Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models, European Journal of Agronomy, 35: 103-114
- Rahimizadeh M, Kashani A, Zare-Feizabadi A, Koocheki AR, Nassiri-Mahallati M (2010) Nitrogen use efficiency of wheat as affected by preceding crop application rate of nitrogen and crop residues. AUSTRALIAN JOURNAL OF CROP SCIENCE, 4: 363-368
- Verberne ELJ, Hassink J, De Willigen P, Groot JJR, Van Veen JA (1990) Modelling organic matter dynamics in different soils. Neth J Agric Sci 38:221–238

## **Ertragspotenzial und Anforderungen an die Qualität von Zuckerrüben bei der Vergärung**

Philipp Starke

Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, 37079 Göttingen.  
E-Mail: starke@ifz-goettingen.de

### **Einleitung**

Nachwachsende Rohstoffe bilden als Substratgrundlage bei der Biogasproduktion einen wichtigen Beitrag im deutschen Energiemix. Auf ca. 800.000 ha wurden in 2011 Energiepflanzen für die Biogasproduktion angebaut (FNR, 2012a), die nahezu 50 % des eingesetzten Substrates darstellen (FNR, 2012b). Dabei ist es das Ziel, einen möglichst hohen Biogasertrag zu produzieren. Da von Zuckerrüben häufig nur der Rüben- und Zuckerertrag bekannt ist, soll geklärt werden, welcher Biogasertrag erreicht werden kann und ob dieser mit den bekannten Erträgen korreliert, sodass auf den Biogasertrag verschiedener Sorten geschlossen werden kann. Auch ist unklar, ob bei der Züchtung und beim Anbau von Zuckerrüben als Biogassubstrat andere Anforderungen als für die Zuckerproduktion gelten. Insbesondere soll geklärt werden, ob die Qualität von Zuckerrüben, die vom Sortentyp sowie der Stickstoffdüngung abhängt, den Biogasertrag beeinflusst.

Da für die Biogasproduktion möglichst ganzjährig ein konstantes Substrat zur Verfügung stehen sollte, Zuckerrüben allerdings schwieriger lagerfähig sind als bekannte nachwachsende Rohstoffe wie Mais und Ganzpflanzensilage, wurden Zuckerrüben als Winterrüben angebaut, mit dem Ziel, hohe Biomasseerträge bereits im Frühjahr zu ernten.

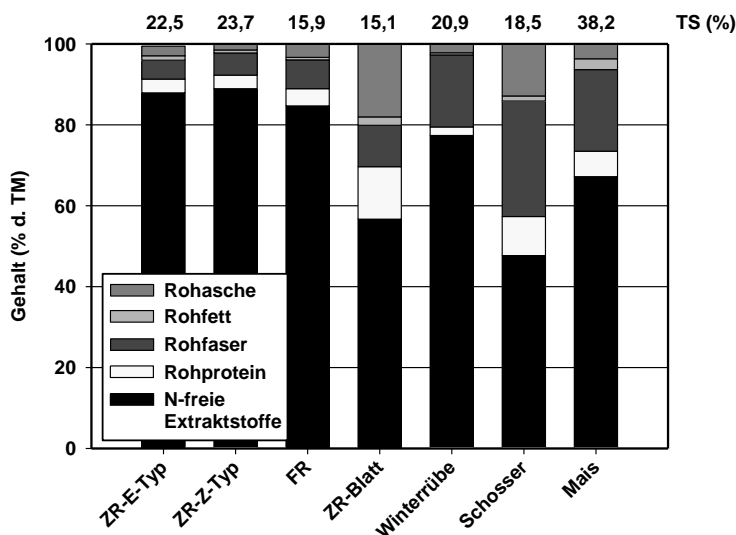
Ziel der Untersuchungen war, einen möglichen Einfluss der Qualität von Zuckerrüben auf den Biogasertrag darzustellen, um daraus abzuleiten, welche Eigenschaften Zuckerrüben für die Biogasnutzung aufweisen müssen.

### **Material und Methoden**

In 2010 wurden Feldversuche mit 4 Zuckerrübensorten verschiedener Sortentypen an den Standorten Göttingen und Regensburg angelegt. Die N-Düngung wurde in 3 Stufen (0, 150 und 300 kg N ha<sup>-1</sup>) unterteilt. Es war geplant, 3 Zeiternten (November, März und Mai) durchzuführen. Jede Versuchsvariante lag in 4 facher Wiederholung vor. Der gleiche Versuch wurde auch im August angelegt, um im darauffolgenden Frühjahr Winterrüben zu ernten. Ein weiterer Versuch, der in 2010 und 2011 durchgeführt wurde, bestand aus 2 Zuckerrübensorten (E-Typ = ertragsbetont, Z-Typ = zuckerbetont) sowie einer Futterrübe. Die N-Düngung war in 4 Stufen (0, 100, 200, 300 kg N ha<sup>-1</sup>) unterteilt. Neben der Ernte im Oktober fand eine vorgezogene Ernte im August statt. Bei allen Versuchen wurde der Frischmasse-, Trockenmasse- und organische Trockenmasseertrag von Rübe und Blatt bestimmt sowie der Zuckerertrag der Rübe. Die Analyse der Trockenmassezusammensetzung von Rübe und Blatt erfolgte nach der Weender Futtermittelanalyse. Von ausgewählten Proben wurden Gärversuche im Batchverfahren über 21 Tage bei 35 °C (VDI 4630) durchgeführt. Weiterhin wurde im Herbst 2011 die Trockenmasse von 3 Maissorten auf ihre Zusammensetzung analysiert.

## Ergebnisse und Diskussion

Bei der Bewertung von Energiepflanzen für die anaerobe Vergärung in Biogasanlagen wird häufig der Trockenmasseertrag als entscheidender Ertragsparameter herangezogen, da dieser einfach zu bestimmen ist. Um jedoch mögliche Unterschiede zwischen verschiedenen Zuckerrübensorten und -qualitäten darzustellen, ist eine Analyse der Trockenmassezusammensetzung notwendig. Es konnte gezeigt werden, dass zwischen E- und Z-Typ keine Unterschiede in der Trockenmassezusammensetzung vorlagen (Abb. 1). Zuckerrüben bestanden zu 90 % aus N-freien Extraktstoffen, zu denen auch der Zucker gehört. Die anderen Rohnährstoffe hatten nur eine untergeordnete Bedeutung. So erreichte der Rohaschegehalt nur 2 % wodurch nur ein geringer Unterschied zwischen dem Trockenmasse- und organischen Trockenmassegehalt vorlag. Der Gehalt an Trockenmasse unterschied sich jedoch zwischen den Sortentypen. So erreichte der Z-Typ mit 23,7 % einen höheren Trockenmassegehalt als der E-Typ (22,5 %). Durch eine gesteigerte N-Düngung nahm der Trockenmassegehalt ab. Die Gasbildung von Zuckerrüben verlief aufgrund des hohen Anteils leicht abbaubarer NfE sehr schnell, sodass nach 4 Tagen bereits 90 % des Gasertrages erreicht wurden. Futterrüben unterschieden sich hinsichtlich der Trockenmassezusammensetzung nur geringfügig von Zuckerrüben. Allerdings hatten sie mit 15 % einen deutlich geringeren TM-Gehalt. Einen ähnlich niedrigen TM-Gehalt hatte das Zuckerrübenblatt (15,1 %). Die Trockenmasse war jedoch anders zusammengesetzt, da der NfE-Gehalt nur bei 55 % lag und insbesondere der Rohaschegehalt fast 20 % erreichte. Da nur die organische Trockenmasse zur Gasbildung beiträgt, war der nutzbare Anteil der Blatttrockenmasse geringer wodurch das Blatt eine geringere Wertigkeit als Biogassubstrat aufwies im Vergleich zur Rübe. Winterrüben und Schosser erreichten



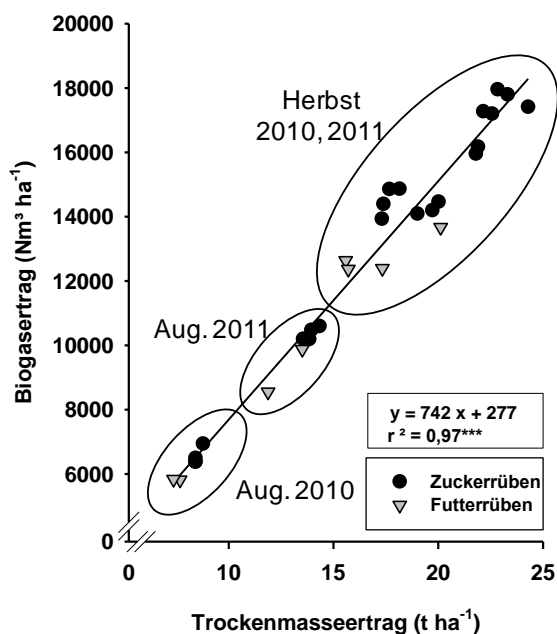
**Abb. 1:** Rohnährstoffzusammensetzung nach der Weender Futtermittelanalyse. Zuckerrüben (E-Typ, Z-Typ) und Futterrüben: Mittel aus 2 N-Düngungsstufen (0, 300 kg ha<sup>-1</sup>), 1 Standort, Oktober 2011; ZR-Blatt: Mittel aus 2 N-Düngungsstufen (150, 300 kg ha<sup>-1</sup>), 1 Standort, Oktober 2010; Winterrüben und Schosser: Mittel aus 4 Sorten, 2 N-Düngungsstufen (150, 300 kg ha<sup>-1</sup>), 1 Standort, Juni 2011; Mais: Mittel aus 3 Sorten, Oktober 2011

zwar hohe Trockenmassegehalte (20,9 %, 18,5 %), allerdings war die Zusammensetzung durch einen erhöhten Rohfasergehalt geprägt. Da Rohfaser in der Vergärung nicht so schnell abgebaut wurde wie die NfE, verlief die Gasbildung langsamer als bei Zuckerrüben.

Im Trockenmasseertrag zeigte sich, dass Zuckerrüben zu jedem Erntetermin höhere Erträge als Futterrüben erreichten (Abb. 2). Zuckerrüben bildeten bis zu 25 t TM ha<sup>-1</sup> und 18.000 m<sup>3</sup> Biogas ha<sup>-1</sup>, Futterrüben nur maximal 20 t TM ha<sup>-1</sup> und 14.000 m<sup>3</sup> Biogas ha<sup>-1</sup>. Zwischen dem Trockenmasse- und Biogasertrag lag ein linearer Zusammenhang vor, sodass der Trockenmasseertrag zur Beschreibung des Biogasertra-

ges genutzt werden kann. Die Zusammensetzung und Qualität der Rüben hatte keinen Einfluss auf den Biogasertrag, da verschiedene Rübenqualitäten gleiche spezifische Biogaserträge bildeten.

Für die Zuckerproduktion werden die Trockenmassegehalte und -erträge von Zuckerrüben nicht routinemäßig ermittelt und liegen daher nicht vor. Es ist aber bekannt, dass die Trockenmasse von Zuckerrüben zu ca. 75 % aus Zucker besteht (Kenter & Hoffmann, 2006). Somit korrelierte nicht nur der Trockenmasse-, sondern auch der Zuckerertrag sehr eng mit dem Biogasertrag. Da der Zuckerertrag von allen Zuckerrübensorten bekannt ist, ist eine Einstufung der Sorten hinsichtlich ihres Biogasertrages möglich. Ebenso stellt der Zuckerertrag ein wesentliches Züchtungsziel bei Zuckerrüben dar, das auch für den Einsatz als Biogassubstrat von Bedeutung ist. Eine Züchtung spezieller Biogasrüben ist daher nicht nötig. Vielmehr kann die ertragreichste Zuckerrübe für die Zuckerproduktion auch als ertragreichste Rübe für die Biogasproduktion angesehen werden. Im Vergleich zu anderen nachwachsenden Rohstoffen wie Getreide-Ganzpflanzensilage oder Sonnenblumen erreichten Zuckerrüben wesentlich höhere Trockenmasseerträge (LWK, 2011).



**Abb. 2:** Biogasertrag von Zucker- und Futtrüben in Abhängigkeit des Trockenmasseertrages.

Zuckerrüben: 4 Sorten, 3 N-Düngungsstufen (0, 150, 300 kg ha<sup>-1</sup>), 4 Standorte, 2010, 2011; Futtrübe: 1 Sorte, 2 N-Düngungsstufen (0, 300 kg ha<sup>-1</sup>), 2 Standorte, 2010, 2011

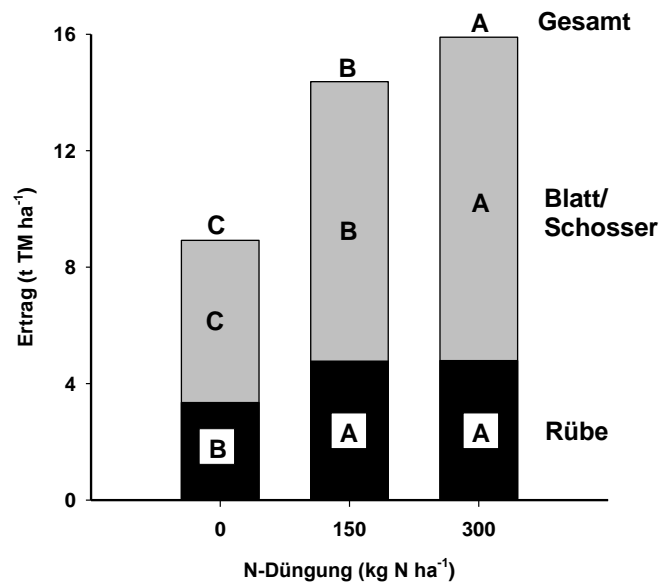
Vergleichbare Erträge sind häufig nur mit Silomais möglich.

Um das Substrat Zuckerrübe für die Biogasproduktion ganzjährig zur Verfügung zu stellen, bietet sich die Ernte zu verschiedenen Zeitpunkten an. Durch die Überwinterung von Zuckerrüben im Feld sollte eine Ernte im Frühjahr (März bzw. Mai) ermöglicht werden. Es zeigte sich jedoch, dass Zuckerrüben Frostperioden nicht überstehen, sodass die Ernte nach Winter nicht möglich war. Hingegen kann der Anbau von Winterrüben, die im Spätsommer gesät und im darauffolgenden Frühjahr geerntet werden, zur ganzjährigen Substratbereitstellung beitragen. Die Anfälligkeit gegenüber Frost war bei Winterrüben geringer als bei Zuckerrüben, die im Frühjahr gesät wurden. Zur Ernte im Juni ließen sich bei Winterrüben Gesamttrockenmasseerträge von 15 t ha<sup>-1</sup> erzielen, wobei etwa ein Drittel durch die Rübe und zwei Drittel durch das Blatt gebildet wurden (Abb. 3). Durch den Vernalisationsreiz setzte das generative Wachstum ein, das mit der Bildung des Schossers verbunden war. Daher stand

das Wachstum der Rübe im Frühjahr nicht mehr im Vordergrund. Um Erträge zu erreichen, die konkurrenzfähig zu anderen nachwachsenden Rohstoffen wie Getreide-Ganzpflanzensilage sind, muss daher die Rübe und der Schosser geerntet werden. Ebenso wie bei im Frühjahr gesäten Zuckerrüben zeigte sich, dass der Rübentrockenmasseertrag nicht linear mit der N-Düngung anstieg. Ein intensives N-Düngungsniveau von 300 kg ha<sup>-1</sup> führte nicht zu einem signifikanten Ertragsanstieg. Der Blatt- und daher auch der Gesamttrockenmasseertrag reagierten jedoch positiv

auf eine gesteigerte N-Düngung. Durch den Anbau von Winterrüben kann sich eine weitere Möglichkeit der Substratbereitstellung ergeben. Allerdings ist dafür eine ausreichende Winterhärte Voraussetzung.

Beim Anbau von Zuckerrüben als Biogassubstrat lassen sich hohe Biogaserträge erzielen, die von anderen nachwachsenden Rohstoffen häufig nicht erreicht werden. Die schnelle Umsetzung bei der anaeroben Gärung ermöglicht einen erhöhten Substratdurchsatz im Fermenter. Durch die Korrelation von Zucker- und Biogasertrag kann die ertragreichste Zuckerrübensorte auch bei der Biogasproduktion die höchsten Erträge liefern. Ein Einfluss der Zuckerrübenqualität auf den Biogasertrag lag nicht vor. Bei der Züchtung und bei der N-Düngung sind daher keine Veränderungen notwendig.



**Abb. 3:** Trockenmasseertrag von 4 Zuckerrübensorten in Abhängigkeit der N-Düngung. Mittel aus 4 Sorten, Aussaat: August 2010, Ernte: Juni 2011, 1 Standort. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den N-Düngungsstufen bei  $p \leq 0,05$  (REGW-Test)

## Literatur

- FNR 2012a: Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe 2011. <http://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/anbau/anbauflaeche-fur-nachwachsende-rohstoffe-2011.html>. Abrufdatum: 19.06.2012
- FNR 2012b: Massebezogener Substrateinsatz in Biogasanlagen. <http://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/massebezogener-substrateinsatz-in-biogasanlagen.html>. Abrufdatum: 19.06.2012
- LWK 2011: Ertragsvergleich unterschiedlicher Energiepflanzen in den Jahren 2005 bis 2010. <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/74/article/15788.html>. Abrufdatum: 22.03.2012
- Kenter, C.; C. Hoffmann 2006: Seasonal patterns of sucrose concentration in relation to other quality parameters of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86: 62-70

## Pyrolyse- und HTC-Kohlen als Bodenverbesserer auf sandigen Böden im Gemüsebau

Wolf-Anno Bischoff<sup>1</sup>, Andreas Schwarz<sup>1</sup> und Judit Pfenning<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gutachterbüro TerraAquat, Nürtingen; <sup>2</sup> Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340), Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: w.bischoff@terraquat.com

### Einleitung

Eine optimale Wasser- und Nährstoffversorgung ist im Gemüsebau unerlässlich für gute Erträge, was auf sandigen Böden nur durch hohen Einsatz von Wasser und Dünger möglich ist. Die Wasser- und Nährstoffspeicherkapazitäten von Böden können durch die Zugabe einer Pyrolysekohle verbessert werden (Glaser et al., 2002).

Durch die Verkohlung von organischen Abfallstoffen tragen Biokohlen dazu bei, den Nährstoffkreislauf zu schließen (McHenry, 2009). Im Gegensatz zur Pyrolyse können bei der hydrothermalen Carbonisierung (HTC) auch nasse Edukte und somit fast alle organischen Abfälle verwendet werden. Untersuchungen deuten auf Wachstumsdepressionen beim Einsatz von HTC-Kohlen hin. Während der Herstellung der HTC-Kohle wird Essigsäure angelagert, die wachstumshemmend wirken kann.

In zwei Säulenversuchen mit Brokkoli (2010) und Eiszapfen (2011) sollte untersucht werden, ob verschiedene Biokohlen (Pyrolyse, HTC) geeignet sind, die Nährstoff- und Wasserversorgung der sandigen Böden zu verbessern, die N-Verluste mit dem Sickerwasser zu verringern und höhere Erträge zu erzielen.

### Material und Methoden

Ein lehmiger Sand wurde mit unterschiedlichen Biokohlen vermischt: Die Pyrolysekohle wurde aus Buchenschnitzeln hergestellt. Diese wurde 2010 mit 0,7 % (Masse) bzw. 3,5 % beigemischt, 2011 mit 3 %. 2011 wurden zusätzlich HTC-Kohlen aus Fichtenstreu (L-Lage) verwendet und ebenfalls mit 3 % zugemischt. Dazu wurden zwei Kohlen mit unterschiedlicher Inkohlungsdauer (4 h und 8 h) hergestellt. Um die Säure zu neutralisieren, wurde die 4 h-HTC-Kohle in drei Varianten verwendet: (i) unbehandelt, (ii) neutralisiert mit  $\text{CaCO}_3$  und (iii) neutralisiert mit  $\text{Ca(OH)}_2/\text{MgCl}_2$ . Die 8 h-HTC-Kohle wurde ebenfalls mit  $\text{Ca(OH)}_2/\text{MgCl}_2$  neutralisiert. Zusätzlich wurde in beiden Jahren eine Vergleichsvariante ohne Biokohlezusatz angelegt. Jede Variante wurde in 4facher Wiederholung angesetzt.

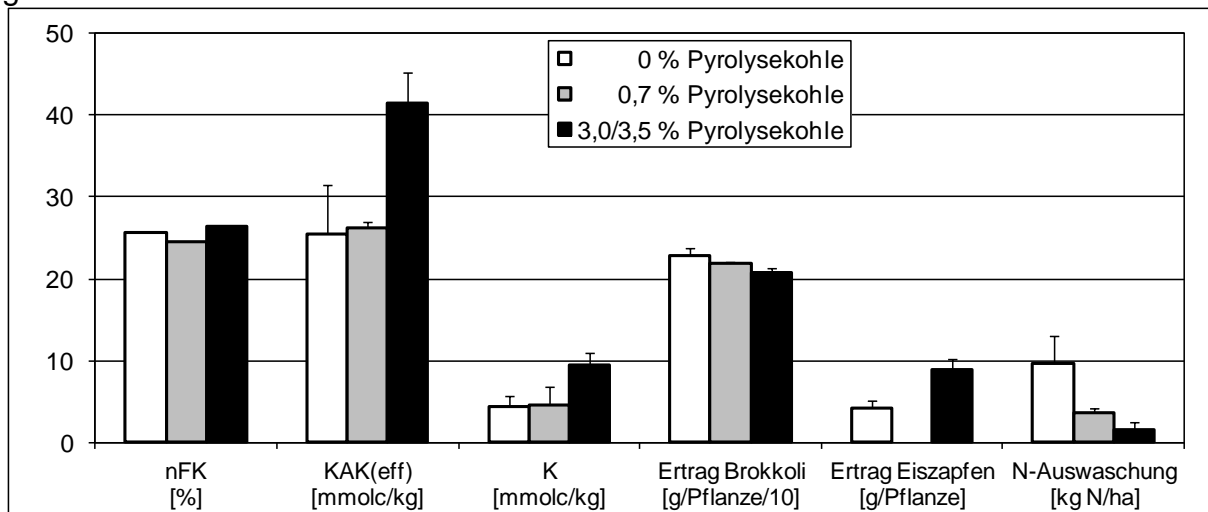
2010 wurde auf den Säulen Brokkoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*, Sorte „Ironman“), 2011 Eiszapfen (*Raphanus sativus* var. *sativus*) gesät.

An den 25 cm hohen Säulen wurde ein Unterdruck angelegt, um einen Wasserstau am unteren Rand zu verhindern und somit natürliche hydraulische Verhältnisse zu schaffen. Das Sickerwasser wurde gesammelt und etwa zwei Mal wöchentlich beprobt. Erfasst wurden die Sickerwassermenge sowie die Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen im Sickerwasser. Darüber hinaus wurden zur Ernte Masse und Nährstoffgehalt von Ernteorganen und Gesamtpflanzen bestimmt.

### Ergebnisse und Diskussion

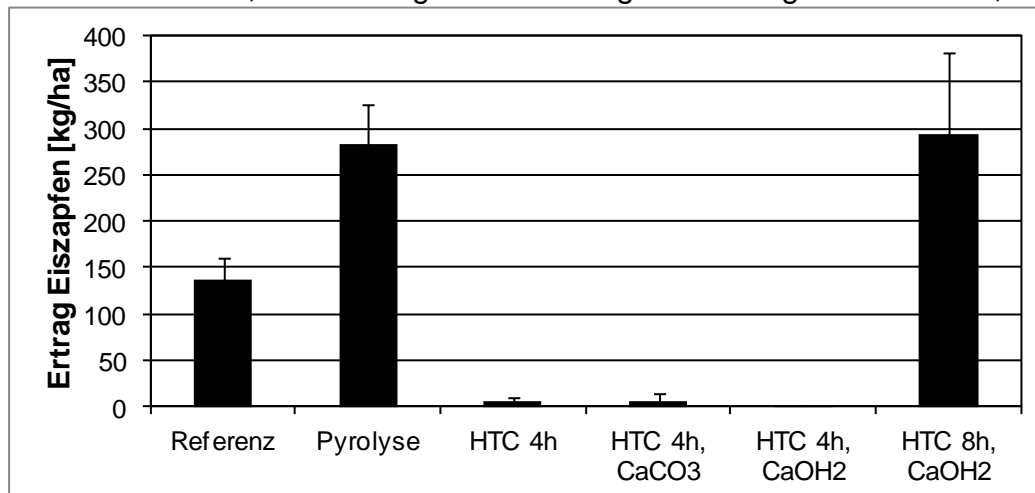
Durch die Zugabe der Pyrolysekohle wurde die nutzbare Feldkapazität (nFK) kaum beeinflusst (Abbildung 1). Die Nährstoffspeicherkapazität (Kationenaustauschkapazität, KAK) und der Gehalt an austauschbarem Kalium (K) nahmen durch die

Pyrolysekohle zu. Die Erträge gingen für Brokkoli leicht zurück, für Eiszapfen stiegen sie. Durch die Pyrolysekohle wurde die N-Auswaschung von 9,7 auf 1,6 kg N/ha reduziert. Damit hat die Biokohle einen deutlichen Effekt auf die Qualität des neu gebildeten Sickerwassers und somit auch auf die des Grundwassers.



**Abbildung 1:** Nutzbare Feldkapazität (nFK), effektive Kationenaustauschkapazität (KAK<sub>eff.</sub>), Gehalt an austauschbarem Kalium (K), Ertrag Brokkoli (mit 1/10 multipliziert) und Eiszapfen sowie N-Auswaschung für Mischungen Boden + Pyrolysekohle (Versuch 2010, außer Ertrag Eiszapfen: 2011, Fehlerbalken = Standardabweichung).

HTC-Kohle mit einer Inkohlungsdauer von 4 h führte unabhängig von einer Neutralisation zu einem starken Ertragsrückgang bei Eiszapfen (2011), die Pyrolyse- und die 8 h-HTC-Kohle hingegen zu einer Ertragssteigerung (Abbildung 2). Die negative Wirkung der 4 h-HTC-Kohle wurde weder durch den pH-Wert noch durch Makro- oder Mikronährstoffmangel hervorgerufen. Vermutlich sind phytotoxisch wirkende, organische Substanzen, die bei längerer Inkohlung wieder abgebaut wurden, die Ursache.



**Abbildung 2:** Ertrag Eiszapfen für die unterschiedlichen Mischungen aus Boden und Biokohle (Versuch 2011, Fehlerbalken = Standardabweichung).

## Literatur

- Glaser, B.; J. Lehmann und W. Zech 2002: Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biol Fertil Soils* 35: 219-230.
- McHenry, M.P. 2009: Review: Agricultural bio-char production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129: 1-7.



## **Review: Sequestrierung von Kohlenstoff zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit – Was wissen wir wirklich?**

Torsten Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachgebiet Düngung und Bodenstoffhaushalt, Inst. f. Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: torsten.mueller@uni-hohenheim

### **Einleitung**

Die Bodenfruchtbarkeit wird eng mit der postmortalen organischen Bodensubstanz (Humus) in Zusammenhang gebracht, d.h. mit den Gehalten bzw. Mengen an organischem Kohlenstoff im Boden ( $C_{org}$ ). Vor allem auf leichteren Böden wird die Speicherfähigkeit für Wasser und Nährstoffe mit den Humusmengen im Boden in Zusammenhang gebracht. Auf mittleren bis schweren Böden spielen die Humusgehalte im Oberboden für die Ausbildung einer günstigen Bodenstruktur eine große Rolle. Daneben werden in der Literatur weitere Funktionen des Humus beschrieben, die sich auf die biologischen, chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften und damit positiv auf die Bodenfruchtbarkeit auswirken. Es ist daher naheliegend, Strategien zu entwickeln, Humusgehalte und -mengen in Ackerböden zu steigern oder zumindest konstant zu halten. In Form einer Literaturstudie soll geprüft werden, in welchem Umfang und unter welchen Bedingungen Steigerungen von Humusgehalten und -mengen in Ackerböden möglich sind und ob eine regelmäßige organische Düngung zu Ertragssteigerungen gegenüber reiner Mineraldüngung führt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich Humus im Boden in einem Fließgleichgewicht zwischen ständigem Auf- und Abbau befindet.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Beispielhaft für zahlreiche andere Untersuchungen konnte Albert (2011) bestätigen, dass eine regelmäßige Düngung mit Stallmist in Verbindung mit einer ausgeglichenen Mineraldüngung zu höheren Erträgen führt als eine ausgeglichene Mineraldüngung allein. Die Effekte sind bei Hackfrüchten stärker ausgeprägt als bei Getreide. Mehrerträge durch regelmäßigen Stallmist-Einsatz waren jedoch mit erhöhten N-Bilanzsalden und einem entsprechend erhöhten Risiko für Austräge von N in die Umwelt verbunden.

Steigerungen von Humusgehalten und -mengen in Böden sind in zahlreichen Dauerdüngungsversuchen beschrieben. Allerdings ist der Effekt einer organischen Düngung dabei von zwei Faktoren abhängig: 1. Der gedüngten Menge an organischer Substanz und 2. dem Ausgangsniveau der Humusgehalte im Boden. So zeigen sich im klassischen Hoosfield Barley Feldversuch in Rothamsted, bei organischer Düngung Steigerungen im  $C_{org}$  in den obersten 23 cm Boden um 200 % innerhalb von ca. 120 Jahren im Vergleich zur ungedüngten Variante, die fast konstant blieb (Jenkinson et al., 1987). Hier war das Ausgangsniveau jedoch sehr niedrig bei 1 %  $C_{org}$  und die Applikationsrate war sehr hoch mit 35 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> Stallmist. Demgegenüber stiegen die  $C_{org}$ -Gehalte im Oberboden der mit Stallmist gedüngten Varianten des statischen Dauerdüngungsversuchs Bad Lauchstädt innerhalb von fast 100 Jahren nur um etwa 45 % (Körshens, 1994). Hier war das Ausgangsniveau mit ca. 1,8 %  $C_{org}$  wesentlich höher und die Applikationsrate mit 20 bzw. 30 t ha<sup>-1</sup> Stallmist nur alle zwei Jahre wesentlich niedriger. In diesem Versuch zeigt sich auch,

dass der Unterschied zwischen 0 und 20 t ha<sup>-1</sup> Stallmist weit mehr als doppelt so groß ist als der Unterschied zwischen 20 und 30 t ha<sup>-1</sup>.

Es scheint also eine standorttypische Kapazität für die Humusspeicherung im Boden zu geben, die mit steigender regelmäßiger Einarbeitung von organischer Substanz in eine bestimmte Schicht des Oberbodens nach und nach gesättigt wird. So konnten Gulde et al. (2008) zeigen, dass bei Zufuhr von Stallmist zunächst schwer abbaubare Fraktionen der organischen Bodensubstanz aufgefüllt werden und weitere Steigerungen an C<sub>org</sub>-Gehalten nur noch in labilen Fraktionen erfolgen bis schließlich insgesamt eine Sättigung eintritt.

Für eine weitere Steigerung der Humusmengen im Boden müssen mit zunehmender Sättigung folglich tiefere Bodenschichten mit unverbrauchten Speicherkapazitäten erschlossen werden. Dies erfolgte z.B. im Rahmen der Krumenvertiefung auf den Lössstandorten Norddeutschlands mit der Folge einer erheblichen (> 30%) zusätzlichen Speicherung von organischer Substanz in den obersten 35 cm Boden (Nieder und Richter, 2000).

Vorstellungen aus den 80er und 90er Jahren, nach denen Kohlenstoff generell durch Verminderung der Bodenbearbeitungstiefe oder gar Direktsaatverfahren im Boden sequestriert werden könne, müssen heute verworfen werden (Baker et al., 2007; Powlsen et al., 2011). Viele der damals vorgestellten Ergebnisse unterlagen drei klassischen Fehlern bei der Betrachtung von Dauerfeldversuchen. 1. Das Ausgangsniveau wurde nicht erfasst, so dass nur relative Vergleiche zwischen den Varianten nicht aber zur Ausgangssituation möglich waren. So kann es in allen Varianten zu einer Abnahme gekommen sein, die nur unterschiedlich stark ausfiel (Albert, 2011). 2. Die Untersuchungstiefe war nicht ausreichend um Veränderungen in tieferen Bodenschichten darzustellen. Langsam auftretende Abnahmen im C<sub>org</sub>-Gehalt des Unterbodens bei verminderter Bearbeitungstiefe werden so übersehen. 3. Der Betrachtungszeitraum ist zu kurz gewählt, so dass sich noch kein neues Fließgleichgewicht eingestellt hat. Dies betrifft insbesondere wieder den langsam reagierenden Unterboden. 4. Steigerungen der Dichte im Oberboden bei verminderter Bodenbearbeitung werden falsch verrechnet, so dass bei konstanter Beprobungstiefe immer mehr Boden in die Untersuchungen einbezogen wird. Neuere Untersuchungen, welche die genannten Punkte berücksichtigen, kommen eher zu der Vorstellung, dass eine Verminderung der Bearbeitungstiefe vor allem zu einer Umverteilung von C<sub>org</sub> im Bodenprofil mit nur geringen Zu- oder Abnahmen der C<sub>org</sub>-Mengen führt (Baker et al., 2007; Powlsen et al., 2011).

## Literatur

- Albert, E. 2011: Gratwanderung N-Bilanz. DLG-Mitteilungen 12/2011: 48-51.
- Appel, T. 2011: Weniger Kohlenstoff im Boden nach langjährig pflugloser Bodenbearbeitung. Berichte der DBG, <http://eprints.dbg.de/596>
- Baker, J.M.; T.E. Ochsner; R.T. Venterea; T.J. Griffis 2007:
- Gulde, S.; H. Chung; W. Amelung; C. Chang und J. Six 2008: Soil carbon saturation controls labile and stable carbon pool dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 72:605-612
- Jenkinson, D.S.; P.B.S. Hart; J.H. Rayner J.H. und L.C. Parry 1987: Modelling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted. *INTECOL Bulletin*, 15, 1-8.
- Körschens, M. 1994: Der statische Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 90 Jahren. Teubner, Stuttgart, 180 S.
- Nieder, R.; J. Richter 2000: C and N accumulation in arable soils of West Germany and its influence on the environment – Developments 1970 to 1998. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 163, 65-72.
- Powlsen, D.S., A.P. Whitmore und K .W.T. Goulding 2011: Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal Soil Science*, 62: 42–55

# Keimung, Wachstum und Nährstoffdynamik in Boden und Pflanze nach dem Einbringen von Biokohlen aus hydrothormaler Carbonierung (Hydrochar) und Pyrolyse (Biochar)

Inge Bargmann<sup>1/2</sup>, Jörg Michael Greef<sup>2</sup> und Martin Kücke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Freie Universität Berlin, Institut für Biologie, Altensteinstr. 6, 14195 Berlin.

E-Mail: inge.bargmann@jki.bund.de

<sup>2</sup> Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

## Einleitung

Die landwirtschaftliche Nutzung von HTC-Biokohle setzt voraus, dass HTC-Materialien die Bodeneigenschaften und das Pflanzenwachstum nicht negativ beeinflussen. Ob HTC-Biokohlen als Bodenhilfsstoffe geeignet sind, muss zunächst im Versuchsmaßstab untersucht werden. In dieser Arbeit wurden vier Biokohlen aus den Inputmaterialien Biertreber und Rübenschnitzel agrochemisch charakterisiert und auf ihre Eignung als Bodenhilfsstoff in Gefäßversuchen getestet.

## Material und Methoden

Die HTC-Biokohlen wurden aus Rübenschnitzeln (RS) und Biertreber (BT) hergestellt (HydroCarb GmbH, 190 °C, 4 bzw. 12 Stunden). Es wurden 3 Versuche mit Sommergerste (10 Pfl./Gef.), Buschbohne (3 Pfl./Gef.) und Porree (3 Pfl./Gef.; 2L-Containern, 4 Wiederholungen) durchgeführt. Die getrockneten HTC-Biokohlen wurden auf 1 mm vermahlen und zu 2, 4 und 10 Gew.-% mit dem Boden (IS) gemischt. Alle Gefäße erhielten 400 mg N, 65 mg P und 540 mg K kg<sup>-1</sup> Boden gedüngt. Die Ernte (oberirdische Biomasse) erfolgte nach 6 Wochen.

## Ergebnisse und Diskussion

Sommergerste und Buschbohnen zeigten in Substratmischungen mit HTC-Biokohle in der ersten Versuchswoche geringere Keimraten als in den Kontrollgefäßen ohne HTC (Keimverzögerung), die nach zwei Wochen nicht mehr nachweisbar waren. Keimverzögerungen durch frische HTC-Biokohlen werden auch von Busch et al. (2011) berichtet.

HTC-Zugabe führte bei Sommergerste zu Mehrerträgen von bis zu 29% gegenüber der Kontrolle ohne HTC, bei Buschbohne zu einer Ertragssteigerung von bis zu 91 %. Porree reagierte je nach HTC-Ausgangsmaterial und -Prozessbedingungen unterschiedlich auf HTC-Zufuhr: Durch RS<sub>12</sub> wurde im Durchschnitt über alle Konzentrationen ein Biomassezuwachs von 28% gegenüber der Kontrolle erzielt. Die anderen HTC-Biokohlen führten dagegen zu signifikanten Ertragsabnahmen.

**Tab. 1:** Trockenmasseertrag (in % der Kontrollvariante) von Sommergerste, Buschbohne und Porree nach Zugabe unterschiedlicher HTC-Kohlen zum Substrat, gemittelt über drei Zuschlagsstufen (2, 4, 10 Gew.-%)

	Einheit	Sommergerste	Statistik (p= 0,05)	Buschbohne	Statistik (p= 0,05)	Porree	Statistik (p= 0,05)
Kontrolle	(%)	100	B	100	C	100	B
BT <sub>4</sub>	(%)	129	A	165	A	59	C
BT <sub>12</sub>	(%)	117	AB	150	AB	75	CD
RS <sub>4</sub>	(%)	104	B	191	A	69	C
RS <sub>12</sub>	(%)	126	AB	173	A	128	A

BT: Biertreber. RS: Rübenschnitzel 4 bzw. 12 = Dauer der Carbonisierung; Mittelwerte über die Behandlungen 2%, 4%, 10% HTC-Zugabe. Unterschiedliche Buchstaben: Signifikante Differenzen zwischen den Mittelwerten (bei p = 0,05) ANOVA, Tukey-Test

Die Zumischung von HTC aus Rübenschnitzel reduzierte bei allen Pflanzenarten die N-Gehalte in der Biomasse (Tab. 2), die von HTC aus Rübenschnitzel nur bei Porree.

**Tab. 2:** Stickstoffgehalt (in % TM) von Sommergerste, Buschbohne und Porree nach Zugabe von HTC-Kohle zum Substrat, gemittelt über drei Zuschlagsstufen (2, 4, 10 Gew.-%)

	Einheit	Sommergerste	Statistik (p= 0,05)	Buschbohne	Statistik (p= 0,05)	Porree	Statistik (p= 0,05)
Kontrolle	(%)	5,39	AB	6,54	A	5,27	A
BT <sub>4/190</sub>	(%)	5,58	AB	5,38	A	4,78	BC
BT <sub>12/190</sub>	(%)	5,74	A	5,66	A	4,67	BCD
RS <sub>4/190</sub>	(%)	5,01	B	3,26	C	4,32	CD
RS <sub>12/190</sub>	(%)	4,31	C	3,99	B	4,23	D

Erl. S. Tab. 1

HTC-Zugabe zum Boden verringert die Gehalte an löslichem Stickstoff, vor allem bei Verwendung von HTC-Material mit weitem C:N-Verhältnis (Rübenschnitzel). Dies zeigte sich in einem Inkubationsversuch, in dem die lösliche N-Konzentration im Boden über acht Wochen gemessen wurde (Daten nicht aufgeführt) und durch die Versuche von Nelson et al. (2011), die eine Verminderung der Nitratkonzentration im Boden nach Einbringung von HTC-Biokohle aus Maiskolben feststellten. Zudem zeigen die Ergebnisse, dass die Kulturarten hinsichtlich ihres Keimverhaltens und ihrer Biomassebildung unterschiedlich (positiv bzw. empfindlich) auf unterschiedliche HTC-Herkünfte reagieren.

## Literatur

- BUSCH, D., KAMMANN, C., GRÜNHAGE, L. & MÜLLER, C. 2011. Simple biotoxicity tests for evaluation of carbonaceous soil additives: Establishment and reproducibility of four test procedures. *Journal of Environmental Quality* 40: 1-10.
- Nelson, N. O., Agudelo, S. C., Yuan, W. & Gan, J. 2011: Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. *Soil Science* 176, No. 5: 218-226.

## Effekte von HTC-Biokohle auf die Bodenbiologie – Schwerpunkt arbuskuläre Mykorrhiza

Carmen George<sup>1</sup>, Matthias C. Rillig<sup>1</sup> und Martin Kücke<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Biologie, Pflanzenökologie, Freie Universität Berlin, Berlin; <sup>2</sup>Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Braunschweig. E-Mail: cgeorge.fu@googlemail.com

### Einleitung

Der Abbau und die Mineralisierung organischer Bodeneinträge (z.B. HTC-Biokohlen) wird stark durch die Abundanz und Aktivität der Bodenorganismen (Pilze, Bakterien) beeinflusst. Mykorrhizen nehmen im Bodenökosystem eine wichtige Schlüsselrolle ein und vermitteln eine Vielzahl wichtiger, essentieller Ökosystemleistungen. Ungefähr 90 % aller Landpflanzen sind mykorrhiziert, wobei mehr als 80 % dieser eine Vergesellschaftung mit arbuskulären Mykorrhizapilzen (AM-Pilzen) eingehen (darunter auch eine Vielzahl der heute angebauten Kulturpflanzen). Im Zuge der Ausbringung von HTC-Biokohlen ist es wichtig, die Einflüsse dieser Materialien auf die Bodenorganismen und den von ihnen vermittelten Prozessen zu untersuchen, um eine Verminderung der erbrachten Ökosystemleistungen zu verhindern bzw. Strategien herauszuarbeiten, um diese zu steigern.

Das Projekt hatte zum Ziel, die Effekte von HTC-Biokohlen auf bodenbiologische Parameter, speziell die ökologisch wichtigen arbuskulären Mykorrhizapilze, zu untersuchen, um eventuelle negative oder positive Einflüsse auf das Bodenökosystem abschätzen zu können.

### Material und Methoden

HTC-Biokohle aus Birtreber (BT12/220 = 12 h bei 220 °C karbonisiert) wurde in einem Gewächshausexperiment (Gefäßexperiment) mit *Medicago sativa L.* und in einem 5-monatigen Bodeninkubationsversuch (ohne Versuchspflanze) verwendet und die Effekte auf das Pflanzenwachstum, die Wurzelsymbionten (AM-Pilze, Wurzelknöllchen) und die Boden-aggregation untersucht. Die HTC-Biokohle wurde zuvor mit destilliertem Wasser gewaschen und das resultierende Waschwasser als separate Behandlung genutzt, um einerseits die Effekte des HTC-Feststoffes und andererseits die Effekte des Waschwassers untersuchen zu können (siehe George et al. 2012).

### Ergebnisse und Diskussion

*Gewächshausexperiment (Gefäßversuch) mit Medicago sativa L.*

Im Gegensatz zu RS11/180-200 (Rübenschnitzel 11 h karbonisiert bei 180-200°C) (siehe Rillig et al. 2010) führte die Zugabe von BT12/220 zu einer Abnahme des Boden-pH-Wertes, welche nicht von mikrobiellen Prozessen abgemildert oder kompensiert wurde. Die Pflanzenbiomasse wurde nicht signifikant beeinflusst (eine negativer Effekt ist tendenziell ersichtlich), aber die Zugabe des Feststoffes (und Waschwassers) führte mit steigender Konzentration zur Bildung sog. Blattspitzennekrosen, welche häufig bei Nährstoffmangel auftreten, hier aber wahrscheinlich eine Reaktion auf nicht-wasserlösliche, phytopathogene chemische Verbindungen darstellen. Auch eine negative Beeinflussung der Wurzelinfektionsrate mit AM-Pilzen wurde beobachtet, wobei im Gegensatz dazu

aber eine positive Beeinflussung der Nodulation der Pflanzenwurzeln durch den HTC-Biokohle Feststoff eintrat.

### *Bodenaggregation*

Sowohl im Gewächshausexperiment, als auch in der 5-monatigen Bodeninkubation (ohne Pflanzen) wurde die Bodenaggregation durch die Zugabe des HTC-Biokohle-Feststoffes positiv beeinflusst. Dieser Effekt trat nicht bei der alleinigen Behandlung mit Waschwasser auf, wurde also durch den Feststoff vermittelt. Wie erwartet war die Bildung wasserstabiler Bodenaggregate in der Anwesenheit von Pflanzen höher. Bei der gleichzeitigen Zugabe von 10 % Waschwasser und 10 % Feststoff hatte das Waschwasser im Bodeninkubationsversuch einen abschwächenden Effekt auf die Bildung wasserstabiler Bodenaggregate, welcher in der Anwesenheit von Pflanzen nicht auftrat.

Die sehr variablen Ergebnisse der bodenbiologischen Untersuchungen der HTC-Biokohlen machen deutlich, dass weitere Anstrengungen unternommen werden müssen, damit diese Biokohlen den bodenbiologisch-ökologischen Anforderungen einer großflächigen Nutzung als Bodenverbesserer gewachsen sind. Die unterschiedlichen HTC-Biokohlen sind in ihren bodenbiologischen Effekten sehr variabel, wobei nicht nur das Ausgangsmaterial, sondern auch die Prozessierung der Materialien eine beachtliche Rolle spielen. Weitere Untersuchungen mit vorangehender detaillierterer stofflicher und chemische Charakterisierung der HTC-Biokohlen, insbesondere einer Identifizierung der sich schädlichen auswirkenden Komponenten, sind nötig.

### **Literatur**

- George, C., Wagner, M., Kücke, M., Rillig, M.C., 2012. Divergent consequences of hydrochar in the plant-soil system: Arbuscular mycorrhiza, nodulation, plant growth and soil aggregation effects. *Applied Soil Ecology* (in press).
- Rillig, M.C., Wagner, M., Salem, M., Antunes, P.M., George, C., Ramke, H.G., Titirici, M.M., Antonietti, M., 2010. Material derived from hydrothermal carbonization: effects on plant growth and arbuscular mycorrhiza. *Applied Soil Ecology* 45, 238-242.

## **Humusbilanzen – Konzepte, Anwendung und Perspektiven**

Christopher Brock<sup>1</sup>, Uwe Franko<sup>2</sup>, Hans-Rudolf Oberholzer<sup>3</sup>, Katrin Kuka<sup>2</sup>, Günter Leithold<sup>1</sup>, Hartmut Kolbe<sup>4</sup> und Jürgen Reinhold<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Justus-Liebig-Universität Giessen, Giessen; <sup>2</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Halle(Saale); <sup>3</sup>Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich (CH); <sup>4</sup>Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Leipzig; <sup>5</sup>Förderverein Humus e.V. FVH, Zossen. E-Mail: christopher.brock@agr.uni-giessen.de

### **Einleitung**

Humusbilanzen haben sich als Methoden zur Bewertung der Interaktionen zwischen Bewirtschaftung und organischer Bodensubstanz in Ackerbausystemen etabliert. Allerdings weist die kontrovers geführte und mitunter heftige Diskussion der Instrumente und ihrer Parametrisierungen auf den Bedarf einer systematischen Aufarbeitung der Methoden hin.

### **Material und Methoden**

Der vorliegende Beitrag präsentiert Ergebnisse, die im Rahmen von zwei Workshops der Unterarbeitsgruppe „Validierung“ in der VDLUFA-AG zur Humusbilanz erstellt wurden (Brock et al., eingereicht).

### **Ergebnisse und Diskussion**

Unter dem Begriff „Humusbilanz“ sind heute zumindest zwei methodische Konzepte zusammengefaßt, die jeweils eine unterschiedliche Zielsetzung und damit entsprechend auch einen unterschiedlichen Anwendungsbereich aufweisen:

„Agronomisch“ orientierte Methoden bewerten den Bedarf an organischer Primärschubstanz in Ackerbausystemen zur Erhaltung der Produktivität der Böden. Obgleich ein Erhalt der Humusvorräte und der Erhalt der Produktivität miteinander in Beziehung stehen, wird eine quantifizierbare Aussage zur Veränderung der Humusvorräte vermieden. Dieses Vorgehen ist methodisch konsequent, da Ansätze mit diesem Konzept grundsätzlich ohne Berücksichtigung spezifischer Bodendaten arbeiten und eine Quantifizierung des Umsatzes und/oder Vorrates organischer Substanz im Boden so ausgeschlossen ist. Statt dessen werden Fruchtarten nach Ihrem Bedarf an organischer Substanz a) zur Ausbildung eines optimalen Ertragsniveaus oder b) zum Ersatz des mit dem Erntegut abgeschöpften Stickstoffs aus der Mineralisierung organischer Substanz bewertet, und diese als „Humusbedarf“ bezeichnete Größe mit der als „Humusersatz“ bezeichneten Boden-C-Ersatzwirkung organischer Dünger (einschl. Stroh- und Gründüngung) verrechnet. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Begriffe „Humusbedarf“ und „Humusersatz“ an dieser Stelle nicht zielführend sind, da eine Veränderung der Humusvorräte nicht direkt bewertet wird, sondern nur indirekt, über die Bewertung bestimmter C- und (teilw.) N-Flüsse im Boden, mit der Bilanz in Verbindung steht. Dennoch hat sich dieser konzeptionelle Ansatz in Deutschland unter dem Begriff Humusbilanz etabliert und liegt u.a. der VDLUFA-Humusbilanzmethode zu Grunde. Auch die statische Humuseinheitenmethode nach Leithold et al. (1997), die dynamische Humuseinheitenmethode nach Hülsbergen (2003) –letztere findet heute im DLG-Zertifikat „Nachhaltige Landwirtschaft“ Anwendung-, sowie die in der

Schweiz angewendete Methode nach Neyroud (Oberholzer et al. 2006) gehören zu dieser Konzeptgruppe.

„Bodenökologisch“ orientierte Methoden hingegen weisen eine starke konzeptionelle Verbindung zur Veränderung der Humusvorräte im Boden ab, ohne explizit die Produktivität bzw. Auswirkungen auf die Produktivität der Böden zu bewerten. Es handelt sich so um, in der Regel mit Blick auf die Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis stark vereinfachende, Modelle zum Umsatz organischer Substanz im Boden. International wird der Begriff der Humusbilanzierung (bzw. die international gebräuchlichen Bezeichnungen, wie „soil organic matter balance“ oder „[soil] carbon balance“) zumeist mit Methoden dieses konzeptionellen Ansatzes assoziiert. Das entscheidende Kennzeichenentsprechender Methoden ist aber, daß grundsätzlich ein Bedarf an boden-bezogenen Daten besteht. Diese Daten liegen unter Praxisbedingungen allerdings i.d.R. nicht vor, so daß entweder eine entsprechende Datenerhebung notwendig ist, oder mit einem vergleichsweise großen Methodenfehler gerechnet werden muss. Dies stellt die Anwendbarkeit der Methoden als Praxisinstrumente nicht grundsätzlich in Frage, ist aber bei der Anwendung und Interpretation unbedingt zu berücksichtigen. Zu diesem Ansatz wäre eine Vielzahl von Methoden zu nennen, die aber z.T. nicht bis zur Praxisanwendbarkeit entwickelt wurden. Als aktuell für die Praxisanwendung verfügbare Methoden können aber z.B. das Model CCB (Candy Carbon Balance) nach Franko et al. (2011), AMG nach Saffih-Hdadi und Mary (2008), oder das Schwedische ICBM von Andrén und Kätterer (1997) aufgeführt werden.

Verschiedene Methoden verbinden aber auch die beiden konzeptionellen Ansätze. So wurde das Humusbilanzmodell HU-MOD, das an sich eine Weiterentwicklung der Methode von Hülsbergen (2003) darstellt und so der Familie der agronomischen Ansätze zuzurechnen ist, erfolgreich für die qualitative Erfassung von Bewirtschaftungsänderungen auf die Humusvorräte validiert. Weiterhin stellt die STAND-Methode von Kolbe (2010) eine Weiterentwicklung der VDLUFA-Methode mit dem Ziel der Ausweisung von Änderungen der Humusvorräte dar.

Abschließend soll festgehalten werden, daß sich Humusbilanzen als Instrumente für die Bewertung der Humusversorgung auf Ackerland unter Praxisbedingungen etabliert haben. Gleichzeitig entsteht durch eine unzureichende Wahrnehmung der unterschiedlichen konzeptionellen Ansätze einige Verwirrung bei der Anwendung, Interpretation und Diskussion der erzielten Ergebnisse. Eine genaue Benennung des validierten Anwendungsbereiches der einzelnen Methoden ist dringend erforderlich. Für den notwendigen Vergleich der Methoden und die Einordnung der jeweils erzielten Ergebnisse wird in der eingangs genannten Arbeitsgruppe aktuell eine komparative Evaluierung verschiedener Methoden aus beiden Konzepten auf Grundlage einer einheitlichen Datenbasis erarbeitet.

### **Literatur**

Brock, C.; Franko, U.; Oberholzer, H.-R.; Kuka, K.; Leithold, G.; Kolbe, H.; Reinhold, J. (eingereicht): Soil organic matter balancing – concepts, state of the art, and further challenges. J. Plant Nutr. Soil Sci.

-weitere Literatur beim Autor, sowie sämtlich in Brock et al. (eingereicht) zitiert-



## Muster der organischen Bodensubstanz (OBS) auf Ackerflächen – zur Regionalisierung von Menge und Qualität

Wilfried Hierold<sup>1</sup>, Ruth H. Ellerbrock<sup>1</sup> und Susanne Stang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ZALF, Bodenlandschaftsforschung, Müncheberg; <sup>2</sup>Universität Potsdam. E-Mail: whierold@zalf.de

### Einleitung

Die OBS ist ein wichtiger Faktor der Bodenfruchtbarkeit. In der Praxis (LVLF 2009) werden Gehalte der Oberböden (Ap-Horizont) aus Mischproben bewertet. Mengen dagegen werden dort, anders als in der Klimadiskussion, nicht berücksichtigt, weder für Ap noch ganze Profile. Aber auch im Unterboden trägt OBS Bodenfunktionen. Auch die Qualität von OBS spielt bisher in der Bewertung von Böden kaum eine Rolle. Darüber hinaus ist in heterogenen Bodenlandschaften (hier Jungmoräne der Uckermark) geogen und prozessbedingt zu erwarten, dass Bodenkenngrößen räumlich deutlich variieren. Wie sind Muster und Wertespansen erklärt? Wie kann man sie im Feldmaßstab regionalisieren, damit der Landwirt darauf reagieren kann?

### Material und Methoden

Eine Ackerfläche (6ha) ndl. Prenzlau (lehmige Böden der Grundmoräne W2) - jetzt Landschaftsexperiment CarboZALF - wurden 2010 mit 80 Rammkernen ( $t_{\max}=20\text{dm}$ ) bodenkundlich untersucht. Die stratifizierte Beprobung erfolgte nach Auswertung hoch aufgelöster Sensordaten (TPI,  $ECA_v$ , LAI). Neben Parabraunerden (LL) treten Pararendzinen (RZ) und Kolluvisole (YK) auf.

390 Horizontproben, ca. 5 je Profil, wurden u. a. auf  $C_{\text{org}}$  ( $C_T-C_{CO_3}$ ) analysiert (DIN ISO 694 bzw. nach SCHEIBLER). Die Gehalte sind Feuchte und Skelett korrigiert. Mengen wurden mit Horizontwerten für Trockenrohichte und Mächtigkeit berechnet. Für Ap-Proben wurden an zwei Fraktionen (Bo, PY) Fourier Transform Infrarot (FTIR) -Spektren gemessen. Die Relation zweier Bande (A/B-Verhältnis) gibt Hinweise auf die Benetzbarkeit, ein Qualitätskriterium von OBS (Ellerbrock et al. 2009).

### Ergebnisse und Diskussion

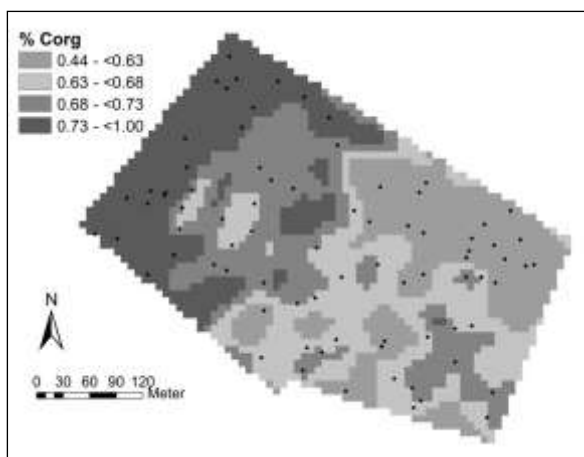
**Tab.1:** Kennwerte der organischen Substanz ( $C_{\text{org}}$ ) von Böden unterschiedlicher Erosionsüberprägung aus Moränenlehm (Uckermark)

(\*e2 stark erodiert, e1 mäßig erodiert, n ohne Überprägung, k1 mäßig kolluiert, k2 stark kolluiert; \*\*Bodentypen: RZ Pararendzina, eLL erodierte Parabraunerde, LLn Norm-Parabraunerde, YK Kolluvisol; n Anzahl Profile, MW Mittelwert, Var. Varianz)

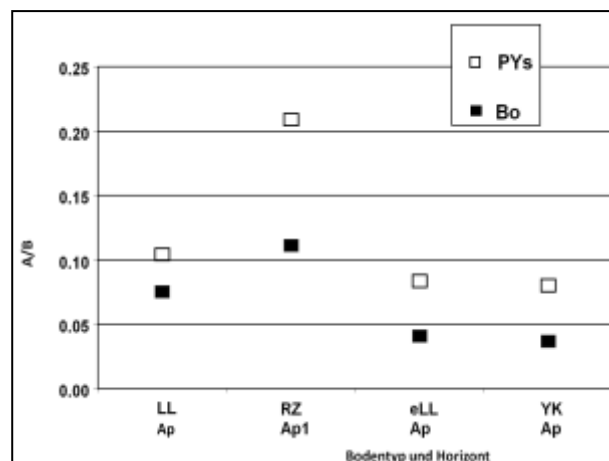
Profilgruppe*		e2	e1	n	k1	k2
Leitprofil**		RZ	eLL	LLn	YK <7dm	YK >7dm
n		20	25	14	9	12
$C_{\text{org}}$ im Ap (%)	MW	<b>0,69</b>	<b>0,78</b>	<b>0,68</b>	<b>0,92</b>	<b>0,94</b>
	Var	0,02	0,01	0,01	0,04	0,07
$C_{\text{org}}$ im Ap ( $\text{kgm}^{-2}$ )	MW	<b>3,23</b>	<b>3,78</b>	<b>3,38</b>	<b>4,48</b>	<b>4,68</b>
	Var	0,89	0,41	0,33	1,15	1,72
$C_{\text{org}}$ bis 15dm ( $\text{kgm}^{-2}$ )	MW	<b>4,48</b>	<b>6,56</b>	<b>7,41</b>	<b>11,64</b>	<b>18,34</b>
	Var	2,64	0,80	3,02	7,47	82,93

Die Böden der (nur) flachwelligen Grundmoräne sind zu über 80% durch Erosion verändert: 25% sehr stark durch Abtrag des gesamten Solum (Tab1; e2: RZ), 15% durch mächtige Überdeckung von umgelagertem Oberboden (k2: YK>7dm). Weitere 40% sind deutlich verändert (e1, k1). Diese (Erosions-)Typen unterscheiden sich in Gehalt und Menge der OBS bei vorhandener Wertestreuung (Tab.1). Die  $C_{org}$ -Gehalte der Ap (n 80) variieren von 0,43 bis 1,46%. RZ und LLn zeigen ähnliche, YK um <30% erhöhte Gehalte. Diese sind nicht nur durch Erosion, sondern auch durch Feuchte und Tongehalte bedingt und standörtlich erklärbar. Gleiche Relationen zeigen die  $C_{org}$ -Mengen der Oberböden, während sich im Profil (15dm) alle Gruppen sehr deutlich und erosionsabhängig unterscheiden (Tab.1). Wenn man LLn als Normboden der Landschaft annimmt, haben im Mittel RZ um 40% reduzierte und mächtige YK um 2,5fach erhöhte Humusmengen!

Die standörtliche Differenzierung der OBS lässt sich im Feld- wie Landschaftsmaßstab regionalisieren (Abb.1). Hier ist das Muster der Ap-Gehalte in 4 Gruppen (je 25% Fläche) dargestellt; modelliert über den Pflanzenbestand (Blattflächenindex LAI von Winterweizen im Frühsommer). Wenn die Legende der Düngungsverordnung angepasst wird, kann der Landwirt teilflächenspezifische Entscheidungen treffen.



**Abb. 1:** Muster des  $C_{org}$  im Oberboden (%) einer 6ha- Ackerfläche (Schätzwerte aus 80 Bohrpunkten und dem Blattflächenindex LAI, Lineares Modell:  $C_{org} = 0,14 + 0,27 \cdot LAI$ )



**Abb. 2:** A/B-Verhältnisse der OBS (Fraktionen) verschiedener Bodentypen (Ap-Horizonte; Bo: Gesamt-OBS, PY: Na-pyrophosphatlösliche Fraktion; LL, RZ ...siehe Tab.1)

Abb.2 zeigt, dass sich vor allem RZ im A/B-Verhältnis gegenüber eLL und YK unterscheidet. Die Relationen innerhalb der Fraktionen Bo wie PY sind dabei gleich. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die OBS von RZ eine schlechtere Benetzbarkeit hat. PY zeigt überdies, dass diese langfristig wirksam sein dürfte.

## Literatur

- Ellerbrock et al. 2009. In situ DRIFT characterization of organic matter composition on soil structural surfaces. - *Soil Science Society of America Journal* **73** 531-540 [Erratum: *SSSAJ* 2009.73(4):1439].
- Kaiser M., Ellerbrock R.H., Wulf M., Dultz S., Hierath C., Sommer M. 2012. The influence of mineral characteristics on organic matter content, composition, and stability of topsoils under long-term arable and forest land use. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences* 117.
- LVL Brandenburg (Hrsg. 2009): Hinweise zur Probenahme von Boden, Pflanzen und Düngemitteln.

## Ökologische Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung – Effekte auf Erträge, N-Bilanzen und Bodenfruchtbarkeitsparameter

Franz Schulz<sup>1</sup>, Günter Leithold<sup>2</sup> und Christopher Brock<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof, Villmar; <sup>2</sup>Professur für Organischen Landbau, Gießen  
E-Mail: Franz.Schulz@agrar.uni-giessen.de

### Einleitung

Im Zuge von Konzentration und Spezialisierung der Produktion entstehen immer mehr viehlos wirtschaftende Biobetriebe, obwohl das Idealbild des Organischen Landbaus ein Gemischtbetrieb mit Rinderhaltung ist. Um die Langzeitwirkungen einer viehlosen ökologischen Wirtschaftsweise im Vergleich zu einer Produktion mit Rinderhaltung und Stallmistanwendung zu untersuchen, wurde im Jahr 1998 ein 2-faktorieller Feldversuch mit 3 Betriebs- und 4 Bodenbearbeitungssystemen auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof der Universität Gießen angelegt. In diesem Beitrag sollen besonders die Effekte der 3 Betriebssysteme auf den Humushaushalt, die N-Bilanzen und die Fruchtfolgeleistungen aufgezeigt werden.

### Material und Methoden

Der Versuchsstandort befindet sich in Villmar an der Lahn zwischen Limburg und Weilburg auf 170 m ü. NN (mittlere Lufttemperatur: 9,5 °C, durchschnittlicher Niederschlag p. a. 649 mm, Bodentyp: Pararendzina bis erodierte Parabraunerde, Bodenart: schluffiger Lehm bis lehmiger Schluff, Ackerzahl: 66). Die jeweils sechsfeldrigen Fruchtfolgen der 3 Betriebssysteme wurden wie folgt gewählt:

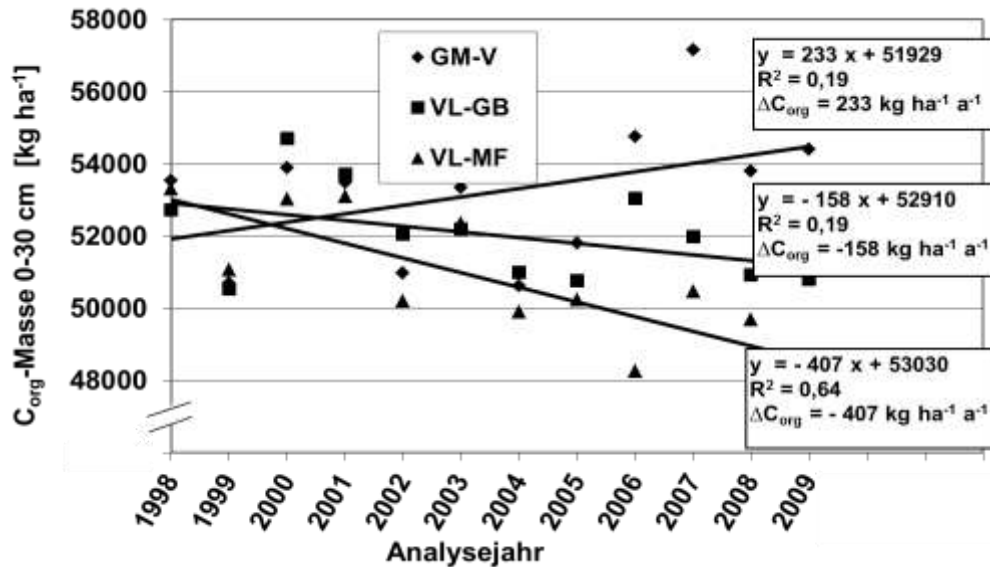
- a) GM-V (Gemischtbetrieb mit Viehhaltung): 1. Luzernekleegas, 2. Luzernekleegras, 3. Winterweizen I, 4. Kartoffeln, 5. Winterweizen II, 6. Winterroggen
- b) VL-GB (Viehloser Betrieb mit Grünbrache): 1. Hafer, 2. Grünbrache, 3. Winterweizen, 4. Kartoffeln, 5. Ackerbohnen, 6. Winterroggen
- c) VL-MF (Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte): 1. Hafer, 2. Erbsen, 3. Winterweizen, 4. Kartoffeln, 5. Ackerbohnen, 6. Winterroggen

Im System Gemischtbetrieb wurden im Durchschnitt 100 dt ha<sup>-1</sup> Rottemist pro Jahr gedüngt, in beiden viehlosen Systemen verblieben sämtliche Koppelprodukte auf den Flächen. Jährlich wurden die folgenden Parameter erfasst: N<sub>min</sub>-Gehalte in verschiedenen Bodenschichten im Herbst und im Frühjahr, Gehalte an verfügbaren Nährstoffen, C<sub>f</sub>- und N<sub>f</sub>-Gehalte, Pflanzenerträge und -inhaltsstoffe. Einzelheiten zur Methodik sind an anderer Stelle ausführlich beschrieben (Schulz, 2012).

### Ergebnisse und Diskussion

Die Regressionslinien in Abb. 1 veranschaulichen die Veränderungen im Humushaushalt, ausgedrückt in C<sub>org</sub>-Massen, der 3 Betriebstypen. Während im System Gemischtbetrieb eine Akkumulation an organischem Kohlenstoff (+ 233 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) stattfand, wurde in beiden viehlosen Systemen ein deutlicher (- 158 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) bzw. dramatischer (- 407 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) Abbau festgestellt. Ähnliche Ergebnisse lieferten die Untersuchungen zum Gesamt-Stickstoff (N<sub>t</sub>) im Boden (nicht dargestellt). Die beschriebenen Resultate anhand der Zeitreihen wurden durch die Statusanalysen im Jahr 2009 bestätigt. Im viehlosen System nur Marktfrüchte kam es somit gegenüber dem Ausgangswert 1998 zu einem Verlust an C<sub>org</sub> von 8 % oder zu einem jährlichen

Humusschwund von  $0,7 \text{ t ha}^{-1}$ . Zahlreiche Autoren beschreiben den positive Einfluss von legumem Feldfutterbau und Mistdüngung auf den Humushaushalt (z. B. Drinkwater et al., 1998). Im Feldversuch Gladbacherhof ging der höhere Humusgehalt im System mit Viehhaltung aber auch mit günstigeren bodenphysikalischen Eigenschaften einher. So traten niedrigere Werte bei Erhebungen der Trockenrohdichte und bei Messungen des Eindringwiderstands mit einem Penetrologger auf.



GM-V = Gemischtbetrieb mit Viehhaltung (obere Linie)

VL-GB = Viehloser Betrieb mit Grünbrache (mittlere Linie)

VL-MF = Viehloser Betrieb nur Marktfrüchte (untere Linie)

**Abb. 1:** Masse an organisch gebundenem Kohlenstoff ( $C_{\text{org}}$ ) in 0-30 cm Bodentiefe im Verlauf von 11 Versuchsjahren in Abhängigkeit von den Betriebssystemen

Berechnungen der durchschnittlichen jährlichen N-Salden führten zu steigenden Werten in der Reihenfolge GM-V ( $41 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) → VL-GB ( $66 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) → VL-MF ( $79 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Das N-Verlustpotential steigt also in der erwähnten Reihenfolge. Gleichzeitig sinkt die N-Systemverwertungsrate von 82 % (GM-V) über 72 % (VL-GB) zu 64 % (VL-MF). Derjenige Anteil des eingesetzten Stickstoffs, der ertragswirksam umgesetzt wurde, wurde also immer geringer.

Dies spiegelte sich auch in den Fruchtfolgeleistungen über die gesamte 2. Rotation von 2004 bis 2009 wider. Der Minderertrag des reinen Marktfruchtsystems gegenüber dem System Gemischtbetrieb bei verschiedenen Parametern war signifikant und deutlich: gesamte oberirdische Phytomasse (- 26 %), nichtlegumer Marktfruchtertrag (- 17 %), Summe der geernteten Hauptprodukte (- 37 %).

Um viehlosen Ökolandbau nachhaltig zu gestalten, sollte die Fruchtfolge unbedingt eine Grünbrache enthalten. Anzuraten wären auch Futter-Düng-Kooperationen mit viehhaltenden Betrieben, der Betrieb einer Biogasanlage, der Einsatz von Kompost.

## Literatur

Drinkwater, L. E.; P. Wagoner und M. Sarrantonio 1998: Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. In: Nature. 396, S. 262-265.

Schulz, F. 2012: Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung. Dissertation Universität Gießen

## **Indikatoren zur Regenwurmdiversität auf Ebene landwirtschaftlicher Betriebe - Entwicklung und Erprobung neuer Methoden am Beispiel Bayerischer Gemischtbetriebe**

Sebastian Wolfrum<sup>1</sup>, Norman Siebrecht<sup>1</sup>, Susanne Papaja-Hülsbergen<sup>1</sup>, Gisela Lüscher<sup>2</sup>, Michaela Arndorfer<sup>3</sup>, Philippe Jeanneret<sup>2</sup>, Maurizio Paoletti<sup>4</sup>, Maximilian Kainz<sup>1</sup>, Kurt-Jürgen Hülsbergen<sup>1</sup> und Felix Herzog<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TUM, Freising; <sup>2</sup>ART, Zürich; <sup>3</sup>BOKU, Wien; <sup>4</sup>UP, Padova. E-Mail: sebastian.wolfrum@tum.de

### **Einleitung**

Die landwirtschaftliche Produktion steht in engem Zusammenhang mit der Biodiversität. Auf der einen Seite beeinflusst die Landwirtschaft durch die Bewirtschaftungsmaßnahmen die Biodiversität, auf der anderen Seite profitiert sie aber auch von wichtigen „Dienstleistungen“ die diese erbringt. Kenntnisse zur Ausprägung und zum Umfang von Biodiversität auf der Ebene des betrieblichen Anbausystems sowie zu den Wirkungen der Bewirtschaftung auf diese sind sowohl für den Naturschutz, als auch für die Erhaltung der produktionsrelevanten Funktionen (z. B. Bestäubungs- oder Regulationsleistung) von größter Bedeutung. Die Messung von Biodiversität ist jedoch komplex und aufwendig, weshalb für die praktische Anwendung Indikatoren verwendet werden. Speziell für die Ebene des Betriebes, auf der viele biodiversitätsrelevanten Entscheidungen getroffen werden, fehlen bis jetzt wissenschaftlich fundierte und einfach anzuwendende Indikatoren.

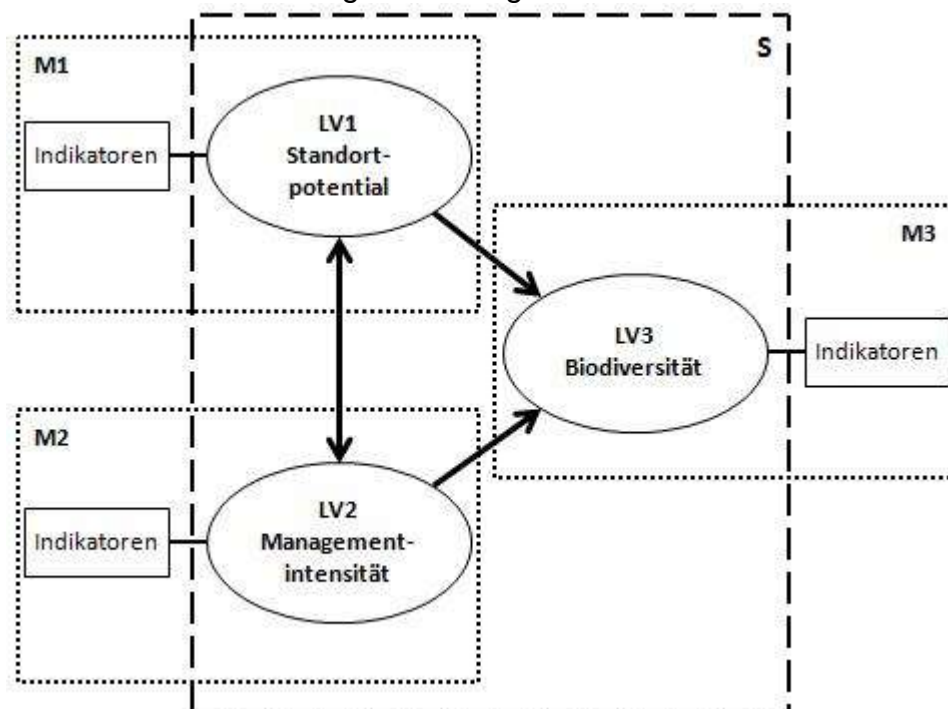
Das EU-Projekt BioBio ([www.biobio-indicator.org](http://www.biobio-indicator.org)) hatte zum Ziel diese Lücke zu schließen. Ein Arbeitsschwerpunkt lag dabei auf der Artengruppe Regenwürmer, die gerade im Hinblick auf Produktionsaspekte und Bodenfruchtbarkeit den Landwirten wichtige Informationen liefern können. Im Beitrag werden die Ergebnisse der Regenwurmerfassung in der Deutsche Fallstudie und die daraus abgeleiteten Zusammenhänge von Individuenzahl, Biomasse und Artenzusammensetzung mit Habitat-, Boden- und Klimadaten sowie relevanten Bewirtschaftungsparametern erläutert und diskutiert. Weiter werden Modelle zur Ableitung geeigneter Indikatoren und zur Beurteilung deren Aussagekraft vorgestellt.

### **Material und Methoden**

Untersucht wurden 8 ökologische und 8 konventionelle, zufällig ausgewählte Gemischtbetriebe im Bayerischen Tertiärhügelland. Zunächst wurde auf den Betrieben eine Habitatkartierung nach Bunce et al. 2011 durchgeführt. Anschliessend wurde für alle Betriebe jeweils auf jedem landwirtschaftlich genutzten oder beeinflussten Habitat eine Probefläche eingerichtet. Auf insgesamt 129 Probeflächen wurden Regenwürmer mit einer kombinierten Methode (Austreibung mit AITC Lösung und Handauslese) nach Dennis et al. 2012 erfasst. Weiter wurden Landschaftsparameter (CLC 2006), Witterungsdaten, Bodenart und -profil sowie pH, C<sub>org</sub>, N<sub>t</sub>, K<sub>cal</sub> und P<sub>cal</sub> ermittelt. Für die grundlegenden statistischen Auswertungen wurde die Software R 2.14.2 ([www.R-project.org](http://www.R-project.org)) verwendet. Zur Modellierung kausaler Zusammenhänge und für die Entwicklung und Evaluation komplexer Indikatoren wurden varianzanalytische Strukturmodelle (Abb. 1) nach Trinchera 2005 entwickelt. Die Berechnung und Analyse dieser Partial Least Squares (PLS) Pfadmodelle erfolgte mit der Software SmartPLS ([www.smartpls.de](http://www.smartpls.de)).

## Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt wurden 9106 Regenwürmer gefangen und 11 Arten nachgewiesen. Juvenile stellen 70 % der Individuen und 42 % der Biomasse. Die Ergebnisse der statistischen Auswertungen zeigen die komplexen Zusammenhänge zwischen der Diversität der Regenwurmpopulationen, der Habitatqualität und der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Einfache Korrelations- und Regressionsanalysen können diese vernetzten Ursache-Wirkungsbeziehungen nur unzureichend abbilden.



**Abb. 1:** Grundstruktur für die verwendeten PLS Pfadmodelle mit latenten Variablen (LV), Messmodellen (M) und Strukturmodell (S) sowie Indikatoren und kausalen Pfaden (Pfeile).

Die PLS Pfadmodellierung stellt dagegen eine flexible Lösung zur Entwicklung und Evaluation komplexer Indikatoren, wie sie z. B. für die Erfassung und Bewertung der Diversität der Regenwürmer nötig sind, dar. Die PLS Pfadmodelle stellen zum einen Kriterien zur Evaluation von Reliabilität und Validität der Indikatoren und zum anderen konkrete, bewertbare Zahlenwerte für die latenten Variablen zur Verfügung. Es zeigt sich aber, dass durch die Kombination von Flächen mit Ackerbau und Grünlandnutzung auf den Betrieben die Heterogenität der Daten erhöht und damit deren Interpretation erschwert wird. Für die Auswertung der europaweiten BioBio Daten kann diese Heterogenität allerdings in die PLS Pfadmodelle integriert werden.

## Literatur

- Bunce, R. G. H.; Roche P.; Bogers M. M. B.; Walczak M. DeBlust G.; Geijzendorffer I. R.; VandenBorre J. 2010: Handbook for Surveillance and Monitoring of Habitats, Vegetation and Selected Species. Alterra Report, 2154. Wageningen.
- 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.
- Trincherà, Laura; Russolillo, Giorgio 2010: On the use of Structural Equation Models and PLS Path Modeling to build composite indicators DiSSE Working Papers, 2010/30. Macerata.

## **Modifizierende Effekte von Anbausystemen im Erosionsprozess und deren Berücksichtigung in der Erosionsmodellierung**

Norman Siebrecht<sup>1</sup>, Max Kainz<sup>1</sup>, Hans Jürgen Reents<sup>1</sup>, Kurt-Jürgen Hülsbergen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan. E-Mail: norman.siebrecht@tum.de

### **Einleitung**

Landwirtschaftliche Anbausysteme beeinflussen auf vielfältige Weise den Boden und dessen Eigenschaften. In Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass die Gehalte organischer Bodensubstanz, die Bodenstruktur und das Bodenleben modifiziert werden können. Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass auch die Bodenerosion beeinflusst wird (z.B. Siegrist et al. 1998). Besondere Bedeutung muss diesem Aspekt bei der Abschätzung der Wassererosion mit Hilfe von Modellen gewidmet werden. Während Bodenabträge unter „Standard-Anbaubedingungen“ bereits gut mit Modellen berechnet werden können, zeigen Vergleiche von modellierten und gemessenen Bodenabträge alternativ bewirtschafteter Flächen deutliche Abweichungen (Kainz 2007). Dies lässt den Schluss zu, dass modifizierende Effekte von Anbausystemen in der Erosionsmodellierung bisher unzureichend berücksichtigt sind. Daraus ergibt sich die Frage, welche Einflussgrößen und die Wirkungsmechanismen hierfür verantwortlich sind und wie sich diese künftig integrieren lassen, um die Möglichkeiten zur Erosionsabschätzung zu verbessern.

### **Material und Methoden**

Im Rahmen eines durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) geförderten Projektes (FKZ 06OE256) wurde der aktuellen Wissensstand zu den modifizierenden Wirkungsmechanismen erarbeitet, die Bedeutung für die Erosionsabschätzung aufgezeigt und die resultierenden Forschungsfragen formuliert. Als Schwierigkeit hat sich herausgestellt, dass die Wirkungen nicht auf einzelne Ursachen, sondern auf Wirkungskomplexe zurückzuführen sind: Durch das Anbausystem, die Fruchtarten und deren Bestandsentwicklung, die Düngung und das Unkrautmanagement wird die Bodenerosion direkt und/oder indirekt beeinflusst. Hierbei sind verschiedene Wirkungswege zu unterscheiden: Ausgehend von den angebauten Kulturen und der Bodenbedeckung erfolgt ein mehr oder weniger stark ausgeprägter Schutz des Oberbodens vor dem erosiven Einfluss. Die Integration dieser Schutzwirkungen ist in der Erosionsmodellierung realisiert und mit Standardannahmen (z.B. zur Pflanzenentwicklung und der Bodenbedeckung) hinterlegt. Fehleinschätzungen können aber dann eintreten, wenn abweichende Bedeckungsverläufe bestehen (vgl. Kainz 2007). Über die Bodenbedeckung hinaus verläuft der Einfluss der Kulturen auch über den Boden und der Beeinflussung dessen Eigenschaften. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Aggregatstabilität, als Maß für die Widerstandsfähigkeit, und die Infiltrationskapazität zu nennen. Beide Merkmale werden meist als mehr oder weniger konstante Größen angesehen, zumindest über die Dauer einer Fruchtfolge, die hauptsächlich von Bodenmerkmalen wie z.B. der Textur, dem C-Gehalt usw. abhängig sind. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass beide Größen durch das Anbausystem modifiziert werden, so dass Fehleinschätzungen im Rahmen der Erosionsmodellierung

entstehen können. Im Folgenden einige Beispiele: Nach dem Anbau Gras-, Klee- oder Klee grasbestandes kann in den nachfolgenden Jahren häufig eine Reduktion von Bodenabträgen festgestellt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass hohe Mengen an hochwertigen, N-reichen Wurzelrückständen und Bestandesabfällen entstehen, die zu einer erhöhten mikrobiologischen Aktivität und letztlich einer besseren Aggregierung der Böden führen. Seitens des Düngungsregimes kann aus der Verwendung von Stallmist oder anderen Wirtschaftsdüngern eine Erhöhung der Aggregatstabilität und des Infiltrationsvermögens von Böden resultieren. In diesem Zusammenhang konnte gezeigt werden, dass ein enger Zusammenhang zwischen der Zufuhr bodenwirksamer C-Mengen und der Aggregatstabilität besteht (Müller et al. 2009). Aber auch die mineralische Düngung kann u.U. modifizierend wirken. Die Zufuhr von Düngesalzen, Kalkung führt dazu, dass die Belegung der Austauschplätze in den Böden mit einwertigen K- und Na-Ionen höher ist, die dispergierend auf die Aggregate wirken (Auerswald et al. 1996)

### **Ausblick und Diskussion**

Bezogen auf die Erosionsmodellierung mit der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung müssen die Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Effekte differenziert betrachtet werden (Siebrecht et al. 2009): Aspekte wie der Einfluss der organischen Bodensubstanz durch die aggregatstabilisierende Wirkungen oder der Einfluss abweichender Bedeckungsverläufen sind prinzipiell abbildbar. Komplexere Wirkungen, wie z. B. die Wechselwirkungen zwischen Kulturpflanzenbedeckung, Bodenbearbeitungsverfahren usw., sind derzeit nicht zu integrieren. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass noch zahlreiche Wissenslücken bestehen, die in künftige Forschungstätigkeiten bearbeitet werden sollten. Beispielsweise sollte untersucht werden, welchen Einfluss verschiedene Aggregierungsmechanismen in Abhängigkeit von Ausgangsmaterial (Bodenart), der Bewirtschaftung und dem Standort haben, welchen Einfluss applizierter organischer Substanzen auf die Bodenstruktur haben oder welche Effekte unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren, Geräte und Intensitäten auf die Bodenstruktur, die Aggregatstabilität und die Veränderung unterschiedlicher Boden-C-Pools haben.

### **Literatur**

- Auerswald, K.; Kainz, M.; Angermüller, S.; Steindl, H. (1996): Influence of exchangeable potassium on soil erodibility. In: *Soil Use and Management* 12, S. 117–121.
- Kainz, Maximilian (2007): Ist die Allgemeine Bodenabtragsgleichung geeignet, den Bodenabtrag in ökologischen Landbausystemen zu beschreiben? In: *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft* (Hg.): *KTBL-Fachgespräch*, Bd. 458, S. 13–23.
- Kainz, M.; Siebrecht, N.; Reents, H.-J. (2009): Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf Bodenerosion. Band 1: Boden, Pflanzenbau, Agrartechnik, Umwelt- und Naturschutz, *Biolandbau international, Wissensmanagement*. In: J. Mayer, T. et al. (Hg.): *Werte - Wege - Wirkungen: Bioland im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel*. Berlin: Köster, S. 53–56.
- Müller, C.; Siebrecht, N.; Reents, H.-J.; Brandhuber R.; Kainz, M. (2009): Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf Bodenerosion - Beitrag 2\_ Einfluss des Leguminosenmanagements auf Merkmale der Bodenerodibilität. Band 1: Boden, Pflanzenbau, Agrartechnik, Umwelt- und Naturschutz, *Biolandbau international, Wissensmanagement*. In: J. Mayer et al. ebd.
- Siegrist, S.; Schaub, D.; Pfiffner, L.; Mäder, P. (1998): Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of long-term field study on loess in Switzerland. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69 (3), S. 253–264.
- Siebrecht, N.; Kainz, M. (2009): Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf Bodenerosion - Beitrag 3: Eignung bestehender Methoden, Defizit und Anpassungsbedarf. Band 1: Boden, Pflanzenbau, Agrartechnik, Umwelt- und Naturschutz, *Biolandbau international, Wissensmanagement*. In: J. Mayer et al.; ebd.



## Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor und Schwermetallen aus pyrolysierten Klärschlämmen

Thomas Appel<sup>1</sup>, Johanna Seelig<sup>1</sup> und Walinee Phukdeecheon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachhochschule Bingen, Bingen am Rhein. E-Mail: appel@fh-bingen.de

### Einleitung

Die Pyrolyse von organischem Material mit dem Pyreg-Reaktor ergibt ein kohlenstoffhaltiges, streufähiges Material. Die Verwertung von Siedlungsabfällen durch eine Pyrolyse bietet dabei eine ökonomisch besonders vorteilhafte Perspektive, die auch ökologisch sinnvoll wäre, wenn die Nährstoffe im Pyrolysat, insbesondere der Phosphor, pflanzenverfügbar wären. Um die Wirkung der Pyrolyse zu überprüfen, wurde im Jahr 2011 im Gewächshaus der FH Bingen ein Versuch mit Winterroggen in Mitscherlich-Gefäßen durchgeführt.

### Material und Methoden

Zwei unterschiedlich stabilisierte Klärschlämme mit und ohne Pyrolyse wurden dafür in einen phosphorarmen Boden eingemischt. Der eine Klärschlamm stammte aus einer italienischen Kläranlage. Phosphat wurde bei diesem Klärschlamm mit „Südflock®-K2“ (Flockungsmittel auf Basis von Aluminium- und Eisen-(III)-Chlorid) gefällt. Der andere Klärschlamm stammte von der Kläranlage Ingelheim. Phosphor wurde hier mit Eisen-(II)-Chlorid-Sulfat gefällt. Von beiden Klärschlämmen standen jeweils das entwässerte und mit Kalk stabilisierte Ausgangsmaterial sowie die Pyrolysate (FLOX®-Verfahren im Pyreg-Reaktor, 750 °C, Durchlaufzeit 30 min) zur Verfügung. Zum Vergleich wurden außerdem Gefäße mit Boden (Unterboden, lehmiger Sand, pH 5,75) ohne Klärschlamm mit und ohne wasserlöslichen P-Dünger und sowie unterschiedlicher Kalk-Kompensation angesetzt, insgesamt 10 Varianten mit 5 oder 6 Parallelen (Tab. 1). Alle Varianten wurden außerdem mit Kalium, Magnesium, Molybdän, Mangan, Bor und ausreichend Stickstoff gedüngt. Um die Basizität der Klärschlämme und Pyrolysate zu kompensieren wurden 10 mg CaO (Kompensation für Italien) bzw. 22,6 mg CaO (Kompensation für Ingelheim) je 100 g Boden-Trockenmasse bei den jeweiligen Kontrollen verwendet.

Tabelle 1. In den Boden eingemischte Mengen an Dünger, Pyrolysat und Klärschlamm, Angaben je 100 g Boden, bezogen auf die jeweilige Trockensubstanz des Materials

Varianten		Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> mg P	CaO mg CaO	Pyrolysat mg	Klärschlamm mg
1	Pyrolysat Ingelheim	ohne	ohne	800	ohne
2	Pyrolysat Italien	ohne	ohne	800	ohne
3	Klärschlamm Ingelheim	ohne	ohne	ohne	800
4	Klärschlamm Italien	ohne	ohne	ohne	800
5	Kontrolle ohne P und mit 10 mg Kalk	ohne	10	ohne	ohne
6	Kontrolle mit 3 mg P und 10 mg Kalk	3	10	ohne	ohne
7	Kontrolle mit 6 mg P und 10 mg Kalk	6	10	ohne	ohne
8	Kontrolle ohne P und mit 23 mg Kalk	ohne	22,6	ohne	ohne
9	Kontrolle mit 3 mg P und 23 mg Kalk	3	22,6	ohne	ohne
10	Kontrolle mit 6 mg P und 23 mg Kalk	6	22,6	ohne	ohne

Nach dem Einmischen der Klärschlämme bzw. der Dünger und des Kalks in den Versuchsboden wurden die Böden in die Gefäße gegeben, dort auf 50 % der maximalen Wasserhaltekapazität befeuchtet und dann zwei Wochen lang im Gewächshaus aufbewahrt (Inkubationszeit). Nach der Inkubationszeit wurden Proben entnommen und Winterroggen ausgesät. In den Bodenproben wurde laktatlösliches Phosphor (CAL-Methode) und der pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ) bestimmt. Der Aufwuchs des Getreides wurde nach 8 Wochen geerntet und die Pflanzennährstoffe und die Schwermetalle im Aufwuchs analysiert.

## Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 1: Apparente Wiederfindung (%) des jeweils applizierten Phosphors (= 100 %) im Roggenaufwuchs

Variante	Substrate aus Ingelheim	Substrate aus Italien
3 mg P + Kalkkompensation	3,6	1,7
6 mg P + Kalkkompensation	4,4	4,2
Pyrolysat	0,4	0,4
Klärschlamm	1,0	0,5

Die apparente Wiederfindung des mit den Klärschlämmen und ihren Pyrolysaten applizierten Phosphors war gering (Tab. 1). Nimmt man die apparente Wiederfindung im Aufwuchs als Maßstab, so verminderte das Pyrolysieren die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors im Klärschlamm aus Ingelheim um den Faktor 2,5 und in dem aus Italien um den Faktor 1,25.

Wird dagegen die P-Konzentration im Roggenaufwuchs als Indikator für die P-Verfügbarkeit verwendet, so wirkte die Pyrolyse bei den beiden Klärschlämmen unterschiedlich. Beim Ingelheimer Substrat erhöhte das Pyrolysieren, beim dem Substrat aus Italien verminderte das Pyrolysieren dagegen die Verfügbarkeit des Phosphors (Abb. 1).

Auf die Aufnahme und die Konzentration der Schwermetalle im Roggenaufwuchs hatten weder die Schlämme noch ihre Pyrolysate einen erkennbaren Einfluss.

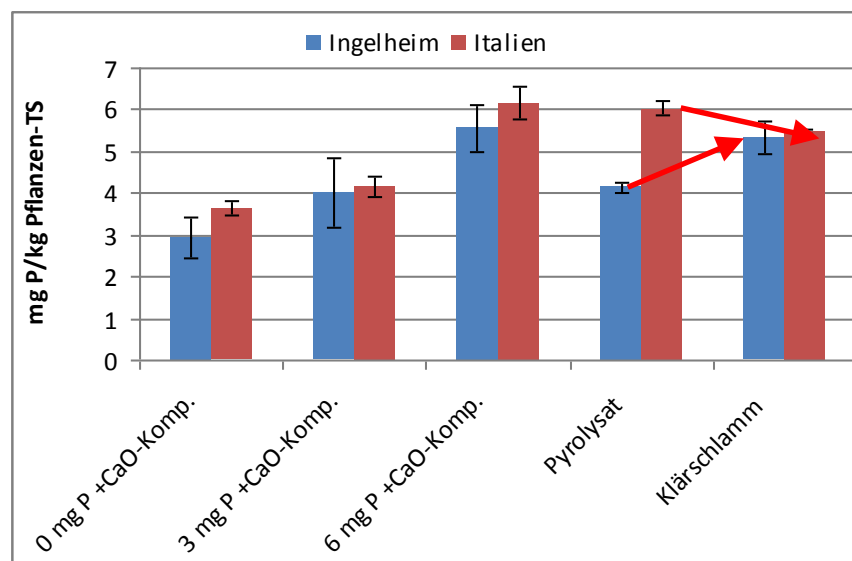


Abb. 1: Phosphor-Konzentration in der Trockenmasse (TS) des Roggen-Aufwuchses; die Fehlerbalken kennzeichnen den Standardfehler

## **Einfluss von N-Menge und Düngerverfahren (oberflächlich vs. Flüssigdüngerinjektion) auf die N-Konzentrationen im Sickerwasser – Ergebnisse 4jähriger Freilandmessungen**

Gesa Kamrath und Martin Kücke

Julius Kühn-Institut Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig. E-Mail: martin.kuecke@jki.bund.de

### **Einleitung**

Bei der  $\text{NH}_4$ -Injektionsdüngung (Sommer 2000) werden N-Lösungen mit überwiegend  $\text{NH}_4$  als dominierender N-Form ca. 8 cm tief in den Boden injiziert. In den Injektionspunkten findet wegen der hohen  $\text{NH}_4$ -Konzentration zunächst keine mikrobielle Umwandlung (Nitrifikation) statt. Außerdem kommen weniger als 5 % der Ackerkrume mit dem Dünger-N in Kontakt. Da bei diesem Verfahren vielfach höhere Erträge und eine höhere Düngerstickstoffausnutzung feststellbar ist (Kücke 2003, Richter 2010), ist mit niedrigeren N-Verlusten, u.a. bei der Nitrat Auswaschung zu rechnen.

### **Material und Methoden**

In einem seit 2005 laufenden N-Düngungsversuch mit 2 N-Stufen ( $\text{N}_2$ : betriebsüblich vs. ( $\text{N}_1$ ) betriebsübl. – 20 %), Injektionsdüngung mit früher, mittlerer und später Injektion im Frühjahr im Vergleich zur Oberflächenapplikation in 2 oder 3 Teilgaben (fruchtartspezifisch) wird mit Hilfe von passiven Sickerwassersammlern (PCAPS, passive capillary samplers) wöchentlich bzw. in 2wöchigem Abstand (Sommer) in 80 cm Bodentiefe Sickerwasser gewonnen und dieses auf seine Nährstoffgehalte untersucht.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Wie zu erwarten ist, sind die Sickerwasserraten in den Wintermonaten am höchsten und zwischen Mai und Oktober am geringsten. In Tab. 1 sind die Mittelwerte der  $\text{NO}_3\text{-N}$  im Sickerwasser für die Jahre 2007 bis 2010 dargestellt, jeweils getrennt für die Düngungsphase (1.3.-30.4.), die Wachstumsphase (1.5.-30.9.) und die Sickerwasserperiode (1.10.28.2.). In den Parzellen ohne N-Düngung variieren die N-Gehalte im Sickerwasser zwischen den Jahren um etwa um den Faktor 4 (Jahreseffekte) und liegen in den meisten Fällen über dem Grenzwerte der Trinkwasserverordnung ( $11 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ ). Ebenso finden sich höhere N-Konzentrationen in den Sickerwässern der Parzellen mit höherer ( $\text{N}_2$ ) als in denen mit reduzierter N-Düngung ( $\text{N}_1$ ).

Während sich in den ersten beiden Jahren dieser Untersuchung keine erkennbaren Zusammenhänge zwischen dem N-Applikationsverfahren und den Nitratgehalten im Sickerwasser erkennen lassen, deutet sich in den nachfolgenden Jahren an, dass mit gleichen N-Mengen bei frühzeitiger N-Injektion die Nitratgehalte i.d.R. niedriger liegen als nach oberflächlicher N-Ausbringung und nach später Injektion zum Bestockungsende.

Signifikante Zusammenhänge zwischen dem N-Düngungsüberschüssen (N-Düngung minus N-Export mit dem Erntegut ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )) und den N-Konzentrationen in den Sickerwässern lassen sich nicht in jedem Jahr erkennen (2007:  $y = -0,0072x$

+ 27,713,  $R^2 = 0,0004$ ; 2008:  $y = 0,1446x + 8,4949$ ,  $R^2 = 0,4886$ ; 2009:  $y = 0,0854x + 32,478$ ,  $R^2 = 0,0197$ ; 2010:  $y = 2,0204x - 4,6184$ ,  $R^2 = 0,7457$ ),

**Tab. 1:** Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser nach unterschiedlicher N-Ausbringung und unterschiedlichen N-Düngermengen im Frühjahr, Sommer und Winter 2007 – 2010 (Phase 1: 1.3.-30.4.; Phase 2: 1.5.-30.9.; Phase 3: 1.10.-28.2.)

Jahr	Variante	Phase 1			Phase 2			Phase 3			
		N1	N2	x	N1	N2	x	N1	N2	x	
		mg NO <sub>3</sub> -N l <sup>-1</sup>			mg NO <sub>3</sub> -N l <sup>-1</sup>			mg NO <sub>3</sub> -N l <sup>-1</sup>			
2007	W-Gerste	Oberflächlich	4,7	10,7	7,7 <sup>C</sup>	15,7	28,1	21,9 <sup>AB</sup>	38,1	34,7	36,4
		Injektion früh	9,9	13,4	11,6 <sup>B</sup>	14,9	35,6	25,2 <sup>A</sup>	30,3	43,1	36,7
		Injektion spät	15,4	54,6	35,0 <sup>A</sup>	32,3	18,0	25,2 <sup>A</sup>	41,6	49,6	45,6
	x	10,0 <sup>B</sup>	26,2 <sup>A</sup>	18,1	20,9 <sup>n.s.</sup>	27,2 <sup>n.s.</sup>	24,1	36,6	42,5	39,5	
	N0	4,8 <sup>C</sup>		4,8 <sup>D</sup>	15,5 <sup>n.s.</sup>		15,5 <sup>B</sup>	26,5		26,5	
2008	W-Roggen	Oberflächlich	9,7	19,6	14,6	3,9	10,1	7,0	5,1	14,7	9,9
		Injektion früh	14,7	17,8	16,2	8,4	12,9	10,7	9,5	10,6	10,1
		Injektion spät	18,7	15,1	16,9	2,1	1,8	1,9	4,6	10,6	7,6
	x	14,3	17,5	15,9	4,8	8,3	6,5	6,4	12,0	9,2	
	N0	9,0		9,0	5,3		5,3	7,4		7,4	
2009	S-Weizen	Oberflächlich	26,3	20,8	23,6	31,7	21,0	26,4	55,8	65,9	60,9
		Injektion früh	9,0	14,9	11,9	14,1	18,0	16,1	35,1	51,8	43,4
		Injektion spät	10,2	4,8	7,5	k.A.	38,3	38,3	48,8	54,5	51,7
	x	15,1	13,5	14,3	22,9	25,8	24,3	46,6	57,4	52,0	
	N0	15,8		15,8	15,0		15,0	44,4		44,4	
2010	W-Gerste	Oberflächlich	4,0	15,0	9,5	30,8	19,9	25,4	16,6	21,2	18,9
		Injektion früh	10,6	10,3	10,5	11,2	15,2	13,2	14,5	17,9	16,2
		Injektion spät	8,9	17,9	13,4	34,5	23,4	29,0	21,3	30,6	25,9
	x	7,8	14,4	11,1	25,5	19,5	22,5	17,4	23,2	20,3	
	N0	8,9		8,9	19,4		19,4	24,8		24,8	
2007-2010	x	Oberflächlich	11,2	16,5	13,9	20,5	19,8	20,1	28,9	34,1	31,5
		Injektion früh	11,0	14,1	12,6	12,2	20,4	16,3	22,3	30,8	26,6
		Injektion spät	13,3	23,1	18,2	23,0	20,4	21,7	29,1	36,3	32,7
	N0	9,6		9,6	13,8		13,8	25,8		25,8	
	x Phasen	11,8	17,9	14,9	18,1	20,2	19,2	26,8	33,8	30,3	

was auf die Schlaggeschichte vor Versuchsbeginn zurückgeführt wird (regelmäßige Gülleausbringung). Setzt sich der jetzt erkennbare Trend fort, nach dem bei gleichen N-Düngermengen eine richtig terminierte N-Injektionsdüngung zu einer Verringerung der Nitratgehalte im Sickerwasser führen kann, dann ist dies als eine Folge der in zahlreichen Untersuchungen bereits ermittelten besseren N-Ausnutzungseffizienz nach einer NH<sub>4</sub>-Injektionsdüngung zu deuten. Folgt man der nach diesen Ergebnissen gezogenen Schlussfolgerung, dass eine Verringerung der üblicherweise bei Oberflächenapplikation empfohlenen N-Düngung um ~20 % ohne Ertrags- und Qualitätsverluste in der landwirtschaftlichen Praxis möglich erscheint, dann ist das Minderungspotential für die Nitratgehalte im Sickerwasser noch höher (vgl. oberfl. N2 mit Inj früh N1). In der Variante „Inj. früh N1“ liegen die N-Gehalte im Sickerwasser oft unter denen der N0-Parzelle.

## Literatur

- Kücke, M (2003) Biomasseproduktion und N-Effizienz von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung – Feldversuchsergebnisse 2001. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 245, 81 – 92
- Richter, V., 2010: Prozessorientierte Modellierung und Feldversuche zur ammoniumbetonten Injektionsdüngung. Der andere Verlag, ISBN: 978-3-86247-050-1
- Sommer, K. (2000) "CULTAN"-cropping systems: fundamentals, state of development and perspectives. In: Nitrogen in a sustainable ecosystem: from the cell to the plant; Ed. M. A. Martins-Loucao and S.H. Lips, pp 361 – 375, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands

# Einfluss von Calcium-Gehalt und pH-Wert auf pflanzenverfügbares Kalium und Magnesium im Boden

Holger Lemme<sup>1</sup> und Heinz-Josef Koch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-Mail: lemme@ifz-goettingen.de

## Einleitung

In landwirtschaftlichen Böden spielen Calcium (Ca) und pH-Wert (OH<sup>-</sup>) für die Pflanzenverfügbarkeit von Nährstoffen eine wesentliche Rolle. Ziel der Untersuchungen war es, (i) den Einfluss einer Kalkung auf die Pflanzenverfügbarkeit von Kalium (K) und Magnesium (Mg) in Abhängigkeit von der Zeitdauer zwischen Kalkausbringung und pflanzlicher Nährstoffaufnahme zu quantifizieren und (ii) die Eignung verschiedener Bodenuntersuchungsmethoden (EUF, CAT, CAL/CaCl<sub>2</sub>) für die Vorhersage der Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe zu prüfen. Dabei sollten die beiden Effekte der Kalkung, nämlich die Ca<sup>2+</sup>-Zufuhr und die pH-Erhöhung, bezüglich ihrer Wirkung auf die K- und Mg-Verfügbarkeit differenziert werden.

## Material und Methoden

In einem Versuch wurden in vierfacher Wiederholung jeweils 2 kg zweier verschiedener Böden (Göttingen Ut3, Ochsenfurt Ut4) mit den in Tabelle 1 gezeigten Additiven (Brantkalk (CaO), Gips in Form von  $\beta$  Halbhydrat ( $\beta$  CaSO<sub>4</sub> \* 0,5 H<sub>2</sub>O) und Natronlauge (NaOH)) gemischt, auf einen Wassergehalt von 40% der maximalen Wasserhaltekapazität (WHK<sub>max</sub>) eingestellt und in einer Klimakammer bei 12 °C für 24, 8 bzw. 4 Wochen inkubiert. Nach Ablauf der Inkubationsdauer wurde allen Varianten jeweils 1 kg Boden für die Bodenuntersuchung entnommen, getrocknet (60 °C) und gemahlen (<1 mm). Sowohl Kalk als auch Gips enthielten K (Kalk: 250 mg kg<sup>-1</sup>, Gips: 830 mg kg<sup>-1</sup>) und Mg (Kalk: 13,2 g kg<sup>-1</sup>, Gips: 8,4 g kg<sup>-1</sup>).

Der verbleibende Boden wurde in einem Gefäßversuch verwendet (1 kg Gefäß<sup>-1</sup>). Zehn Zuckerrübenpillen der Sorte Schubert (Strube) wurden ausgelegt und nach dem Auflaufen auf 5 Pflanzen je Gefäß vereinzelt. Die Bodenfeuchte wurde zwischen 60% und 80% der WHK<sub>max</sub> gehalten. Die Temperatur im Gewächshaus lag bei ca. 18 °C. Während der Nachtstunden wurden die Pflanzen für 12 h mit 4,5 klux m<sup>-2</sup> beleuchtet. Es wurden eine Düngung von 250 mg N Gefäß<sup>-1</sup> (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) in drei Gaben sowie zwei Tachigaren-Gaben (Fungizid) appliziert. Nach einer Vegetationszeit von 10 Wochen wurden die Gesamtpflanzen (Rübe + Blatt) entnommen, getrocknet (105 °C), gewogen und gemahlen (<0,5 mm).

Tab. 1: Dem Boden zugeführte Menge der Additive Brantkalk, Gips<sup>#</sup> und Natronlauge basierend auf gleichen Mengen an Calcium- (Ca<sup>2+</sup>) und Hydroxid- (OH<sup>-</sup>) Ionen in drei Stufen (Niedrig, Mittel, Hoch).

Stufe	OH <sup>-</sup> [mmol kg <sup>-1</sup> TM]	Ca <sup>2+</sup> [TM]	----- Additiv -----				
			Kalk [g kg <sup>-1</sup> TM] [t ha <sup>-1</sup> ]	Gips <sup>#</sup> [g kg <sup>-1</sup> TM] [t ha <sup>-1</sup> ]	Natronlauge <sup>##</sup> [ml kg <sup>-1</sup> TM]		
Niedrig	53.5	26.8	1.5	2.8	3.9	7.3	54
Mittel	142.7	71.3	4.0	7.5	10.4	19.4	
Hoch	285.3	142.7	8.0	15.0	20.7	38.8	

<sup>#</sup>  $\beta$  Halbhydrat ( $\beta$  CaSO<sub>4</sub> \* 0,5 H<sub>2</sub>O); <sup>##</sup> (1 Molar); TM = Trockenmasse

Der gemahlene Boden wurde einer pH-Messung sowie einer Extraktion mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF), CAT ( $\text{CaCl}_2 + \text{DTPA}$ ) und CAL (K) bzw.  $\text{CaCl}_2$  (Mg) unterzogen. In den Extrakten wurde der Gehalt an K und Mg bestimmt. Das Pflanzenmaterial wurde mit  $\text{HNO}_3$  und  $\text{H}_2\text{O}_2$  bei  $220\text{ }^\circ\text{C}$  in Mikrowellendruckgefäßen aufgeschlossen und auf die Gehalte an K und Mg analysiert. Die K- und Mg-Aufnahme wurde anhand des Gesamtpflanzenenertrages und der K- und Mg-Gehalte im Pflanzenmaterial errechnet. Sowohl K- und Mg-Gehalt als auch K- und Mg-Aufnahme wurden zur Beurteilung der Pflanzenverfügbarkeit beider Nährstoffe herangezogen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Der Effekt beider Böden war in allen untersuchten Parametern signifikant, wohingegen keine Unterschiede zwischen den drei Inkubationsstufen gefunden wurden. Relevante Wechselwirkungen zwischen Boden, Inkubationszeit und Additiv traten nicht auf. Deshalb werden nachfolgend nur die Mittelwerte über die Böden und Inkubationsstufen vorgestellt.

Der pH-Wert wurde durch Kalk- und Natronlaugezugabe von 6,9 in der Kontrolle auf bis zu 8,9 (Kalk<sup>Hoch</sup>) angehoben, Gips hatte keinen Einfluss auf den pH-Wert. Der Ca-Gehalt (EUF) des Bodens stieg durch Kalk- und Gipszugabe an, wobei trotz äquivalenter Zugabemengen in den Gipsvarianten mehr Calcium extrahiert wurde als bei Kalkzugabe. Der Gesamtpflanzenenertrag der Zuckerrüben stieg durch Kalk- und Gipszugabe um jeweils 60%, durch Natronlaugezugabe um 191% gegenüber der Kontrolle an. In den gekalkten Varianten gingen sowohl der K- als auch der Mg Gehalt der Pflanzen zurück, ebenso in der Natronlaugevariante. Innerhalb der Gipsvarianten blieben die Gehalte konstant. Die Aufnahmen von K und Mg stiegen durch Kalk- und Gipsapplikation gegenüber der Kontrolle an. Alle Bodenuntersuchungsmethoden bildeten im Trend vergleichbare K- bzw. Mg-Gehalte ab, wobei die EUF-Methode die höchsten K- und die niedrigsten Mg-Mengen aus dem Boden extrahierte. Die Mg-Gehalte der CAT- und  $\text{CaCl}_2$ -Methode lagen sehr nah beieinander, ebenso die K-Gehalte der CAL- und CAT-Methode in den Varianten mit  $\text{pH} \leq 7$ . Mit zunehmender Kalkgabe ging die Menge an extrahierbarem Mg, trotz des im Kalk enthaltenen Mg, signifikant zurück, bei Gipszugabe stieg sie in Abhängigkeit von der Bodenuntersuchungsmethode unterschiedlich stark an.

Die Ergebnisse zeigen, dass die K- und Mg-Gehalte der Pflanzen mit steigendem Ertrag abnehmen. Dies spricht zwar für eine abnehmende Verfügbarkeit beider Nährstoffe, es kann sich aber auch um einen Verdünnungseffekt beispielsweise infolge der Erschöpfung der Nährstoffvorräte im Boden handeln. Den abnehmenden K- und Mg-Gehalten der Pflanzen steht die signifikant höhere K- und Mg-Aufnahme gegenüber, welche eine steigende K- und Mg-Verfügbarkeit anzeigt. Weiterhin wird deutlich, dass insbesondere bei einem pH-Anstieg infolge der Kalkzugabe die Mg-Aufnahme der Pflanzen durch keine der Bodenuntersuchungsmethoden (CAT,  $\text{CaCl}_2$  und EUF) korrekt abgebildet wurde. Ursache hierfür könnte sein, dass keine dieser Extraktionslösungen gepuffert ist und die Extraktion damit bei dem jeweiligen Boden-pH-Wert abläuft. Ob die in Gipsvarianten beobachtete Zunahme der K- und Mg-Verfügbarkeit aus Wechselwirkungen mit dem Ca oder dem im Gips enthaltenen K und Mg herrührt, müssen weitere Versuche klären, ebenso wie die übrigen Ergebnisse durch weitere Versuche validiert werden müssen.

## **Einfluss von Biogasgärresten und Rindergülle auf biotische und abiotische Bodenparameter und Pflanzenwachstum**

Beate Formowitz<sup>1</sup>, Robert Beck<sup>2</sup>, Robert Brandhuber<sup>3</sup> Johannes Burmeister<sup>4</sup> und Roswitha Walter<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing; <sup>2</sup>Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz – Humushaushalt, Umwelt-Mikrobiologie (IAB 1d), LfL, Freising; <sup>3</sup>Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz – Bodenphysik und Standortbeurteilung (IAB 1a), LfL, Freising, <sup>4</sup>Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz – Agrarfauna (IAB 4b), LfL, Freising.  
E-Mail: johannes.burmeister@lfl.bayern.de

### **Einleitung**

Der Humus in Böden weltweit enthält schätzungsweise die doppelte Kohlenstoffmenge der Atmosphäre und hat für das Nährstoff- und Wasserspeichervermögen eine bedeutende Rolle. Eine Rückführung von humusbildenden Substanzen proportional zum Humusabbau in Folge der landwirtschaftlichen Produktion ist für den Ausgleich der Humusbilanzen und damit für eine nachhaltige, klimaschonende Bewirtschaftung entscheidend.

Ziel des vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderten 10-jährigen Vorhabens ist die Klärung, ob der Anbau von landwirtschaftlichen Kulturen zur energetischen Nutzung bezüglich Biogas und BtL nachhaltig erfolgen kann. Im Vordergrund steht dabei die Frage, ob langfristig der standorttypische Humusgehalt erreicht bzw. erhalten werden kann, wenn die oberirdische Biomasse zur energetischen Verwertung weitgehend abtransportiert wird. Aufgrund unterschiedlicher Düngerquantitäten und -qualitäten werden gravierende Unterschiede in der Entwicklung der Humusgehalte sowie auch der Häufigkeit und Zusammensetzung der Bodenlebewesen vermutet.

### **Material und Methoden**

An zwei mittelfränkischen (Reuth = RE; Röckingen = RO) und zwei niederbayerischen (Aholting = AHO; Straubing = SR) Standorten wird über 10 Jahre die Fruchtfolge Mais-Winterweizen, beginnend mit Mais im Jahr 2009, angebaut. Dabei werden folgende 6 Düngevarianten miteinander verglichen: Var.1 = miner. N-Düngung mit Strohabfuhr (BtL); Var.2 = miner. N-Düngung mit Strohverbleib; Var.3 = Gärrest-N proportional zur Maisabfuhr, miner. N-Düngung und Strohabfuhr; Var.4 = Gärrest-N proportional zur Maisabfuhr, miner. N-Düngung und Strohverbleib; Var.5 = Gärrestüberhang, miner. Düngung und Strohabfuhr; Var.6 = Rindergülle, miner. Düngung und Strohverbleib. Alle pflanzenbaulichen Arbeitsschritte, von der Bodenbearbeitung und Saat über Düngung, Pflege, Bonituren, Probenahme bis hin zur Ernte, werden einheitlich durchgeführt und dokumentiert.

Vor Versuchsstart 2009 erfolgte eine Grundaufnahme der Korngrößenzusammensetzung, Aggregatstabilität, mikrobiellen Biomasse ( $C_{mic}$ ) und Aktivität sowie des Bodenhumusgehaltes für jeden Standort. 2011 wurden diese Untersuchungen wiederholt. Des Weiteren wurden 2009 in ausgewählten Varianten Bodenproben mit Stechzylindern genommen um die Mesofauna mittels einer Berlese-Tullgren-Apparatur zu erfassen. Mit Plexiglas bedachte Bodenfallen dienten 2009 und 2011 dem Fangen der epigäischen Bodenfauna. Regenwürmer wurden mit

0,2-prozentiger Formalinlösung ausgetrieben und eingesammelt. Die Erfassung der Mesofauna mittels Stechzylinder und die Formalinaustreibung der Regenwürmer (seit 2012 ergänzt durch eine Handauslese) werden zukünftig im zeitigen Frühjahr des Weizenbestandes erfolgen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die mittelfränkischen Standorte Röckingen und Reuth sind als schluffige Tone (Tu3) anzusprechen, Straubing als stark toniger Schluff (Ut4) und Aholfing als stark lehmiger Sand (Sl4). Innerhalb der ersten drei Jahre blieben die Humusgehalte nahezu unverändert und liegen bislang gut verteilt von sehr niedrig (0,9 %, AHO) bis erhöht (1,8 %, RO). Zwar ist es noch verfrüht Aussagen über Humusveränderungen zu treffen, doch deutet sich über alle Standorte hinweg eher ein möglicher Humusabbau an.

Die Pflanzenerträge zeigten Standortunterschiede, mit SR und AHO als begünstigte Maisstandorte, während RE die höchsten Kornenerträge bei Winterweizen erzielte. 2011 wurde die Energiemaissorte ‚Fernandez‘ einheitlich an allen Standorten angepflanzt und überzeugte mit hohen Trockenmasse-Erträgen von 20 t TM/ha (RE) bis 29 t TM/ha (AHO).

Regenwurm-Erhebungen vor Versuchsstart 2009 zeigten standörtliche Unterschiede in der Abundanz, Biomasse und Vielfalt der Regenwürmer. Höchste Dichten im Boden lebender Springschwänze wurden vor Versuchsstart 2009 analog der Bodengüte (Ackerzahl = AZ) in der Reihenfolge SR (AZ 76; ca. 4900 Individuen/m<sup>2</sup>) > RO (AZ 60) > AHO (AZ 49) > RE (AZ 31; ca. 1400 Individuen/m<sup>2</sup>) vorgefunden. Zum Teil gab es Standortunterschiede in der Dominanz der verschiedenen vorgefundenen Artengruppen der Springschwänze und Milben. Die bei der Grundaufnahme der Laufkäfer vor Versuchsstart am häufigsten nachgewiesenen Arten sind typisch für offene Habitate und Ackerflächen, wie auch die überall eudominant auftretende Art *Pterostichus melanarius*. Die Untersuchung ergab Standortunterschiede der Gesamtartenzahlen und Artenzusammensetzung. Auswertungen der Bodenfallen 2011 beschränkten sich auf die quantitative Beurteilung epigäischer Artengruppen und ergaben im Vergleich zu 2009 einen Rückgang der Käferzahlen (ohne Laufkäfer) in AHO und SR. Gegenteiliges gilt für Spinnen und Weberknechte in SR sowie für Doppelfüssler, Hundertfüßler und Asseln an beiden niederbayerischen Standorten. Dabei zeichnen sich Variantenunterschiede der Individuenzahlen ab, mit höchster Aktivität in den organisch gedüngten Varianten.

Die nächsten Jahre kontinuierlicher Simulation der Nutzungspfade BtL und Biogas werden zeigen, in wie weit die untersuchten abiotischen und biotischen Bodenparameter und das Pflanzenwachstum durch das Bewirtschaftungsmanagement der verschiedenen Verwertungsformen beeinflusst werden und ob bzw. welche Gegenmaßnahmen angebracht wären.

### **Danksagung**

Die Autoren danken allen beteiligten Projektpartnern, insbesondere Wolfgang Miederer vom Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Ansbach (AELF AN), Günter Henkelmann von der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU, LfL), Martin Schmidt von der Abteilung Versuchsbetriebe (AVB, LfL) und Konrad Offenberger vom Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz – Düngung des Grünlandes (IAB 2a, LfL).

Des Weiteren danken wir dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) für die Projektfinanzierung.



## Reduction of Nitrate leaching by suboptimal mineral N fertilization depends upon crop-specific use of mineralized N: insights by simulating field net N mineralization

Sabine Heumann<sup>1</sup>; Annegret Fier<sup>2</sup>; Martin Haßdenteufel<sup>2</sup>; Heinrich Höper<sup>2</sup>; Walter Schäfer<sup>2</sup>; Tim Eiler<sup>3</sup> und Jürgen Böttcher<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Bodenkunde, Leibniz Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover

<sup>2</sup> Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover

<sup>3</sup> Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover

E-Mail: heumann@ifbk.uni-hannover.de

### Introduction

Nitrate leaching of agricultural fields still is a serious threat as it often causes an exceeding of the drinking water limit for Nitrate in the groundwater recharge. It was often proposed to considerably lower mineral nitrogen (N) fertilizer rates, because these fertilizers have been implicated to be a main origin of leached N. Interestingly, lowering N application from surplus to about optimum levels has been shown to generally decrease N leaching, whereas further lowering below the optimum levels seems to be not as effective. Simultaneously, suboptimal N rates are usually associated with immediate and relatively large yield reductions, e.g. by about 50 % of the optimum cereal yield for zero N treatments (Köhler et al. 2006). As it is crucial for determining the optimum fertilizer rate to include highly variable current net N mineralisation, and as uptake of mineralized N might vary due to variations in the length of the crops' growth period (for example winter cereals vs. corn), the crop type might have an important impact on N leaching and yield as a function of N rates.

### Material and methods

We analysed yield data and N leaching from 12 consecutive years of a field trial with a crop rotation of silage corn, winter barley and winter rye and with five mineral N fertilizer levels. The trial was carried out on a sandy podzolic soil (23 g kg<sup>-1</sup> clay; 17.0 g kg<sup>-1</sup> C<sub>org</sub>; 0.72 g kg<sup>-1</sup> N<sub>tot</sub>). N leaching was estimated from measured Nitrate-N contents in leachates (suction probes) and from the amount of leachate calculated with a simple soil water model which merely based upon methods of DVWK (1996) and Renger et al. (2008) and measured meteorological data. Further, calculated soil water contents were input data for an N mineralization model which served to evaluate whether differences between crops depended upon crop-specific use of mineralized N. Simulation of net N mineralization in daily time (eq. 1, 2) based upon field-specific temperature and water functions as well as pedotransfer functions for the pool sizes (Heumann et al. 2011a,b). For comparison, N mineralization during crop growth was additionally estimated by a balance approach (eq. 3) using  $Nmin_{harvest}$ , resp.  $Nmin_{start}$ , i.e. measurements of soil mineral N at harvest, resp. in spring, besides  $Nplant_{harvest}$  (N in grains plus straw/in dry matter of silage corn).

$$N_{min}(t, T, \theta) = N_{min}(t, T) \times WF(\theta) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$N_{min}(t, T) = N_{fast}(1 - e^{-k_{fast}(T)t}) + N_{slow}(1 - e^{-k_{slow}(T)t}) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$NM_{balance} = Nplant_{harvest} + Nmin_{harvest} - Nmin_{start} \quad (\text{Eq. 3})$$

## Results and discussion

There were three main results:

- N leaching (Fig. 1) and yield strongly depended upon crop type and N fertilizer rates, and N leaching cannot be fully avoided even without mineral N fertilization.
- The observed large differences between crops indeed mostly originated from crop-specific use of mineralized N, as revealed by simulated net N mineralization and a combination of  $N_{plant_{harvest}}$  and relative N uptake curves. In unfertilized plots silage corn used mineralized N much more efficiently than did winter barley, since corn took up 2 to 4 times as much N (on average  $86.7 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) as winter barley. This was assumed to depend upon crop-specific growth and N uptake patterns. Simulated net N mineralization until harvest generally matched N mineralization as calculated from the balance approach basing on measured data.
- Considering that only a mean leaching of less than roughly  $42 \text{ kg N ha}^{-1}$  over winter would not cause concentrations of more than the drinking water threshold in the seepage water, corn seems to be the only crop of the three studied that allows combining this goal with at least 90 % of maximum yield. Therefore, more precisely determined fertilizer recommendations including current net N mineralization are required.

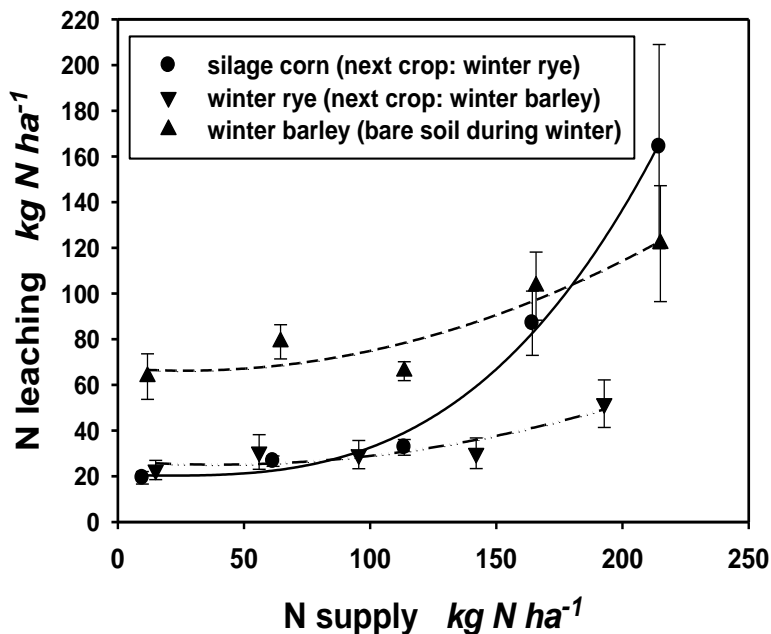


Fig. 1: Nitrate leaching depending upon crop type and N supply.

## References

- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Merkblatt 238, Paul Parey, Hamburg-Berlin, 177 S.
- Heumann, S., Ringe, H., Böttcher, J. (2011a): Field-specific simulations of net N mineralization based on digitally available soil and weather data. I. Temperature and soil water dependency of the rate coefficients. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 91, 219–234.
- Heumann, S., Ringe, H., Böttcher, J. (2011b): Field-specific simulations of net N mineralization based on digitally available soil and weather data: II. Pedotransfer functions for the pool sizes. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 91, 339–350.
- Köhler, K., Duynisveld, W. H. M., Böttcher, J. (2006): Nitrogen fertilization and nitrate leaching into groundwater on arable sandy soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 185-195.
- Renger, M., Bohne, M., Facklam, M., Harrach, T., Riek, W., Schäfer, W., Wessolek, G. (2008): <http://www.boden.tu-berlin.de/fileadmin/fg77/pdf/publikationen/bodenphysikalischeKennwerte.pdf>

## **N<sub>2</sub>O-Emissionen und N-Düngereffizienz beim Einsatz von Gärresten in Abhängigkeit von Bodentyp und ausgebrachter Menge**

Monique Andres<sup>1</sup>, Ulrike Hagemann<sup>1</sup>, Madlen Pohl<sup>1</sup> und Jürgen Augustin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung ZALFe.V., Institut für Landschaftsbiogeochemie, Müncheberg. E-Mail: Andres.Monique@zalf.de

### **Einleitung**

Der zunehmende Anbau von Energiemais zur Erzeugung von Methan erfordert im Hinblick auf die effiziente und umweltschonende Nährstoffnutzung und die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit die Rückführung der Gärreste aus den Biogasanlagen auf die betroffenen Ackerflächen. Ausschlaggebend dafür sind die hohen Gehalte der Gärreste an Ammonium-Stickstoff (N) und organischen Kohlenstoff (C)-Verbindungen. Bisher konnte allerdings die Bedeutung der Gärreste als Quelle des Treibhausgases N<sub>2</sub>O und die Ertragswirksamkeit des darin enthaltenen N nicht abschließend geklärt werden.

### **Material und Methoden**

Im Rahmen des FNR-Verbundprojektes „Klimawirkung des Anbaus von Energiepflanzen“ wurden 2011 an den Standorten Dedelow (sandige Parabraunerde; Uckermark) und Dornburg (tonige Löss-Parabraunerde; Thüringer Becken) Felduntersuchungen an Mais durchgeführt. Der Einfluss der Gärreste wurde für fünf Gärrest-Düngestufen (50%, 75%, 100%, 125% und 200% N-GR; mit Schleppschlauch ausgebracht), sowie für eine ungedüngte (0% N) und eine mineralisch gedüngte Kontrolle (100% N-MIN; 70% MDÄ angenommen) untersucht. Die CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Flüsse wurden zweiwöchentlich mit non-flow-through non-steady-state Haubenmesstechnik und 20-minütiger Intervall-Probenahme gemessen und linear interpoliert. Zusätzlich wurden für die Vegetationsperiode 2011 der Trockenmasseertrag und die C-N-Gehalte in der Trockenmasse bestimmt, sowie darauf aufbauend einfache N-Bilanzen und die N-Düngereffizienz berechnet.

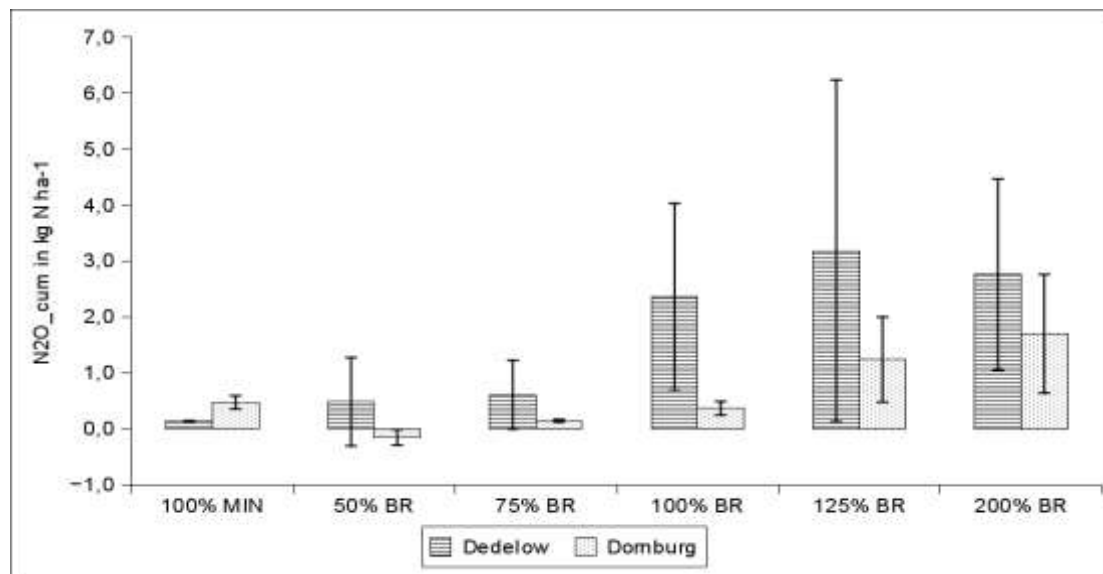
### **Ergebnisse und Diskussion**

An beiden Standorten stiegen für den Zeitraum 01.04.2011 bis 30.11.2011 die kumulierten N<sub>2</sub>O-Emissionen mit zunehmender Gärrestmenge auf bis zu 3,19 kg N ha<sup>-1</sup> (Dedelow) bzw. 1,70 kg N ha<sup>-1</sup> (Dornburg) an (Abb.1). Obwohl die Hintergrund-N<sub>2</sub>O-Emissionen in Dornburg stärker ausfielen, ergaben sich für Dedelow höhere kumulative N<sub>2</sub>O-Emissionen bei den 100-200% N-GR Varianten. Die auf Basis der N<sub>2</sub>O-Emissionen berechneten Emissionsfaktoren der untersuchten Gärrestmengen variierten nicht nur erheblich zwischen den Düngevarianten, sondern fielen auf dem sandigen Standort in Dedelow deutlich höher aus (0,49–1,28%) als auf dem tonigen Standort in Dornburg (-0,09–0,34%; Abb.2). Die große Schwankungsbreite ist auf die hohe räumliche und zeitliche Variabilität der N<sub>2</sub>O-Emissionen zurückzuführen.

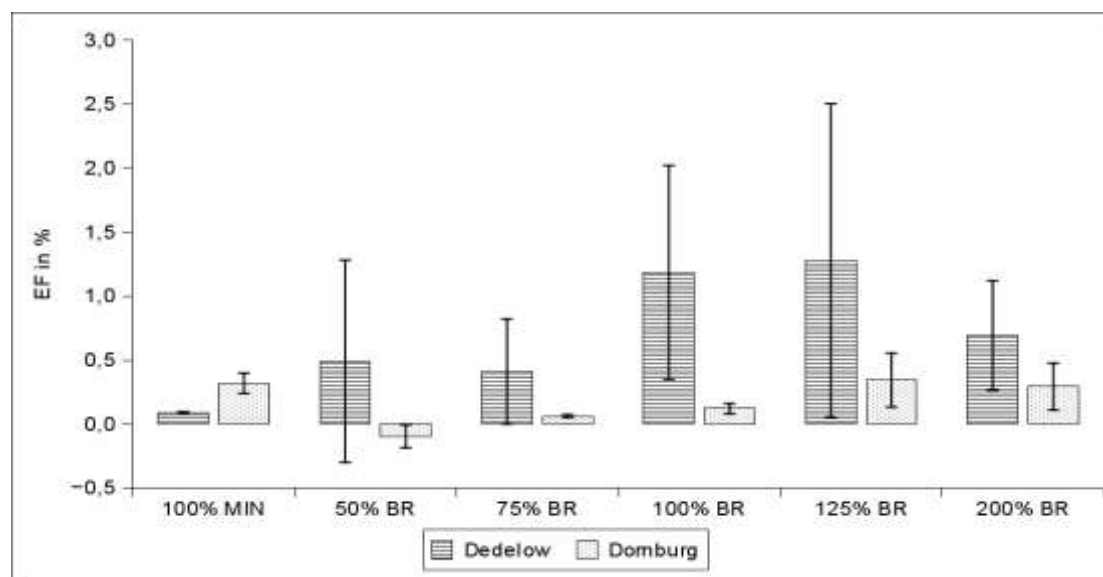
Insgesamt zeichneten im Untersuchungszeitraum weniger die applizierten Gärrestmengen und die Standortunterschiede als die Witterungsverhältnisse,

insbesondere im Zeitraum der Gärrestaubsbringung, für die überraschend moderaten kumulativen  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen verantwortlich.

Mit Ausnahme einer direkt nach der Gärrestaubsbringung auf der 200% N-GR Variante beobachteten kurzen  $\text{CH}_4$ -Emission in Dornburg waren die  $\text{CH}_4$ -Flussraten an beiden Standorten vernachlässigbar und standen in keinem Zusammenhang mit den ausgebrachten Gärrestmengen.



**Abb. 2:** Kumulierte  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen der Standorte Dedelow (01.04.2011-29.11.2011) und Dornburg (01.04.2011-08.11.2011).



**Abb. 1:** Berechnete Emissionsfaktoren der mineralisch und organisch gedüngten Varianten in Dedelow und Dornburg.

Die berechneten N-Düngereffizienzen lagen in Dedelow bei maximal 0,85 (100% N-GR), sowie in Dornburg bei maximal 0,45 (100% N-MIN).

Angesichts der hohen Variabilität der Ergebnisse ist jedoch eine sichere Einschätzung der standortspezifischen Wirkungen der Gärresten auf die Höhe gasförmiger N-Verluste sowie ihrer N-Düngereffizienz erst nach mehrjährigen Untersuchungen möglich.

## DGT als schnelle Alternative zur Bestimmung der Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor in aufbereiteten landwirtschaftlichen Reststoffen

Wibke Christel<sup>1</sup>, Sander Bruun<sup>1</sup>, Jakob Magid<sup>1</sup> und Lars Stoumann Jensen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Agriculture and Ecology, Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen, Frederiksberg (DK). E-Mail: wich@life.ku.dk

### Einleitung

Die Trennung von landwirtschaftlichen Abfallstoffen in Fest- und Flüssigphase stellt ein Mittel dar, dem enormen Nährstoffüberschuss in Gebieten intensiver Viehhaltung entgegenzutreten. Der Großteil des Phosphors (P) ist in der zum Transport geeigneten Festphase enthalten.

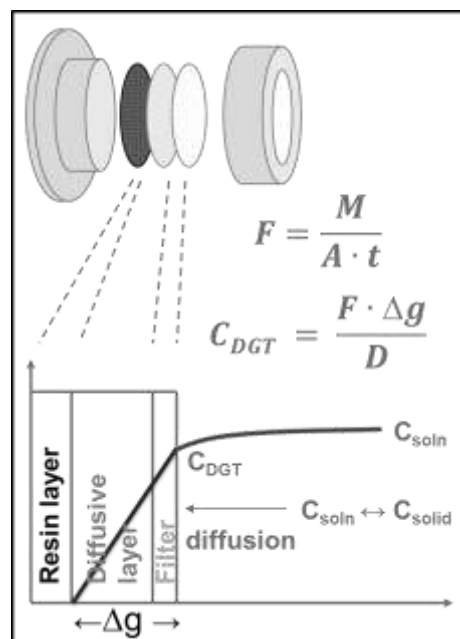
Weitere Aufbereitungsschritte der Feststoffe wie Kompostierung, Pyrolyse oder Verbrennen reichern P zusätzlich an und erhöhen die Stabilität des Produktes während Lagerung oder Transport in Regionen mit Nährstoffdefizit. Allerdings wird das chemische Vorliegen von P und damit die Pflanzenverfügbarkeit durch die Behandlung und ihre Prozessbedingungen verändert. Untersuchungen zur Nährstoffverfügbarkeit in Pflanzenversuchen kosten Zeit, während Extraktionsverfahren zwar weniger arbeitsaufwändig sind, jedoch oft nur schlecht mit der tatsächlichen Pflanzenaufnahme korrelieren.

Eine schnelle Alternative zur Vorhersage der Nährstofffreisetzung im Boden stellt die „Diffusive Gradient in Thin Films“ (DGT) Methode dar. Die Rhizosphärenprozesse der Pflanzenwurzel als Nährstoffsенke und der diffusive Transport zur Senke werden dabei durch eine definierte Gel-Abfolge in der DGT-Einheit nachgeahmt (siehe Abb. 3). Zur Bestimmung der P-Versorgung von landwirtschaftlich genutzten Böden wurde diese Methode kürzlich bereits erfolgreich angewendet (Tandy et al. 2011).

In der vorliegenden Studie wird die Eignung der DGT-Methode zur Vorhersage der P-Pflanzenverfügbarkeit im Vergleich zu klassischen Extraktionsverfahren untersucht. Analysiert wurden verschiedene Produkte aus der Aufbereitung der Feststofffraktion von separierter Schweinegülle, darunter Asche und Biokohle.

### Material und Methoden

Mit Hilfe einer Dekantierzentrifuge wurde die Feststofffraktion der Schweinegülle abgetrennt und zur Vorbereitung auf das Verbrennen oder die Pyrolyse getrocknet. Zur Herstellung der Asche und Kohle wurden die Feststoffe in kleinen Portionen mit ausreichender Luftzufuhr bzw. unter Sauerstoffabschluss thermisch behandelt. Der Temperaturbereich lag dabei zwischen 300 und 1000°C.



**Abb. 3:** Schematischer Aufbau einer DGT-Einheit und Konzentrationsprofil an der Oberfläche und innerhalb der Einheit, inkl. Formeln zur Berechnung des Flusses und der DGT-Konzentration an der Oberfläche der Filterschicht (nach Mundus et al. 2011)

Eine Abschätzung der Verfügbarkeit des Phosphors in der Asche und der Kohle erfolgte sowohl durch die Durchführung von chemischen Extraktionen, als auch über die Anwendung der DGT-Methode.

Als chemische Extraktionsmittel wurde entionisiertes Wasser, 2%ige Zitronensäure und 1-molare Salzsäure eingesetzt. Die Extraktion erfolgte nicht sequentiell und in dreifacher Wiederholung. In einem Verhältnis von 1:100 von Festphase zu Extraktionsflüssigkeit wurden die Asche- und Kohleproben 16 Stunden lang über Kopf geschüttelt und die Feststoffe direkt im Anschluss über 0,45µm-Filterpapier abgetrennt. Bis zur Phosphatanalyse am Flow Injection Analyser (FIA) wurden die Proben gekühlt aufbewahrt und gegebenenfalls unmittelbar vor der Messung mit Reinstwasser verdünnt.

Zur Vorbereitung auf die DGT-Applikation wurde das Asche- oder Kohle-Aliquot in säuregewaschenen Sand (Fein- und Mittelsand) eingemischt. Der Asche- bzw. Kohleanteil betrug dabei 1% der Gesamttrockenmasse. Zur Mischung wurde bis zur Sättigung entionisiertes Wasser zugesetzt. Nach Gleichgewichtseinstellung über Nacht erfolgte die DGT-Applikation für 24 Stunden. Direkt nach Entfernen der DGT-Einheit wurde die P-fixierende Gelschicht in 1-molarer Salpetersäure für mindestens 24 Stunden eluiert, mit Reinstwasser verdünnt und ebenfalls am FIA analysiert.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Der P-Gehalt in Asche und Kohle steigt je höher die Prozesstemperatur ist. Salz- und Zitronensäureextraktion zeigen im Fall der Kohleproben ähnliche P-Gehalte an, während die P-Extrahierbarkeit aus Ascheproben mit Salzsäure deutlich höher ist, als mit Zitronensäure. P in Kohle, pyrolysiert bei über 700°C, und P in Asche, hergestellt bei über 500°C, sind weder wasserextrahierbar, noch zeigen sie ein Signal in der DGT-Applikation. Grundlegend fällt die Wasserlöslichkeit mit steigender Temperatur, wobei dieser Trend deutlicher im Fall von Asche ausgeprägt ist. DGT-Applikation und Wasserextraktion zeigen qualitativ eine vergleichbare Tendenz, allerdings unterscheiden sich die Muster quantitativ.

Eine detaillierte Darstellung und Diskussion der Ergebnisse erfolgt im Rahmen der Präsentation auf der Tagung.

Die DGT-Methode könnte ein Mittel darstellen, die Nährstoffverfügbarkeit aus aufbereiteten landwirtschaftlichen Reststoffen für Pflanzen besser abzuschätzen. Es sind allerdings Pflanzenversuche nötig, um zu klären, ob und wenn ja, welcher der chemischen Tests eine geeignete Abschätzung der Pflanzenverfügbarkeit liefert.

### **Literatur**

Mundus, S.; S. Tandy, H. Cheng; E. Lombi; S. Husted; P.E. Holm und H. Zhang 2011: Applicability of Diffusive Gradients in Thin Films for Measuring Mn in Soils and Freshwater Sediments. *Analytical Chemistry* 83: 8984-8991.

Tandy, S.; S. Mundus; J. Yngvesson; T.C. de Bang; E. Lombi; J.K. Schjoerring und S. Husted 2011: The use of DGT for prediction of plant available copper, zinc and phosphorous in agricultural soils. *Plant and Soil* 346: 167-180.

# **Pflanzenerträge, Kohlenstoffvorrat und Stratifikation der Pflanzennährstoffe im Boden unter dem Einfluss langjährig pflugloser Bodenbearbeitung mit und ohne Gründüngung**

Thomas Appel<sup>1</sup>, Christian Ganz<sup>1</sup> und Daniel Heimerl<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachhochschule Bingen, Bingen am Rhein. E-Mail: appel@fh-bingen.de

## **Einleitung**

Die pfluglose Bodenbearbeitung wird häufig als eine Möglichkeit angesehen, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder sogar zu verbessern. Um das unter den Bedingungen im Südwesten Deutschlands mit häufig im Frühsommer auftretender Trockenheit genauer zu studieren, wurde im Jahr 1998 auf einem Feld der FH Bingen ein Bodenbearbeitungsversuch angelegt. Im Unterschied zu vielen anderen Versuchen wurde der Versuch als gleichmäßig verteilte Blockanlage konzipiert, so dass es möglich ist, jedes Jahr alle drei Kulturarten (ZR, WW, WG), jede auf 8 Parzellen eines Blocks, zu ernten. Der Versuch läuft nun bereits fast vierzehn Jahren. Im Frühjahr 2012 wurden die Böden umfassend untersucht.

## **Material und Methoden**

Das *Versuchsfeld* liegt auf ca. 100 m über N.N. in der Nähe von Bingen am Rhein: Mittlere Jahrestemperatur ca. 10 °C; mittlere jährliche Niederschlagssumme (1971-2000) 519 mm, mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz -84 mm; Grundwasserspiegel tiefer als 4 m unter GOF. Der Boden besteht aus dilluvialen Hochflutsedimenten: Ton 0-30 cm 21,5 % und 30-60 cm 25,5 %, Schluff 0-30 cm 27,7 % und 30-60 cm 28,4 %; Ackerzahl 67 bis 78. Der Boden ist bis in 60 cm Tiefe carbonatfrei und im tieferen Unterboden carbonathaltig.

Die *Bodenbearbeitung* auf dem Standort führt der Versuchsbetrieb der FH Bingen durch. Es gibt die Varianten Pflug und Grubber (Großteilstücke 110 m lang, 24 m breit) jeweils mit und ohne Gründüngung (Kleinteilstücke 55 m lang, 24 m breit). Nach der Getreideernte werden die Stoppeln ein oder zweimal bis 8 cm tief gegrubbert (Gänsefußschare). Im Herbst wird unmittelbar vor der Aussaat ca. 30 cm tief gepflügt bzw. mit Mulchmix-Scharen ca. 15 cm tief gegrubbert. Für die Saatbettbereitung wird in allen Varianten ein Kreiselgrubber mit vorgeschaltetem Tiefenlockerer (ca. 15 cm) verwendet. Zur *Gründüngung* wird nach jeder Wintergersternte Gelbsenf oder Ölrettich ausgesät.

Die *Erträge* werden beim Getreide durch den Mähdrescher (Kerndrusch der Großparzellen) erfasst. Die Rübenenerträge durch eine Ernte per Hand (48 m Reihenlänge je Kleinparzelle) und anschließender Analyse der Rüben im Labor der Zuckerfabrik in Ochsenfurt.

Im Frühjahr 2012 wurden die Böden umfassend untersucht: *Kohlenstoffinventar* im Boden bis in 60 cm Tiefe, *Lagerungsdichte* und Porenvolumen, gesättigte *Wasserleitfähigkeit* (kf) in der Unterkrume und der Krumbasis, Masse und Abundanz der *Regenwürmer*, *Wasserinfiltration* (ki), Stratifikation der *Nährstoffe* (laktatlösliches P und K) in der Krume und im Unterboden, *Wassergehalt* volumetrisch zu Vegetationsbeginn.

## Ergebnisse und Diskussion

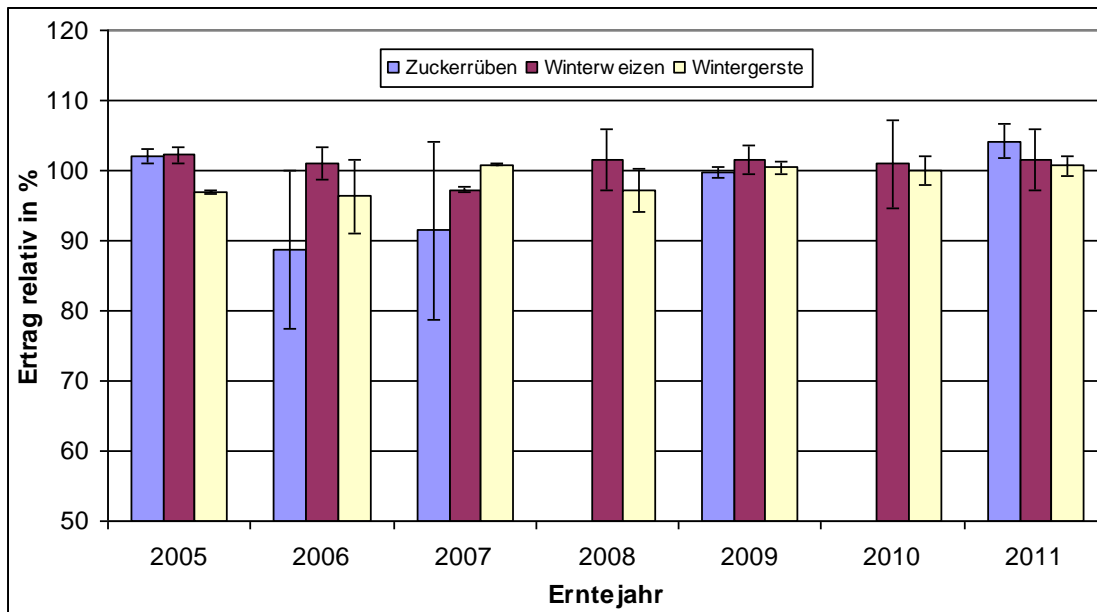


Abb. 1. Erträge (Korn bzw. BZE) der seit 1998 pfluglos bewirtschafteten Parzellen relativ zum jeweiligen jährlichen Versuchsmittel (= 100 %), die Fehlerbalken kennzeichnen die Abweichung der beiden in jedem Block beernteten Großparzellen der Grubber-Variante; keine Ertragsmessung der Rüben in den Jahren 2008 und 2010

Abbildung 1 lässt erkennen, dass sich die pfluglose Bodenbearbeitung nicht signifikant auf die Erträge auswirkte. Das Fehlen von deutlichen Ertragseffekten ist insofern erstaunlich, weil der Verzicht auf das Pflügen sowie die Gründüngung durchaus die Bodeneigenschaften beeinflussten:

- Mehr und vor allem größere Regenwürmer durch die Gründüngung.
- Mehr organische Substanz im Boden durch die Gründüngung (+ 488 kg/ha) und durch den Pflugverzicht (+ 367 kg/ha).
- Bessere Wasserleitfähigkeit in der Krumenbasis der Grubber-Variante mit Gründüngung.
- Höhere Wasser-Infiltrationsfähigkeit durch die Gründüngung.
- Mehr laktatlösliches Kalium in der obersten Bodenschicht bis 10 cm und weniger in der Unterkrumme der Grubber-Varianten.
- Erhöhte Lagerungsdichten in 30-40 cm (Grubber) und 40-50 cm (Pflug).
- Weniger Wasser im Boden zu Vegetationsbeginn in der Pflug- verglichen mit der Grubber-Variante ( $\Delta$  12 Liter je  $m^2$  in 0-60 cm).
- Weniger Wasser im Boden zu Vegetationsbeginn durch die Gründüngung ( $\Delta$  3 Liter je  $m^2$  in 0-60 cm).

Die durch das Pflügen und die Gründüngung bedingten Unterschiede im Bodenwassergehalt waren also, verglichen mit dem insgesamt im Boden zu Vegetationsbeginn vorhandenen Wasser (125 bis 140 Liter/ $m^2$  in 0-60 cm Tiefe), gering.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die durch Pflugverzicht und durch Gründüngung bewirkten Veränderungen der Bodeneigenschaften nicht auf die Fruchtbarkeit des Standortes auswirkten. Auf dem durch Frühsommertrockenheit geprägten Standort war offenbar das verfügbare Wasser entscheidend.



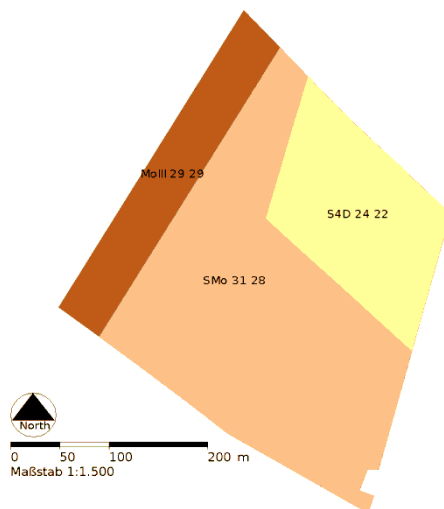
# Beprobungsarme Standortkartierung durch den Einsatz von geoelektrischen Messsystemen

Stefan Hinck<sup>1</sup>, Klaus Mueller<sup>1</sup> und Norbert Emeis<sup>1</sup>

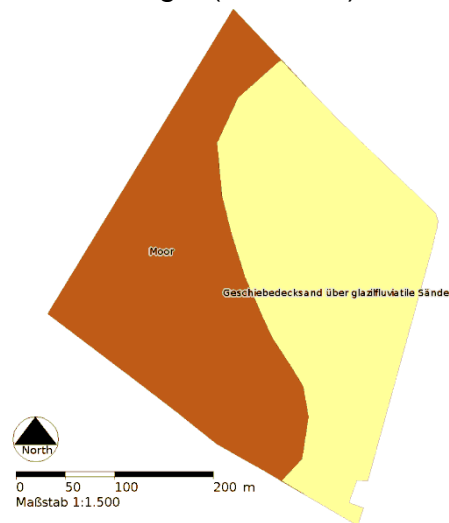
<sup>1</sup>Hochschule Osnabrück, Postfach 1940, 49009 Osnabrück, E-Mail: s.hinck@hs-osnabrueck.de

## Einleitung

Eine Voraussetzung für eine erfolgreiche teilflächenspezifische Bewirtschaftung ist die Kenntnis über kleinräumige Bodeninformationen, z.B. die Bodenart. So sind z.B. Teilflächen mit einem Sandboden anders zu bewirtschaften als Teilflächen mit einem anmoorigen Sandboden. Mit Hilfe der herkömmlichen Bohrstockkartierung wäre eine Standortbewertung sehr arbeitsintensiv. Durch den Einsatz von geoelektrischen Messsystemen kann die Bohrstockkartierung effektiv unterstützt werden. Mit Hilfe einer geoelektrischen Messung werden anhand der unterschiedlichen Höhe der elektrischen Leitfähigkeit (EC-Werte) Teilflächen erkannt und abgegrenzt. Diese Teilflächen werden anschließend gezielt mit dem Bohrstock kartiert. Gegenüber einer räumlich systematischen Bohrstockkartierung, z.B. im 50 m x 50 m Raster, bedeutet die gezielte Bohrstockkartierung auf den Teilflächen einen reduzierten Bohrstockeinsatz bei gleich bleibender Untersuchungsqualität. Für die geoelektrische Messung stehen die Messsysteme Veris 3100, EM38 und das BOs-1EP zur Verfügung. Die Messsysteme unterscheiden sich in deren Messprinzip und Messgeometrie (Hinck 2009). Im folgenden Anwendungsbeispiel wird gezeigt, dass eine gezielte Kartierung eine kleinräumigere Teilflächenabgrenzung ermöglicht im Vergleich zur Kartendarstellung der Bodenschätzung (s. Abb. 1) oder der Geologie (s. Abb. 2).



**Abb. 1:** Bodenschätzung der Fläche Eschkorn (Quelle: LBEG)



**Abb. 2:** Geologische Karte der Fläche Eschkorn (Quelle: LBEG)

## Material und Methoden

Die Untersuchung erfolgte im Elbe-Weser Dreieck in der Gemarkung Ebersdorf auf der Fläche Eschkorn mit einer Größe von 11,7 ha. Die Entstehung der Fläche ist eiszeitlich (Geschiebedecksand) und holozän (Moor) geprägt (s. Abb. 2). Bis in die 1980ziger Jahren wurde die Fläche als Weide für die Milchviehhaltung und anschließend als Ackerland genutzt. Das EM38 ist im horizontalen Messmodus eingesetzt und zeitgleich mit dem Veris über die Fläche geführt worden; Einsatztermin: 21.03.2012. Das BOs-1EP ist am 21.04.2012 eingesetzt worden. Der Messtiefenbereich betrug 1 - 8 cm. Die Messergebnisse sind mit dem GIS-Programm

OPENJump aufbereitet und interpoliert (Kriging-Methode). Die Auswahl der Kartierorte erfolgte visuell anhand der EC-Werte der drei Messsysteme. Die Auswahlkriterien sind die EC-Werte-Kategorien: niedrig, mittel und hoch eines jeden Messsystems für denselben Bereich in der Fläche und Bereiche mit unterschiedlichen EC-Werte Kategorien. 19 Orte sind mit dem Bohrstock kartiert.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Messergebnisse zeigen, die Fläche lässt sich anhand der EC-Werte und der Bohrstockkartierung kleinräumiger differenzieren. Die sandige Teilfläche wird von den 3 Messsystemen anhand niedriger EC-Werte und die Teilflächen mit anmoorigen Sand bzw. Moor anhand mittlerer bzw. hoher EC-Werte dargestellt. Im südlichen Bereich sind im Klassenzeichenpolygon SMO niedrige EC-Werte erkennbar. Die Bohrstockkartierung weist für diese Bereiche im Oberboden Sand auf. Erst im Unterboden wird Moor kartiert. Ebenso weisen die beiden Messungen (Veris flach und BOs-1EP) auf der sandigen Teilfläche eine weitere Differenzierung für den Oberboden auf. Es zeigen sich kleinräumig mittlere EC-Werte auf der sandigen Teilfläche, in diesen Bereichen wird im Oberboden ein anmooriger Sand kartiert. (s. Abb. 3 und 4)

Diese detaillierten kleinräumigen Bodeninformationen ermöglichen z.B. eine optimierte und somit sehr differenzierte Kalkung. Die Kalkmenge kann den erkannten kleinräumig unterschiedlichen Humusgehalten angepasst werden.

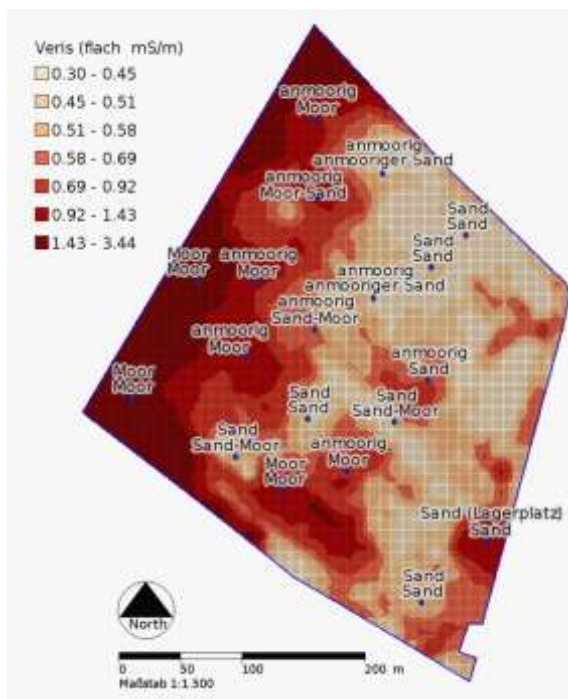


Abb. 3: Räumliche Darstellung der EC-Werte für Veris flache Messung (0 -30 cm)

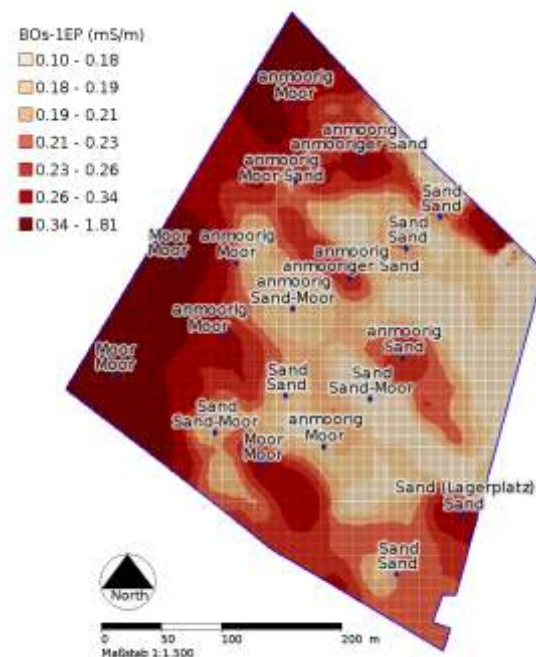


Abb. 4: Räumliche Darstellung der EC-Werte für BOs-1EP Messtiefe 8 cm

angegeben sind in Abb. 3 und 4:

die Bodenart im Oberboden (1. Angabe)

das vorherrschende Substrat für den obersten Meter (2. Angabe)

### Literatur

- Hinck, S. (2009): Ermittlung pflanzenbaulich relevanter Bodenkenndaten mit Hilfe von ausgewählter Bodensensorik. Dissertationsschrift an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Der Andere Verlag, Töning, Download unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:3:4-1>  
 LBEG (WMS-Server) :<http://geoportal.geodaten.niedersachsen.de/geodaten-portal/servlet/gtEntryPoint?SERVICE=WMS&REQUEST=GetCapabilities>

## Nährstoffversorgung ackerbaulich genutzter Böden im Land Brandenburg

Jörg Zimmer<sup>1</sup> und Frank Ellmer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, & Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Stahnsdorf, E-Mail: Joerg.Zimmer@LELF.Brandenburg.de; <sup>2</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin

### Einleitung

Ziel der heutigen landwirtschaftlichen Bodennutzung ist neben der Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln sowie Industrierohstoffen der energiepolitisch forcierte Anbau von pflanzlicher Biomasse zur energetischen Verwertung. Zumeist unberücksichtigt bleibt, dass Ackerboden nur begrenzt verfügbar und daher in seiner Fruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit nachhaltig zu erhalten ist. Die Kenntnis des aktuellen Status der Bodennährstoffversorgung ist hierbei von zentraler Bedeutung.

### Material und Methoden

Für die vorliegenden Auswertungen wurde für den Zeitraum 2006-2009 ein Datenbestand von 56.345 Bodenproben der Bodengruppen 1-6 (BG 1 [S]: 14.268, BG 2 [I'S]: 21.494, BG 3 [IS]: 11.410, BG 4 [sL/uL]: 3.778, BG 5 [tL/T]: 1.659, BG 6 [Mo]: 3.736) erarbeitet. Dem Datenbestand können ca. 42 % der Ackerflächen des Landes Brandenburg zugeordnet werden. Die Entnahme der Bodenproben erfolgte durch den Flächenbewirtschafter oder einen beauftragten, akkreditierten Probenehmer jeweils aus der Ackerkrume (0 bis 20-30 cm). Die Bodenuntersuchungen (pH-Wert,  $P_{DL}$ -,  $K_{DL}$ - und  $Mg_{CaCl_2}$ -Gehalt nach VDLUFA-Methodenstandard) sowie die Bewertung der Ergebnisse (pH-Klassen und Nährstoffgehaltsklassen) wurden von zugelassenen Laboreinrichtungen entsprechend der Bewertungsvorgaben des Landes Brandenburg (Wulffen von et al, 2008) vorgenommen. Nahezu vollständig (99,9 %) lagen für jede Bodeprobe die Laborergebnisse aller vier Untersuchungsmerkmale vor. Überprüfungen ergaben 6.760 Fehlbewertungen, die korrigiert wurden.

Die Auswertung erfolgte separat für die Bodengruppen sowohl für die Untersuchungsergebnisse mittels Rangvarianzanalyse und anschließendem paarweisen Vergleich (Nemenyi-Test für  $\alpha \leq 0,05$ ) als auch für die Ergebnisbewertung durch Auszählen der Bodenproben nach pH- und Nährstoffgehaltsklassen. Statistisch errechnete Differenzierungen wurden in Auswertung der Literatur zu Labor- (u.a. 90. VDLUFA-Enquete) und Probenahmefehler (Kerschberger & Richter, 1992) bewertet. Hieraus ableitend wurden zur Ausweisung signifikanter Differenzierungen folgende Grenzen definiert: pH-Wert = 0,3;  $P_{DL}$ - und  $K_{DL}$ -Gehalt = 3 mg 100 g Boden<sup>-1</sup> sowie  $Mg_{CaCl_2}$ -Gehalt = 1 mg 100 g Boden<sup>-1</sup>.

### Ergebnisse und Diskussion

In der Landbaupraxis Brandenburg ist die systematische Bodenuntersuchung wesentlicher betrieblicher Standard der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Diese Praxis geht über die Anforderungen der Düngeverordnung hinaus und sollte beibehalten werden.

Die durchschnittliche Kalk- und Nährstoffversorgung der Ackerböden im Land Brandenburg ist aktuell, mit Ausnahme der Kaliumversorgung der organischen Böden der Bodengruppe 6, als gut bis sehr gut einzuschätzen (Tab. 1). Vorliegende Differenzierungen zwischen den Bodengruppen sind sowohl geogen bedingt als auch die Folge

ackerbaulicher Bewirtschaftung. Auffallend jedoch sind die mittleren pH-Werte der Mineralböden, insbesondere der Bodengruppen 3-5, die im jeweils unteren Bereich der Optimalversorgung an der Grenze zur Unterversorgung liegen. Auswertungen in den Folgejahren müssen zeigen, ob die durchschnittliche Kalkversorgung Brandenburger Ackerböden künftig insgesamt auf mangelhaft herabzustufen ist.

Tab. 1: Mittlere pH-Werte und Nährstoffgehalte der Bodengruppen Brandenburger Ackerböden (2006-2009, mg 100 g Boden<sup>-1</sup>)<sup>1</sup>

Boden- gruppe	pH-Wert	P <sub>DL</sub> bei pH-Wert		K <sub>DL</sub>	Mg <sub>CaCl2</sub>
		≤ 7,0	> 7,0		
1 S	5,6 <sup>a</sup>	7,9 <sup>a</sup>	10,1 <sup>b</sup>	10,1 <sup>a</sup>	5,3 <sup>a</sup>
2 l'S	5,9 <sup>ab</sup>	7,6 <sup>a</sup>	9,0 <sup>b</sup>	11,8 <sup>ab</sup>	5,8 <sup>a</sup>
3 IS	6,2 <sup>bcd</sup>	7,1 <sup>a</sup>	9,0 <sup>b</sup>	13,4 <sup>b</sup>	6,9 <sup>b</sup>
4 sL/uL	6,3 <sup>cd</sup>	7,4 <sup>a</sup>	9,5 <sup>b</sup>	15,2 <sup>b</sup>	10,0 <sup>c</sup>
5 tL/T	6,4 <sup>d</sup>	10,7 <sup>b</sup>	10,3 <sup>b</sup>	18,0 <sup>c</sup>	14,7 <sup>d</sup>
6 Mo	6,0 <sup>bc</sup>	6,6 <sup>a</sup>	5,5 <sup>a</sup>	11,3 <sup>ab</sup>	15,6 <sup>d</sup>
1-6	5,9	7,6	8,8	12,1	7,1

<sup>1</sup> Werte einer Spalte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich im Nemenyi-Test nicht signifikant

Entgegen der zuvor positiven Einschätzung zwingen die vorliegenden Auswertungsergebnisse der einzelprobenbezogenen Bewertung des Kalk- und Nährstoffversorgungszustandes zu einer weitaus kritischeren Beurteilung. Hervorzuheben sind die hohen Anteile an mit Kalk und Grundnährstoffen unterversorgten Ackerböden (Tab. 2), erst recht wenn man bedenkt, dass dieser Anteil im Verlauf der letzten 25 Jahre deutlich angestiegen ist (vgl. Witter und Krause, 1990). Hinzu kommt, dass bei 74 % aller untersuchten Böden mindestens ein Untersuchungsparameter als unterversorgt bewertet wurde.

Tab. 2: Bewertung des Kalk- und Nährstoffversorgungszustandes Brandenburger Ackerböden (2006-2009, % d. AF)

Versorgungs- zustand	pH-Wert	P <sub>DL</sub> bei pH-Wert		K <sub>DL</sub>	Mg <sub>CaCl2</sub>
		≤ 7,0	> 7,0		
unterversorgt <sup>1</sup>	38	38	25	28	37
optimal versorgt <sup>2</sup>	26	31	14	33	26
übersorgt <sup>3</sup>	36	31	61	39	37

<sup>1</sup> Gehaltsklassen A, B; <sup>2</sup> Gehaltsklasse C; <sup>3</sup> Gehaltsklassen D, E

Das bedeutet, dass auf Grundlage der aktuellen Kalk- und Nährstoffversorgung lediglich für 26 % der Ackerböden im Land Brandenburg ein optimaler Bodenfruchtbarkeitszustand ausgewiesen werden kann. Es stellt sich die Frage, ob und wie die künftigen Anforderungen an die landwirtschaftliche Bodennutzung mit einer nachhaltigen Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit in Einklang zu bringen sind.

## Literatur

- Wulffen von, U., M. Roschke und H.-E. Kape 2008: Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV) - Gemeinsame Hinweise der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt. LVL Brandenburg. Frankfurt/Oder. TZ 68/08. S. 4-21.
- Kerschberger, M und D. Richter 1992: Untersuchungen zur Streuung der Bodenuntersuchungsergebnisse von pH, P, K und Mg auf großen Feldschlägen des Ackerlandes. Arch. Acker- u. Pfl. Boden, Bd. 36, S. 163-170.
- Witter, B. und O. Krause 1990: Der aktuelle Stand der Kalk- und Nährstoffversorgung der Böden der DDR und die gezielte Nutzung dieser Ergebnisse. Feldwirtschaft. 31/1. S. 41-43

## **Einfluss der Bewässerung auf Erträge, Kohlenstoffinputs und C<sub>org</sub>-Gehalte bei differenzierter Stickstoffdüngung auf einem schwach schluffigen Sandboden**

Benjamin Trost<sup>1</sup>, Frank Ellmer<sup>2</sup>, Michael Baumecker<sup>2</sup>, Andreas Meyer-Aurich<sup>1</sup>,  
Annette Prochnow<sup>1,2</sup>, Katrin Drastig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ATB Leibniz-Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Potsdam; <sup>2</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Berlin. E-Mail: btrost@atb-potsdam.de

### **Einleitung**

Der Gehalt an organischem Bodenkohlenstoff (C<sub>org</sub>) stellt einen bedeutenden Indikator der Bodenfruchtbarkeit dar, welcher durch agrotechnische Maßnahmen wesentlich beeinflusst werden kann. Relativ wenig ist in diesem Zusammenhang zum Einfluss der Bewässerung bekannt. Zu diesem Zweck wurden die Daten eines Langzeitversuchs hinsichtlich der Wirkung von Bewässerung in Kombination mit differenzierter Stickstoffdüngung auf Erträge, Ernterückstände und C<sub>org</sub>-Gehalte ausgewertet.

### **Material und Methoden**

Grundlage für die Untersuchung bildete der Statische Düngungs- und Beregnungsversuch in der Lehr- und Versuchsstation der Humboldt-Universität zu Berlin in Thyow (52° 16' N; 13° 12' E). Bei diesem Versuch handelt es sich um eine Standard-Langparzellen-Anlage, in der in einer fünffeldrigen Fruchtfolge Knaulgras, Kartoffeln, Winterweizen, Wintererbsen und Winterroggen angebaut werden. Die vorherrschende Bodenart in der Krume ist leicht bis mittel schluffiger Sand. Die in die Analyse einbezogenen Prüffaktoren waren mineralische Stickstoffdüngung in drei Stufen jeweils mit und ohne Beregnung.

Vor 1995 existierten die Düngungsstufen „übliche N-Düngungsmenge“, „hohe N-Düngungsmenge“ sowie „stark überhöhte N-Düngungsmenge“. Ab 1995 wurden in allen Varianten die N-Düngermengen deutlich verringert. Daraus resultierte die bis heute existierende Abstufung „keine N-Düngung“, „mäßige N-Düngung“ und „übliche N-Düngung“. Haupt- und Nebenprodukterträge sowie die Gehalte an organischem Bodenkohlenstoff wurden jährlich erfasst. Für Kulturen, bei denen eine direkte Erfassung der Ernterückstandsmengen nicht gegeben war, erfolgte eine Berechnung über Faktoren des Ernteprodukt-Nebenprodukt-Verhältnisses. Die in den Ernteresten enthaltenen Kohlenstoffmengen wurden über die jeweiligen Kohlenstoffgehalte in der Trockensubstanz berechnet. Da aufgrund der fehlenden Wiederholungen in der Versuchsanlage eine jährliche statistische Auswertung der einzelnen Kulturen nicht möglich war, erfolgte eine Analyse auf Basis einer Fruchtfolgerotation. Um die Erträge der angebauten Kulturen vergleichbar zu machen, wurde eine Umrechnung in Getreideeinheiten (BMELV (ed.), 2011) durchgeführt. Die Daten wurden über eine Varianzanalyse und nachfolgenden Mittelwertvergleichen über die Prozedur MIXED mit der Statistiksoftware SAS 9.2 ausgewertet ( $\alpha = 0,05$ ).

### **Ergebnisse und Diskussion**

In Kombination mit einer ausreichenden Stickstoffverfügbarkeit führte die Bewässerung zu signifikanten Mehrerträgen und höheren Kohlenstoffinputs aus

Stroh- und Ernteresten. Vor 1995 konnte dies in allen drei N-Düngungsstufen nachgewiesen werden. In der ab 1995 existierenden Stickstoffmangelvariante waren unter Bewässerung keine wesentlich höheren Erträge sowie keine höheren Kohlenstoffinputs aus Stroh- und Ernteresten zu verzeichnen.

Trotz der wesentlich höheren Mengen an Ernteresten in den bewässerten und mit Stickstoff versorgten Varianten konnten hier in den meisten Fällen nur geringfügig höhere Gehalte an organischem Bodenkohlenstoff festgestellt werden, deren Differenzen zu den unbewässerten Varianten jedoch nur in Einzelfällen signifikant waren. Gründe dafür sind in der Aktivität des Bodenlebens zu sehen.

Die Kombination von Bewässerung und N-Düngung kann neben einer Steigerung der pflanzlichen Biomasse auch eine Anregung des mikrobiellen Bodenlebens und somit einen gesteigerten Abbau organischer Substanz verursachen. Hier existieren Abhängigkeiten von der Bodengüte und den klimatischen Bedingungen. In humiden Klimazonen kann die durch Bewässerung verursachte gesteigerte mikrobielle Aktivität den Effekt einer erhöhten Kohlenstoffzufuhr aus den Ernteresten aufheben und teilweise auch zu Verminderungen des  $C_{org}$ -Gehaltes führen. Ergebnisse von Dersch & Bohm (2001) aus Österreich (humides Klima) bestätigen dies. Auf Böden mit geringen Initial- $C_{org}$ -Gehalten in ariden oder semiariden Klimazonen überwog der Effekt der durch Bewässerung gesteigerten Ernterückstandsmengen. Hier konnten in den bewässerten Varianten deutlich höhere  $C_{org}$ -Gehalte im Vergleich zu den nicht bewässerten Varianten festgestellt werden (Denef et al. 2008). Aus der Analyse der Ergebnisse des Statischen Düngungs- und Beregnungsversuchs kann für einen schwach schluffigen Sandboden im Nordosten Deutschlands schlussfolgernd abgeleitet werden, dass Bewässerung zu deutlichen Mehrerträgen sowie zu größeren Mengen an Ernterückständen führt. Hinsichtlich des  $C_{org}$ -Gehalts des Bodens hatte dies verglichen mit den unbewässerten Varianten auch nach mehreren Jahrzehnten keine signifikanten Auswirkungen.

## Literatur

- BMELV (ed.), 2011: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2010. <http://www.bmelv-statistik.de/de/statistisches-jahrbuch/kap-c-landwirtschaft/>
- Dersch G., Bohm K. (2001): Effects of agronomic practices on the soil carbon storage potential in arable farming in Austria. *Nutr Cycl Agroecosyst* 60:49-55.
- Denef K., Stewart C.E., Brenner J., Paustian K. (2008) Does long-term center-pivot irrigation increase soil carbon stocks in semi-arid agro-ecosystems? *Geoderma* 145:121-129.

## **Untersuchungen der Ertragsvariabilität von Getreidestroh und dessen Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit**

Sybille Brozio<sup>1</sup> und Thomas Schatz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, E-Mail: sbrozio@hnee.de

<sup>2</sup>Büro Boden und Landschaft, Berlin, E-Mail: thschatz@gmx.net

### **Einleitung**

Getreidestroh wird in der Tierhaltung als Einstreu und Futter genutzt. Durch den Verbleib auf dem Feld trägt Getreidestroh andererseits entscheidend zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei und wird zur Humusreproduktion benötigt. Es soll geprüft werden, wie sich eine vermehrte Abfuhr von Getreidestroh von der landwirtschaftlichen Fläche durch neue Nutzungspfade im Zuge der Energiewende auf die Bodenfruchtbarkeit auswirkt.

Bei der Bilanzierung von Humussalden für landwirtschaftliche Flächen und Betriebe wird der Strohertrag unter Verwendung von fruchtartspezifischen Korn-Stroh-Indizes anhand der Kornerträge geschätzt. Jedoch variieren die Stroherntemengen und damit auch die Humus-Reproduktionsleistung nach Standort, Witterung und angebauter Getreidesorte. Für eine räumlich differenzierte Betrachtung wird untersucht, ob Sortenwahl und Standortunterschiede sich nicht nur auf den Kornertrag auswirken, sondern auch das Korn-Strohverhältnis beeinflussen.

### **Material und Methoden**

In einem dreijährigen Projekt werden auf Praxisschlägen in Brandenburg kurz vor der Ernte Ganzpflanzenproben entnommen und Korn- bzw. Stroherträge ermittelt. Es werden folgende Methoden angewandt:

Beprobung im Feld: Orientiert an Bodenschätzungskarte, Relief und Bestandesentwicklung werden auf ausgewählten Ackerschlägen repräsentative Punkte bestimmt und kurz vor der Ernte Meterschnitte entnommen (je drei Wiederholungen). Gleichzeitig werden phänologische Daten erfasst. Nach der Ernte erfolgt an den gleichen Positionen eine Entnahme von Mischproben aus dem Pflughorizont (30cm).

Laboranalyse: Die Meterschnitte werden hinsichtlich ihrer Stroh- und Kornerträge untersucht und Korn-Strohverhältnisse ermittelt. Die Bodenproben werden auf Bodenart, pH-Wert, CaCO<sub>3</sub>, den Gehalt an Hauptnährstoffen und organischer Bodensubstanz analysiert.

Regionale Modellierung nachhaltig verfügbarer Strohpotenziale mittels Biomasse-Ertragsmodell [1]: Auf Basis der Feld- und Laborergebnisse sollen die Modellinputparameter angepasst und eine standortspezifische Schätzung des Strohertrages vorgenommen werden. Zusätzlich werden Satelliten- und weitere digitale Standortdaten zur Charakterisierung standortspezifischer Ertragsunterschiede ausgewertet.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Nach zwei Projektjahren zeigen erste Ergebnisse hohe sorten- und standortspezifische Variabilitäten der Stroherträge.

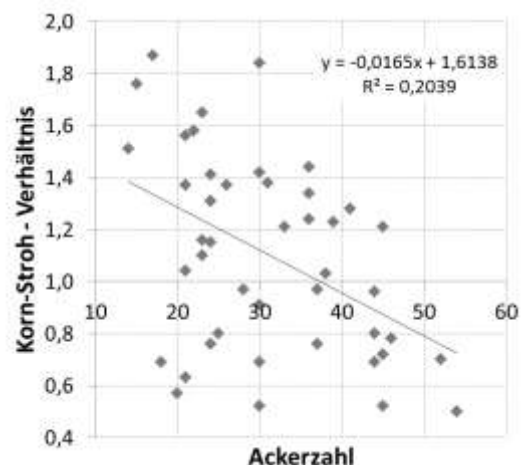
Auf den untersuchten Praxisschlägen des Erntejahres 2010 wurden meist höhere Korn-Stroh-Indizes gegenüber DüngeVO 2012 [2] festgestellt, die

fruchtartenspezifische Variabilität war sehr hoch [3]. Der Einsatz von Wachstumsreglern erfolgte auf den untersuchten Schlägen nicht einheitlich. Wo keine Wachstumsregler eingesetzt wurden, sind geringfügig höhere Stroherträge nachgewiesen worden. Allerdings wurde durch die Praxispartner bestätigt, dass die Wirksamkeit der Wachstumsregler in 2010 infolge ungünstiger Witterung bei der Applikation gering war. Auch 2011 weisen festgestellten Korn-Strohverhältnisse hohe Variabilitäten auf (Tab. 1).

**Tab. 1:** Fruchtartenspezifische Korn-Stroh-Verhältnisse auf den Praxisschlägen der Erntejahre 2010 und 2011, in Klammern: Anzahl der Proben und Standardabweichung.

Fruchtart	Korn-Stroh-Verhältnisse: 1dt Korn = x dt Stroh [TM] (Anzahl der Proben: Standardabweichung)				
	Winterroggen	Winterweizen	Wintergerste	Wintertriticale	Sommergerste
DüngeVO [2]	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8
Praxis 2010	1,41 (23: 0,22)	0,98 (18: 0,21)	0,64 (9: 0,13)	1,41 (5: 0,41)	0,93 (3: 0,13)
Praxis 2011	1,10 (59: 0,26)	0,75 (36: 0,19)	0,63 (19: 0,14)	1,07 (6: 0,04)	0,53 (6: 0,03)

An mehreren Standorten konnte ein Einfluss der Bodenqualität auf das Korn:Strohverhältnis festgestellt werden: Bei höherer Bodenzahl tendieren die Ergebnisse zu geringeren Indizes, was allerdings weiter statistisch belegt werden muss (Abb. 1).



**Abb. 1:** Korn-Strohverhältnisse im Vergleich zur Ackerzahl im Erntejahr 2010

Die Ergebnisse dienen der Ableitung von Empfehlungen zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit bzw. zum Erhalt der organischen Substanz durch angepasstes Management von Getreidestroh. Daneben fließen regional differenzierte Korn-Strohverhältnisse als Inputdaten zur Modellierung von Stroherträgen und zur Bilanzierung von Humussalden ein.

## Literatur

- [1] Brozio, S., Piorr, H.-P., Zeidler, M. & F. Torkler (2009): Methodik zur Ermittlung standortspezifischer Bioenergiepotenziale unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien am Beispiel des Landes Brandenburg, Berichte der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Band 4 (2009), S. 49 – 53.
- [2] DüngeVO (2012): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen, Anlage 1, Tab. 1: Nährstoffgehalte von Haupt- und Zwischenfrüchten.
- [3] Schatz, T. & S. Brozio (2011): Stroh für eine nachhaltige Bioenergiebereitstellung - Einflussgrößen auf den Ertrag, in: TU Bergakademie Freiberg (Hrsg.): Tagungsband zur 17. Internationalen Fachtagung "Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe am 15. und 16.9.2011 in Freiberg, S. 95-99.



# Quantitative Analyse der Wurzelverteilung in einem Erbsen-Hafer-Gemenge mittels Fourier-Transform-Infrarot (FTIR) Spektroskopie

Catharina Meinen und Rolf Rauber

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Göttingen. E-Mail: catharina.meinen@agr.uni-goettingen.de

## Einleitung

Der Anbau von Leguminosen-Getreide-Gemengen erzielt häufig Ertragsvorteile gegenüber den Reinsaaten. Unterschiedliche Wurzelverteilungsmuster und dadurch die Erschließung verschiedener Bodenhorizonte können dabei zu höherer Ressourceneffektivität in Gemengen mit Leguminosen und Getreide führen. Um diese unterirdischen Prozesse zu untersuchen, müssen die Wurzeln der beteiligten Pflanzenarten unterschieden werden. In einer früheren Studie konnte die Fourier-Transform-Infrarot (FTIR) Spektroskopie erfolgreich zur Wurzelunterscheidung bei Erbsen und Hafer angewendet werden (Naumann et al. 2010). Im folgenden Experiment haben wir die Methode auf die Quantifizierung der Artanteile im Wurzelraum ausgeweitet. Auf der Basis von Wurzelmischungen mit bekannter Zusammensetzung wurde ein Modell erstellt. Mit Hilfe dieses Modells wurden die Wurzelproben aus einem Erbsen-Hafer-Gemenge nach Artanteilen quantifiziert.

## Material und Methoden

Eine Feldstudie wurde 2011 mit Erbsen (*Pisum sativum* L., Sorte: Santana) und Hafer (*Avena sativa* L., Sorte: Aragon) als Rein- und Gemengesaat in alternierenden Reihen angelegt. Die Reinsaaten wurden mit 80 Korn Erbsen/m<sup>2</sup> und 300 Korn Hafer/m<sup>2</sup> gedreht. Das additive Gemenge setzte sich aus 100 % Erbsen und 20 % Hafer zusammen. Bei BBCH 67/71 der Erbsen wurde die ober- und unterirdische Biomasse geerntet. Wurzelproben wurden zwischen zwei Saatzeilen bis 60 cm Tiefe entnommen, ausgewaschen, bei 50° C getrocknet und gemahlen (Ø 0,2 mm). Aus den Wurzelproben der Reinsaaten wurde eine Kalibrationsreihe in 5 % Schritten aus Erbsen- und Haferwurzeln (5 % Hafer + 95 % Erbsen, usw.) sowie Proben für die Modellvalidierung erstellt. Damit wurde das Modell kalibriert und validiert. Die Artanteile der Gemengewurzeln konnten so berechnet werden.

## Ergebnisse und Diskussion

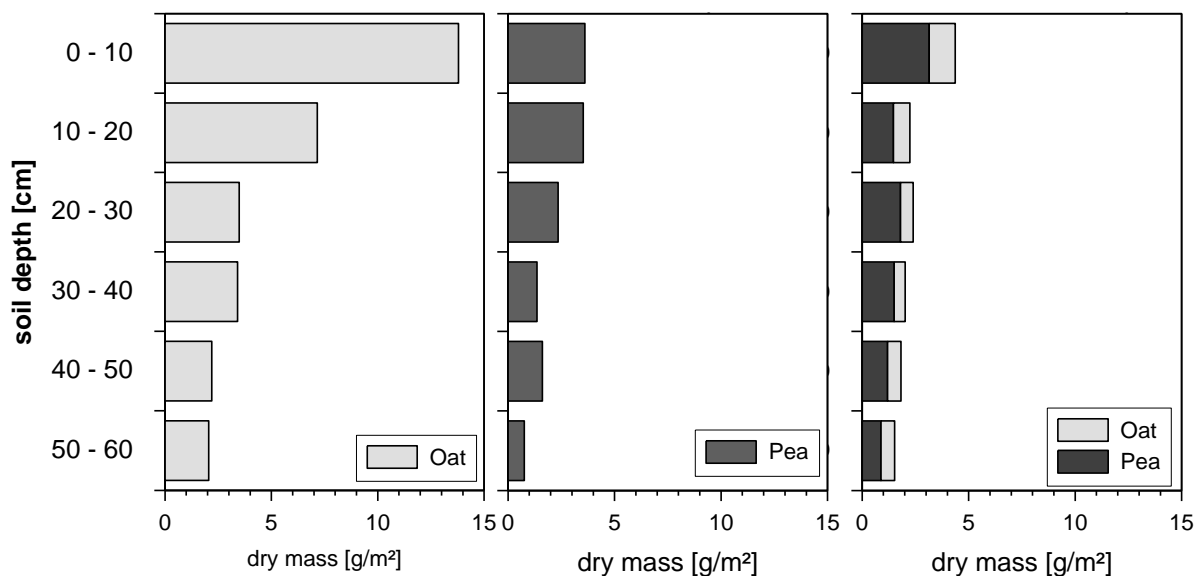
Das kreuzvalidierte Modell zeigte mit 3,49 einen geringen Kreuzvalidierungs-Fehlerwert (RMSECV) und ein hohes Bestimmtheitsmaß mit  $r^2=98,5$  (Tab.1).

**Tab. 1:** Kalibrations-, Validations- und externe Validations-Parameter des FTIR-ATR-Modells für Erbsen und Hafer. Die Modellqualität ist 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 ( $r$ ) sowie den mittleren Vorhersagefehler (RMSEP) gekennzeichnet. Die Spektren ( $n=30$ ) wurden vektornormalisiert und die Wellenzahl-Bereiche 2549-2186 und 1825-1098 für das Modell berücksichtigt.

Modell	Kalibration			Validation				externe Validation			
	n	R <sup>2</sup>	RMSEE	R <sup>2</sup>	RMSECV	Bias	RPD	r	RMSEP	RPD	Bias
Erbse-Hafer	30	98,9	3,05	98,5	3,49	0,04	8,19	0,98	4,54	7,18	±0,37

Auch die externe Validierung weist einen geringen mittleren Vorhersagefehler (4,54) und einen hohen Korrelationskoeffizienten ( $r=0,98$ ) auf. Dieses Modell wurde zur Prognostizierung der Artenanteile in den Wurzelproben (0-60 cm Bodentiefe) des Gemenges benutzt.

Im den zwei obersten Bodenhorizonten (0-20 cm) bildet der Hafer in den Reinsaaten mit  $13,8 \text{ g/m}^2$  die höchste Wurzel trockenmasse. Mit zunehmender Bodentiefe nehmen die Wurzelmassen besonders in der Hafer-Reinsaat ab (Abb. 1). Im Gemenge zwischen den Saatzeilen teilen sich Erbsen- und Haferwurzeln den Bodenraum, wobei die Erbsenwurzeln mit 58-75 % den Wurzelraum dominieren. Haferwurzeln sind mit 35 % im 10-20 cm Horizont zu finden und vergrößern ihren Anteil im 50-60 cm Horizont auf 42 %.



**Abb. 1:** Wurzel trockenmasse (dry mass) in  $\text{g/m}^2$  in Erbsen- und Hafer-Reinsaat und einem Erbsen-Hafer-Gemenge. Dargestellt ist die Trockenmasse des Hafers (Oat), der Erbse (Pea) und des Gemenges (Oat/Pea) zwischen zwei Saatzeilen.

Durch den additiven Gemengeansatz müssten die Wurzelmassen im Gemenge prozentual höher liegen als in den Reinsaaten. Die Erbsenwurzeln zeigen im Gemenge jedoch mit  $10 \text{ g/m}^2$  geringere Massen als in der Reinsaat mit  $13 \text{ g/m}^2$ . Im Vergleich zur Reinsaat bildet der Hafer nur eine Wurzelmasse von 13,7 % verglichen mit der Wurzelmasse in der Reinsaat.

Mit Hilfe der FTIR-Spektroskopie können Pflanzenwurzeln in einem Gemenge in ihrer räumlichen und zeitlichen Verteilung erfasst werden. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Methode ein vielversprechendes Hilfsmittel bei der Analyse von Wurzelinteraktion im Gemenge sein kann. Es bleibt zu untersuchen inwieweit Gemenge auf der Basis des Wurzelwachstums, das die Komponenten im Gemenge aufweisen, optimiert werden können.

Die FTIR-Spektroskopie ist nicht auf zwei Pflanzenarten beschränkt. Die Methode bietet somit auch eine Perspektive für die Erforschung von Mehr-Art-Gemengen oder Kulturpflanze-Unkräuter-Interaktionen im Boden.

## 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.

# **Anforderungen an eine nachhaltige Bewirtschaftung von Böden hinsichtlich ihrer Bodenfruchtbarkeit und der Nährstoffe C, N, P, S vor dem Hintergrund aktueller nichtnachhaltiger Situationen**

Klaus Isermann<sup>1</sup> und Renate Isermann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Büro für Nachhaltige Ernährung, Landnutzung und Kultur (BNELK), D 67374 Hanhofen. E-Mail: isermann.bnla@t-online.de

## **Einleitung**

Die Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit der Böden ergibt sich aus den folgenden 10 Hauptbedrohungen der Böden hinsichtlich:

A) Bodenchemie: 1. Organische Bodensubstanz (OBS, Humus), 2. Eutrophierung, 3. Versauerung, 4. Versalzung, 5. Kontamination; B) Bodenphysik: 6. Versiegelung, 7. Verdichtung, 8. Erosion und Sedimentation im Übermaß, 9. Überflutung und Erdbeben sowie C) Bodenbiologie: 10. Bodenbiodiversität. 7 dieser Hauptbedrohungen (1.-4., 8.-10.) werden durch Klimawandel noch gesteigert. Mit Ausnahme von Versiegelung werden 9 dieser 10 Hauptbedrohungen überwiegend durch die Systeme Ernährung von Landwirtschaft, Humanernährung, entsprechender Abwasser- und Abfallwirtschaft sowie durch Bioenergie-Gewinnung und – Verwendung verursacht, hier insbesondere durch Emissionen bzw. Deposition reaktiver C-, N-, P-, S-Verbindungen, auch durch entsprechende Emissionen der Böden. Diese sind also durch nichtnachhaltige Bodenbewirtschaftung zugleich Verursacher und Betroffene, insbesondere hinsichtlich der Gefährdung ihrer Fruchtbarkeit. Bodenfruchtbarkeit ist also nicht nur der Wirkungsanteil der Böden am Ertrag von Biomasse mit der Zielsetzung Effizienz, hier hinsichtlich der Nährstoffe C, N, P, S, sondern zugleich die Erfüllung bedarfsorientierter Konsumtion und entsprechender Produktion (Suffizienz) unter Bewahrung der Umwelt (Konsistenz), hier hinsichtlich der Emission bzw. Deposition reaktiver C-, N-, P-, S-Verbindungen. Zentrale Bedeutung kommen hierbei der OBS („Humus“) und dementsprechend definierten optimalen Humuszuständen zu. Deshalb werden hier durch konstruktive Kritik am VDLUFA-Entwurf „Humusbilanzierung“ (2012) [HB 2012] die Anforderungen an eine nachhaltige Humusbewirtschaftung des Näheren betrachtet.

## **Material und Methoden**

Ausweisung optimaler Humuszustände landwirtschaftlich genutzter Böden zugleich aus ökonomischer, ökologischer und sozialer, also aus insgesamt nachhaltiger Sicht sowie deren Erhalt durch entsprechende Humusbilanzierung.

## **Ergebnisse und Diskussion**

**1. Ökonomische Anforderungen:** Optimaler Humuszustände beinhalten ebensolche Humus-Gehalte und –Mächtigkeiten, somit Humusmengen, Humus-Qualitäten (z.B. C/N/P/S-Verhältnisse) sowie Humus-Formen. Inzwischen von deren Ausweisung abgekommen, bilanziert die HB (2012) nur noch „optimale“ Humussalden, bewirkt durch kombinierte organische und mineralische Düngung fatalerweise auf der Grundlage (immer noch) des politisch vorgegebenen Zieles der Ertragsmaximierung, die nicht nur der C-, N-, P-, S-Effizienz, sondern auch dem Umweltschutz abträglich sind → C-, N-, P-, S-Kaskaden. Dementsprechend wird bei

der HB (2012) ausgerechnet auf die extrem umweltunverträglichen Vorgaben der DÜV (2007) verwiesen: „Zu optimalen Humuszuständen liefert die Humusbilanz keine quantitativen Aussagen. Die Entscheidung darüber, ob bei einer Humusversorgung von einer Umweltbelastung und unproduktiven N- (aber auch C-, P-, S-)Mineralisierung auszugehen ist, kann daher nur aus den Ergebnissen der Düngeverordnung abgeleitet werden“. Damit dient die HB 2012 vorwiegend der Cross Compliance der EU und den damit verborgenen Subventionen bei Erfüllung entsprechender „Minimalwerte“.

**2. Ökologische Anforderungen:** Die o.e. „ökonomisch optimalen“ (meist nur) Humusgehalte sind aber ökologisch nicht zu tolerieren: Bereits die Basisemissionen der Böden ohne N- bzw. P-Düngung z.B. von  $\text{NO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  sowie (an-)org P sind um ein mehrfaches höher als deren kritischen Konzentrationen und Frachten entsprechend den 2fachen natürlichen Hintergrundwerten. So bewirken z.B. zunehmende Tongehalte und dementsprechend erhöhte Humusgehalte bei tonhaltigen Böden höhere N-Auswaschungen als bei Sandböden. –Auf die Exzesse und extreme Gefährdung der OBS durch Moorkultivierung und Grünland-Umbruch, zudem intensiviert jeweils durch Energiepflanzenanbau, geht die HB (2012) bewusst nicht ein: Diese Landnutzungsänderungen bewirken u.a. eine zusätzliche N-Mineralisierung (-Anlieferung), bezogen auf die gesamte LF von Deutschland und somit eine Erhöhung des N-Saldos um 18,7 bzw. 26,3 also insgesamt von 45 kg N/ha · a (!). Auch deshalb sind die Renaturierung der Moore bzw. die Trendumkehr beim Grünland-Umbruch (Ackerland => Grünland) unabdingbar.

**3. Soziale Anforderungen:** Die auch mit viel zu hohen Humusmengen und deren viel zu engen C-/ N-/ P-Verhältnissen bewirkten Erträge insbes. an Futtermitteln und tierischer Produktion erlauben, angepasst an bedarfsorientierte Humanernährung deren Reduktion in der EU-27 um 50-70%. Auch dies bleibt bei der HB (2012) unberücksichtigt. - Doch den o.e. Anforderungen nach wie vor entgegenstehend belegen die aktuellen Emissionsinventare z.B. von Deutschland [z.B. Treibhausinventar 1990/2009 des UBA (2011), Inventar gasförmiger Emissionen aus der Landwirtschaft des VTI (2011), zit. in BNELK /LUBW-Studie 2012], aber auch der EU-27, dass, gemessen an den kritischen Eintragsraten und –Konzentrationen in die naturnahen Ökosysteme, jene Emissionen an reaktivem C, N, P, (S) 3-5fach zu hoch sind bei, gemessen am Bedarf, zugleich 2-3fach zu hoher Tier- und Futtermittelproduktion. Demzufolge stellen diese Emissionen die Ursachen für die o.e. 9 Hauptbedrohungen der Böden und ihrer Fruchtbarkeit dar. Diese machen bis spätestens 2020 eine Emissionsminderung von -60 bis -80% not-wendig. Entsprechende Lösungsansätze belegen, dass diese Emissionseinschränkungen in erster Linie nur durch Suffizienz, d.h. nur noch bedarfsorientierte Konsumtion und Produktion an Biomasse (insbes. Tierbestände) erreichbar sind und technische Minderungsmaßnahmen hierbei nur noch flankierend wirksam sein können. Das gilt gleichermaßen aus nationaler, internationaler (EU-27) wie auch aus globaler Sicht.

## Literatur

BNELK-/ LUBW-Studie 2012: Aktualisierung von Emissionsfaktoren von gas- und partikelförmigen Emissionen aus biogenen Quellen in Baden-Württemberg und Deutschland im Bezugsjahr 2009. 15 S. mit 79 Tab. und 15 Abbildungen

VDLUFA-Entwurf 2012: Humusbilanzierung: Eine Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. 14 S.

## Beziehung zwischen Bodenorganismen und organischem Kohlenstoff in sandigen Böden

Monika Joschko<sup>1</sup>, Jutta Rogasik<sup>2</sup>, Uwe Franko<sup>3</sup>, Katrin Kuka<sup>3,1</sup>, Juergen Reinhold<sup>4</sup>, Catherine A. Fox<sup>5</sup>, Dietmar Barkusky<sup>6</sup> und Felix Gerlach<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Institut für Landschaftsbiogeochemie, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg, <sup>2</sup>Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Julius-Kühn-Institut, Braunschweig, <sup>3</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig, <sup>4</sup>Stahnsdorf, <sup>5</sup>Agriculture and Agri-Food Canada, Research Branch - GPCRC, Harrow, Ontario, Canada, <sup>6</sup>Forschungsstation Standort Müncheberg, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg <sup>7</sup>Komturei Lietzen, Lietzen Nord. E-Mail: mjoschko@zalf.de

### Einleitung

Für die Abschätzung des Einflusses globaler Veränderungen auf die Bodenfruchtbarkeit werden Indikatoren benötigt, die das Ausmaß und die Richtung möglicher Veränderungen anzeigen. Sowohl der organische Kohlenstoff als auch Bodenorganismen sind wichtige Träger der Bodenfruchtbarkeit und daher geeignete Indikatoren. Weiterer Aufschluss über den Zustand des Systems ist von einer Kopplung beider Messgrößen zu erwarten.

Die Beziehung zwischen dem organischen Kohlenstoff im Boden und Bodenorganismen ist eng und in zwei Richtungen wirksam. Durch die Tätigkeit der heterotrophen Bodenorganismen wird die organische Primärschubstanz, die den Bodenorganismen als Nahrungsquelle dient, in den Boden integriert. Der Corg-Gehalt des Bodens wurde deshalb in vielen Freilanduntersuchungen als wichtiger Prädiktor für die biologische Aktivität im Boden identifiziert. Neue Arbeiten zeigen, wie Bodenorganismen über die Gefügebildung direkt Einfluss auf die C-Dynamik im Boden ausüben können (Kuka 2005).

Ziel des Beitrags ist es, die Analyse der Beziehung zwischen organischen Kohlenstoffpools und Bodentierabundanz auf sandigen Böden vorzustellen. Die Untersuchungen wurden unter Praxisbedingungen durchgeführt. Dies ermöglicht die Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Landwirtschaft.

### Material und Methoden

Seit 1996 wird in der Komturei Lietzen (Märkisch-Oderland) ein 74ha-Schlag (Fahlerde aus Geschiebedecksand über Moränenlehm) teils konventionell (Pflug), teils reduziert (Exaktgrubber) bewirtschaftet. Die Fruchtfolge seit 1996 ist getreidedominiert. Das Stroh verbleibt auf dem Feld. In den Jahren 2005 und 2007 wurde zusätzlich eine Seeschlammdüngung durchgeführt. Die Mittlere Jahrestemperatur beträgt 9.6 °C und der mittlere jährliche Jahresniederschlag 560 mm (1996-2008).

An 42 Parzellen, welche entlang von 4 Transekten in Bearbeitungsrichtung angeordnet sind, wurden regelmäßig die folgenden Parameter untersucht: Besatzdichte, Biomasse und Artenzusammensetzung von Regenwürmern (Handsartierung), Gehalt des Bodens an Corg, Chwl (Körschens und Schulz 1999), Ertrag (Parzellendrusch). Der leicht umsetzbare, humusreproduktionswirksame Kohlenstoff wurde nach Körschens und Schulz 1999 aus Chwl berechnet. Der in Regenwurmbiomasse festgelegte Kohlenstoff Crw [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ] wurde nach der Formel  $[\text{Frischgewicht} \cdot 0.20 \cdot 0.47]$  berechnet und auf Corg [%] bezogen (vgl. Anderson und

Domsch 1989) kalkuliert. Die Entwicklung der Corg-Gehalte seit 1996 wurde mit Hilfe des Modells CANDY-Carbon Balance (CCB) modelliert (Franko et al. 2011).

### **Ergebnisse und Diskussion**

Seit 1996 nahmen die Corg-Gehalte im Boden sowohl bei konventioneller als auch bei reduzierter Bodenbearbeitung zu. Diese positive Entwicklung der Humusgehalte konnte durch die Humusbilanzierung nach Körschens et al. (2005), welche C-Einträge und C-Verluste durch die angebauten Feldfrüchte bilanziert, nachvollzogen werden (Joschko et al., im Druck). Auf den reduziert bearbeiteten Parzellen stiegen die C-Gehalte stärker an. Die C-Dynamik auf einzelnen Parzellen konnte durch das C-Bilanzmodell CANDY Carbon Balance (CCB) abgebildet werden. Die Regenwurmabundanzen waren bei reduzierter Bodenbearbeitung zwischen 1996 und 2007 ebenfalls erhöht (Joschko et al. 2009).

Zwischen den Parametern Crw und den Kohlenstoffpools Corg und dem humusreproduktionswirksamen Cums im Boden gab es vor allem bei reduzierter Bodenbearbeitung enge Beziehungen, wobei die Beziehung zwischen Crw und Corg enger war als zu Cums. Vermutlich ist für diesen Befund der stärkere Textureinfluss, der bei Corg wirksam ist, verantwortlich. Das Verhältnis zwischen Crw/Corg betrug im Maximaljahr der Regenwurmaktivität (2000) bei konventioneller Bodenbearbeitung im Mittel ca. 1, bei reduzierter Bodenbearbeitung im Mittel ca. 3. Die Erhöhung der Regenwurmbesatzdichten bei reduzierter Bodenbearbeitung ist somit offenbar nicht nur eine Funktion des erhöhten C-Gehaltes im Boden (vgl. Sapkota 2012).

Die Variation zwischen den einzelnen Parzellen war hoch. Während auf einigen Parzellen hohe Regenwurmdichten mit hohen Corg-Gehalten zusammentrafen, waren Corg-Gehalte und Regenwurmabundanzen auf anderen Parzellen nicht korreliert. Daraus folgt, dass auf den untersuchten sandigen Böden von einem fördernden Einfluss der Regenwurmaktivität auf die Corg-Gehalte, welcher prinzipiell über die Gefügebildung möglich wäre (Kuka 2005), nicht immer ausgegangen werden kann.

Reduzierte Bodenbearbeitung fördert die Bodenfruchtbarkeit auch auf sandigen Böden im nordostdeutschen Trockengebiet.

### **Literatur**

- Anderson, T.H., Domsch, K. (1989): Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology Biochemistry* 21, 471-479
- Franko, U., Kolbe, H., Thiel, E., Ließ, E. (2011): Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. *Geoderma* 166, 119-134
- Joschko, M., Gebbers, R., Barkusky, D., Rogasik, J., Höhn, W., Hierold, W., Fox, C. A., Timmer, J. (2009): Location-dependency of earthworm response to reduced tillage on sandy soil. *Soil & Tillage Research* 102: 55-66
- Joschko, M., Barkusky, D., Rogasik, J., Fox, C.A. Rogasik, H., Gellert, R., Buchholz, B., Ellmer, F., Reinhold, J., Gerlach, F. (im Druck): On-farm study of reduced tillage on sandy soil: effects on soil organic carbon dynamic and earthworm abundance. *Archives of Agronomy and Soil Science*
- Körschens, M., Schulz, E. (1999): Die organische Bodensubstanz. Dynamik, Reproduktion, ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte. *UFZ-Bericht* 13, pp.46
- Kuka, K. (2005): Modellierung des Kohlenstoffhaushaltes in Ackerböden auf der Grundlage bodenstrukturabhängiger Umsatzprozesse. Diss. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- Sapkota, T.B. (2012): Conservation tillage impact on soil aggregation, organic matter turnover and biodiversity. In: E. Lichtfouse (ed.), *Organic Fertilisation, Soil Quality and Human Health, Sustainable Agriculture Reviews* 9, 141-160

## **Einfluss von Erosion auf den Bodenkohlenstoffhaushalt in einer glazial geprägten Landschaft NO-Deutschlands**

U. Hagemann<sup>1</sup>, M. Pohl<sup>1</sup>, M. Sommer<sup>2</sup> und J. Augustin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Landschaftsbiogeochemie, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg; <sup>2</sup>Institut für Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg, Stadt. E-Mail: ulrike.hagemann@zalf.de

### **Einleitung**

Die von ackerbaulicher Nutzung dominierten hügeligen Jungmoränenlandschaften der Uckermark unterliegen ausgeprägten Erosions- und Depositionsprozessen. Ähnlich wie in anderen Regionen Deutschlands hat dort in den letzten Jahren der Anbau von Energiepflanzen zur Erzeugung von Biogas stark zugenommen. Durch den intensiven Anbau von Pflanzen wie z.B. Energiemais können topographisch bedingte Erosionsprozesse weiter verstärkt werden, mit bislang nicht eindeutig bekannten Auswirkungen auf den Boden-Kohlenstoff (C)-Haushalt.

Durch den erosionsbedingten Abtrag des Oberbodens können Rohböden entstehen, die sich möglicherweise durch eine verstärkte Boden-C-Speicherfähigkeit auszeichnen. Die Deposition des erodierten Materials an anderer Stelle führt dort zu einer Anreicherung an essentiellen Nährstoffen und organischem Material, u.U. mit nachfolgend erhöhten Boden-C-Verlusten (Behre et al. 2007). Erste Studien zeigen, dass auf Depositionsflächen auch verstärkte N<sub>2</sub>O-Emissionen zu erwarten sind (Vilain et al. 2010).

Durch die Quantifizierung des jährlichen Treibhausgasausstauschs können die Auswirkungen der erosionsinduzierten Standorte auf den Bodenkohlenstoffvorrat und die Klimawirkung eingeschätzt werden. Seit 2010 werden daher auf der eigens für diesen Zweck nahe Prenzlau eingerichteten CarboZALF-D Experimentalfläche im Rahmen des interdisziplinären CarboZALF-Querschnittsprojekts Treibhausgasmessungen durchgeführt. Die Versuchsfläche weist auf engstem Raum unterschiedliche Bodentypen auf und ist damit repräsentativ für die glazial geprägte und landwirtschaftlich genutzte Landschaft des nordostdeutschen Tieflands (Jahresmitteltemperatur 9 °C, Jahresniederschlag 480 mm).

### **Material und Methoden**

Der Austausch von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O unter Mais (Sorte: ES Alanis; 100% mineralische Düngung) wurde von 05/2010–04/2012 auf vier Standorten mit unterschiedlichen Erosionszuständen erfasst: i) Parabraunerde, ii) erodierte Parabraunerde, iii) Kolluvisol und iv) Pararendzina. CO<sub>2</sub>-Austauschraten wurden alle 3-4 Wochen in ganztägigen Kampagnen mit *non-flow-through non-steady-state* Haubenmesstechnik erfasst und auf Basis kontinuierlich gemessener Bodentemperaturen (Ökosystematmung; R<sub>eco</sub>) bzw. photosynthetisch aktiver Strahlung (Brutto-Primärproduktion; BPP) und abgeleitet aus R<sub>eco</sub> und BPP nachfolgend der Netto-Ökosystemaustausch (NEE) halbstündlich im Jahresverlauf modelliert (Drösler 2005). Aktuelle CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Flüsse wurden mit statischen Messkammern 2-wöchentlich gemessen (Gaschromatographie) und zwischen den Messkampagnen linear interpoliert.

## Ergebnisse und Diskussion

Die gemessenen CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Flüsse variierten z.T. erheblich zwischen den unterschiedlich stark erodierten Standorten. Obwohl die kumulativen N<sub>2</sub>O-Emissionen auf dem sandigen Boden im Allgemeinen recht gering waren, wies der Kolluvisol mit kumulativen N<sub>2</sub>O-Emissionen von 8.6 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> deutlich höhere Werte als die anderen Bodentypen auf. Ein Teil der hohen räumlichen Variabilität von N<sub>2</sub>O-Emissionen kann somit auf die Deposition von erodiertem Oberbodenmaterial zurückgeführt werden. Im Vergleich zeigte der Kolluvisol auch die höchste Aufnahme von CH<sub>4</sub> (-0.9 kg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Bei Betrachtung der Jahres-C-Bilanzen ist jedoch der CH<sub>4</sub>-Austausch im Vergleich zum CO<sub>2</sub>-Austausch von geringer Bedeutung.

Auch die Gesamtjahreswerte von Ökosystematmung, Bruttoprimärproduktion, Netto-Ökosystemaustausch und C-Export wurden durch Erosion und Deposition beeinflusst (Tab. 1). Alle Bodentypen waren im Jahr 2010/11 leichte C-Senken, mit einer Aufnahme von bis zu 262 g CO<sub>2</sub>-C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. Im Vergleich dazu zeigten die i.d.R. im Sommer meist wasserlimitierten, mehr oder weniger erodierten Bodentypen im feucht-warmen Jahr 2011/12 deutlich höhere BPP und Exporte. Im Gegensatz dazu wies der Kolluvisol im Jahr 2011/12 keine erhöhte BPP auf. Aufgrund der höheren Sommertemperaturen fiel jedoch auf fast allen Bodentypen auch die Gesamt-Ökosystematmung deutlich höher aus als im Jahr 2010/11. Dementsprechend zeigen vorläufige Bilanzen, dass im Jahr 2011/12 mit Ausnahme der Pararendzina alle Bodentypen C-Quellen waren. Während die Unterschiede der Gesamt-C-Bilanzen bei durchschnittlichen Witterungsbedingungen (2010/11) gering ausfielen, scheinen Extremjahre wie 2011/12 existierende Unterschiede zwischen den unterschiedlich stark erodierten Bodentypen zu verstärken.

**Tab. 1:** Jahreswerte für Ökosystematmung (R<sub>eco</sub>), Bruttoprimärproduktion (BPP), Netto-Ökosystemaustausch (NEE), Export, CH<sub>4</sub> und C-Bilanz in g CO<sub>2</sub>-C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>.

Bodentyp	05/2010-04/2011						05/2011-04/2012*					
	R <sub>eco</sub>	BPP	NEE	Export	CH <sub>4</sub> -C	Bilanz	R <sub>eco</sub>	BPP	NEE	Export	CH <sub>4</sub> -C	Bilanz
Parabraunderde	1092	-2079	-987	726	0,01	<b>-262</b>	1806	-2904	-1098	1248	n.v. <sup>#</sup>	<b>150</b>
Erod. Para-BE	1002	-1787	-786	661	-0,03	<b>-125</b>	1770	-2232	-462	1185	n.v.	<b>723</b>
Pararendzina	1230	-1888	-659	541	-0,04	<b>-117</b>	1201	-2343	-1141	848	n.v.	<b>-293</b>
Kolluvisol	1238	-2047	-809	747	-0,09	<b>-62</b>	1483	-1935	-453	965	n.v.	<b>512</b>

\* vorläufige Werte

<sup>#</sup> Werte liegen noch nicht vor

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, i) dass der Anbau von Mais demnach nicht zwingend mit einem Verlust an organischer Bodensubstanz verbunden ist und ii) dass die hohe räumliche Variabilität von Gasflüssen auf Landschaftsebene teilweise auf landschaftsprägende Erosionsprozesse zurückgeführt werden kann. Interannuelle Witterungsunterschiede haben einen deutlichen Einfluss auf den Spurengasaustausch, so dass Langzeitversuche wie CarboZALF-D essentiell für die Charakterisierung des C-Haushalts von Agrarlandschaften sind.

## Literatur

Behre, A.A.; J. Harte; J.W. Harden und M.S. Torn 2007: The significance of the erosion-induced terrestrial carbon sink. *BioScience* 57(4): 337-346.

Drösler, M. 2005: Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, Southern Germany. Dissertation, TU München. München.

Vilain, G.; J. Garnier; G. Tallec und P. Cellier 2010: Effect of slope position and land use on nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions (Seine Basin, France). *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 1192-120



## **Bodenverdichtung vermeiden – Verbessert konservierende Bodenbearbeitung die Bodenkennwerte?**

Thomas Weyer<sup>1</sup>, Kerstin Wedlich<sup>1</sup>, Simone Kempken<sup>1</sup>, Christa Zielinski<sup>1</sup>, Anna Schumacher<sup>1</sup>, Benedikt Blum<sup>1</sup>, Alae El Jellouli<sup>1</sup> und Matthias Westerschulte<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachhochschule Südwestfalen, Agrarwirtschaft, Soest; E-Mail: weyer@fh-swf.de

### **Einleitung**

Eine nachhaltige sowie bodenfruchtbarkeitsfördernde Bewirtschaftung des begrenzten Produktionsfaktors Boden kann nur durch eine genaue Ermittlung des Bodengefüges erfolgen. Dies wurde anhand des „Bestimmungsschlüssels zur Erkennung und Bewertung von Bodenschadverdichtungen“ nach Weyer und Boeddinghaus (2009), auf dem Versuchsstandort Merklingsen 2011 (Soester Börde) mit speziellem Hinblick auf Pflug-, Mulch- und Direktsaat untersucht.

### **Material und Methoden**

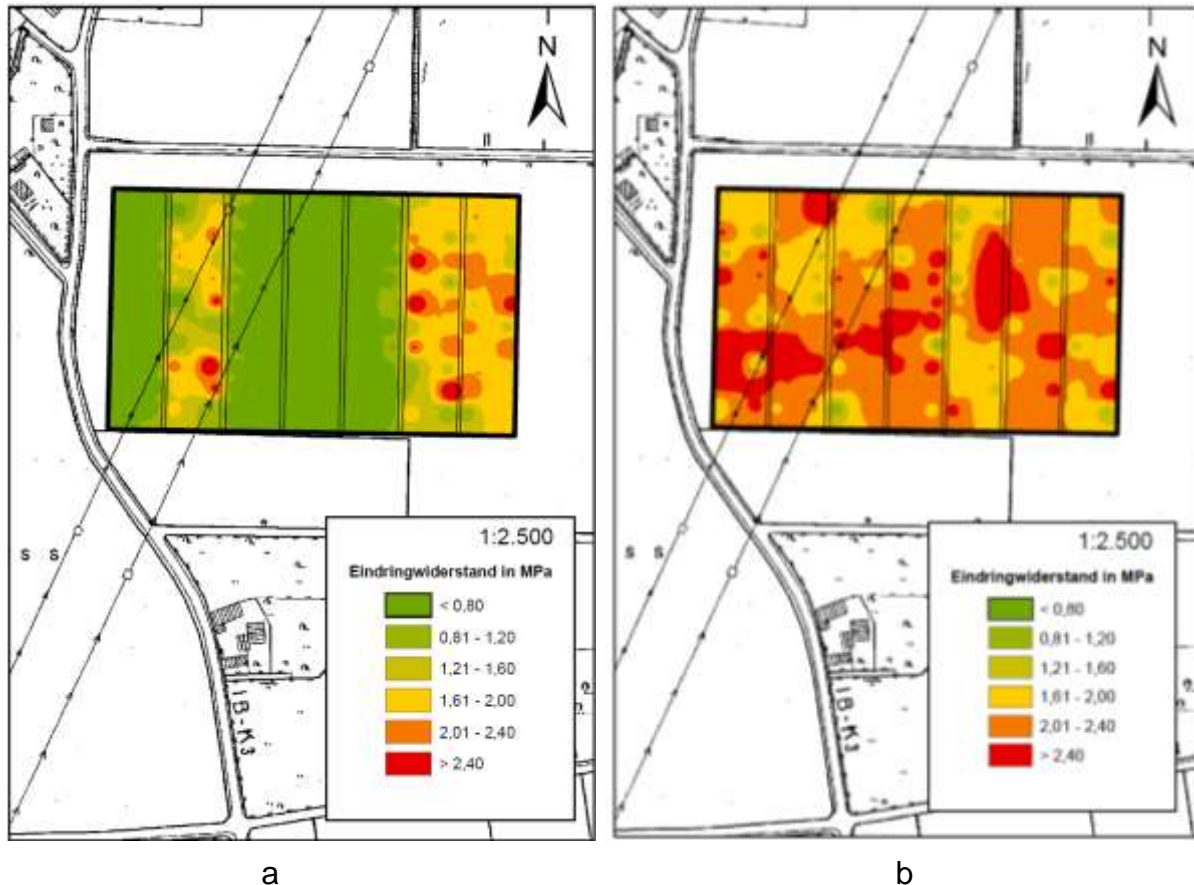
Das Versuchsgut hat eine Gesamtfläche von 82ha (Höhenlage 80 m über N. N., Jahresniederschlag 750 mm, Jahresdurchschnittstemperatur 9°C). Bei der Bodenart im Oberboden handelt es sich um Ut2 mit 87% Schluff, 2% Sand und 11% Ton.

Auf jeweils 3 Boniturstandorten der Versuchsflächen „Fobo“ und „Goldacker“ wurden Bodenmonolithe mit einem Spaten entnommen. Die Analyse des Verdichtungsstatus erfolgte anhand von vier Schritten (Feldbegehung, Felddiagnose mit dem Spaten sowie per Fallprobe und Grubenwanduntersuchungen) bis zu einer Tiefe von 30 cm mithilfe von: Spaten, Taschenmesser, Zollstock/Metermaß und einer Handsonde. Die Bodenkennwerte wurden anhand folgender 11 Kriterien (siehe Tabelle 1) beurteilt. Zusätzlich wurde unter Verwendung eines Penetrologgers der Eindringwiderstand flächenbezogen gemessen und in 3 Tiefen (10-15 cm, 30-40 cm und 50-55 cm) ausgewertet.

**Tab. 1:** Erhebung diagnostischer Bodenmerkmale im Feld

Parameter	Faktor		Stufe		Summe
Bodenoberfläche	1	x	1	=	1
Eindringwiderstand	3	x	1	=	3
Wurzelwachstum	5	x	1	=	5
Bodenaufbau	3	x	3	=	9
Rottezustand	4	x	2	=	8
Bodenfarbe	3	x	2	=	6
Bodengeruch	2	x	1	=	2
Bodengefüge	5	x	1	=	5
Verfestigungsgrad	4	x	1	=	4
Lagerungsdichte	2	x	2	=	4
Makroporenanteil	5	x	1	=	5
<b>Gesamtsumme</b>					<b>52</b>

In einer weiteren Untersuchung wurden die in 1995 erhobenen Humusgehalte mit denen in 2011 nach 16 Jahren pflugloser Bewirtschaftung verglichen sowie eine einfache Regenwurmzählung im Oberboden nach Thielemann (1986) durchgeführt. Anschließend wurden die Bewertungssumme der Bodenkennwerte, der Humusgehalt und die Eindringwiderstände mit ArcGis 10 graphisch dargestellt.



**Abb. 1:** Eindringwiderstände der Versuchsfläche „Fobo“ (in MPa)  
a) 10-15 cm und b) 30-40 cm

### Ergebnisse und Diskussion

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass in den Oberböden (10-15 cm) die Dichtlagerung des Bodens mit reduzierter Bodenbearbeitung tendenziell ansteigt (Abb. 1a). Bewirtschaftungsbedingte Verdichtungen aus früherer Bewirtschaftung, insbesondere der sogenannten Pflugsohle, konnten nach 16 Jahren pflugloser Bearbeitung nicht verbessert werden (Abb.1b). Weitere Ergebnisse wie z.B. vergleichende Humusgehalte der Versuchsflächen von 1995 und 2011 und Regenwurmzählungen auf den Flächen werden im Vortrag präsentiert.

### Literatur

- Thielemann, U. 1986: The Octet-Method for Sampling Earthworm Populations. *Pedobiologia* 29
- Weyer, Th. und R. Boeddinghaus (2009): Bodenverdichtungen vermeiden, Bodenfruchtbarkeit erhalten und wiederherstellen. MUNLV, Düsseldorf

## Erfassung und Modellierung der Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten

Daniel Amthauer Gallardo<sup>1</sup> und Heinz Röhle<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo) e.V., Witzenhausen; <sup>2</sup>Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik, Technische Universität Dresden, E-Mail: d.amthauer@hero-hessen.de

### Einleitung

Als Beitrag zum Klimaschutz hat sich die Bundesrepublik Deutschland das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2020 den Ausstoß von Treibhausgasen im Vergleich zu 1990 um 40 Prozent zu reduzieren. Dies soll durch die Substitution fossiler Rohstoffe durch erneuerbare Energien erfolgen. Für das Erreichen dieses Ziels, besonders bei der Wärmebereitstellung, gilt der Anbau von schnell wachsenden Gehölzen auf Ackerflächen mit Maximalerträgen des durchschnittlichen Gesamtzuwachses an Trockenbiomasse (dGZ) von bis zu  $20 \text{ t}_{(\text{atro})} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Röhle et al., 2005) als einer der Hoffnungsträger unter den nachwachsenden Rohstoffen. Während in der Vergangenheit wichtige Fragenstellungen wie die der Sorteneignung, der Flächenanlage (u. a. Unkrautbekämpfung, Pflanzbeetvorbereitung) sowie der Ernte weitgehend geklärt werden konnten, sind auf Basis der derzeit vorliegenden Informationen keine bundesweit gesicherten Ertragsprognosen möglich. Dieser Fragenstellung widmet sich das Verbundvorhaben „ProLoc“. Die Projektziele sind 1) die Identifizierung der ertragsbestimmenden Standorteigenschaften und 2) die Entwicklung standortsbasierter Ertragsmodelle.

### Material und Methoden

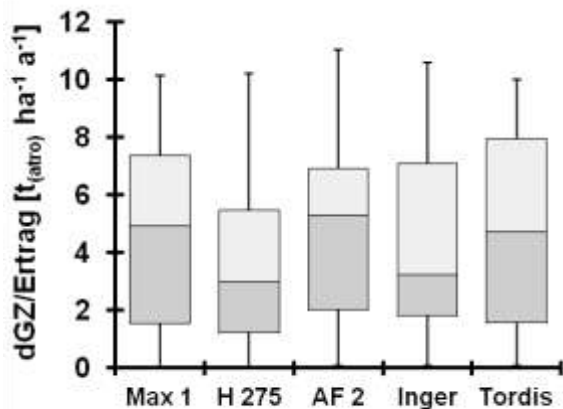
Im Jahr 2008 wurden 38 Versuchsflächen mit jeweils drei Pappel- und zwei Weidensorten im dreijährigen Umtrieb, verteilt über das gesamte Bundesgebiet, angelegt. Als Prüfglieder im Versuch sind wachstumsstarke Pappelhybriden (*P. nigra* x *P. maximowiczii*: Max 1, *P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*: Hybride 275, *P. deltoides* x *P. nigra*: AF 2) sowie Weidenhybriden schwedischer Züchtung (*S. triandra* x *S. viminalis*: Inger, (*S. viminalis* x *S. schwerinii*) x *S. viminalis*: Tordis) verwendet worden. Aufnahmen zum Zuwachs (Durchmesser, Höhe) sind im jährlichen Turnus durchgeführt worden, die erste Ernte erfolgte nach drei Jahren. Zur Identifizierung der ertragsbestimmenden Standorteigenschaften sind zunächst relevante bodenkundliche Parameter wie Körnung, Trockenrohdichte, nutzbare Feldkapazität (nFK) und Luftkapazität (LK),



**Abb. 1:** Lage der Versuchsflächen

Kenndaten der Reichsbodenschätzung sowie Niederschlags- und Temperaturdaten ermittelt bzw. aufgenommen worden. Im vorliegenden Beitrag sollen die Ergebnisse der ersten Rotation mit dreijähriger Beobachtungszeit präsentiert werden.

## Ergebnisse und Diskussion



**Abb. 2:** dGZ der fünf Prüfglieder über alle Standorte (Median, oberes und unteres Quartil, Maximum und Minimum,  $n=33$ )

**Tab. 1:** Bestkorrelierte Variable mit dem dGZ bei verschiedenen Bodenartcluster für die Gattung Pappel und Weide

Bodenart cluster	Pappel		Weide	
	Größe	R	Größe	R
ALL	nFK	<u>.418**</u>	nFK	<u>.574**</u>
S	Sand	<u>-.825**</u>	Sand	<u>-.808**</u>
L	nFK	<u>.807**</u>	nFK	<u>.852**</u>
U	BZ	<u>.616*</u>	BZ	0,61
LU	Schluff	<u>.658**</u>	Schluff	<u>.784**</u>

der R-Wert der Korrelation zwischen nFK und dGZ 0,81 bei der Pappel und 0,85 bei der Weide. Darüber hinaus sind bei Lehmböden signifikante Beziehungen zwischen dem prozentualen Schluffgehalt, der LK und der Summe aus nFK und LK mit dem dGZ festgestellt worden. Bei den Schluffböden war die Bodenzahl entscheidend. Die Beobachtungen aus dieser Arbeit decken sich weitestgehend mit den von Ali 2009 für Pappel in Sachsen getroffenen Feststellungen. Mithilfe der oben präsentierten Variablen konnten bodenartspezifische Modelle für die Gattungen der Pappel und Weide mit korrigierten  $R^2$  zwischen 0,60 und 0,94 hergeleitet werden.

## Literatur

Röhle, H., Hartmann, K.-U., Steinke, C.; Wolf, H, 2005: Wuchsleistung von Pappel und Weide im Kurzumtrieb. AFZ/Der Wald 60 (14), S. 745 – 747

Ali, W., 2009: Modelling of Biomass Production Potential of Poplar in Short Rotation Plantations on Agricultural Lands of Saxony, Germany

Die Zuwächse zeigten sich erfahrungsgemäß sehr variabel (Abb. 2). Die höchsten Erträge wurden bei anlehmigen Sanden und Schluffstandorten mit Werten bis zu  $11 \text{ t}_{(\text{atro})} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  festgestellt. Die Klone Max 1, AF 2 und der Weidenklon Tordis wiesen signifikant größere Erträge auf als H 275 und Inger. Bei gleichzeitiger Betrachtung aller Standorte wies die nFK die höchsten Korrelationen mit dem dGZ auf (Tab. 1), gefolgt von der Niederschlagssumme des Zeitraums zwischen Juni und Juli ( $R=0,37$  Pappel,  $R=0,38$  Weide). Durch das Clustern der Standorte nach der Hauptbodenart konnten die ertragsbestimmenden Faktoren präziser herausgearbeitet werden: Sandböden wiesen eine starke inverse Korrelation mit dem prozentualen Sandgehalt auf sowie

eine starke Korrelation mit dem mittleren Trockenheitsindex nach de Martonne der Monate Juni und Juli ( $R=0,80$  Pappel,  $R=-0,79$  Weide). Die Weidenklone zeigten zudem eine mäßig hohe inverse Korrelation mit der mittleren Temperatur des Zeitraums zwischen Juli und September. Bei Schluff- und Lehmböden waren keine Klimavariablen mit dem dGZ signifikant korreliert. Vielmehr waren bodenphysikalische Kennwerte die ertragsbestimmenden Größen. So betrug

## Auswirkungen des Anbaus von Kurzumtriebsgehölzen und *Miscanthus* auf den Wasser- und Bodenschutz

K. Stolzenburg<sup>1</sup> und B. Deller<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LTZ Augustenberg, Außenstelle Rheinstetten-Forchheim; <sup>2</sup>LTZ Augustenberg  
E-Mail: Kerstin.Stolzenburg@ltz.bwl.de

### Einleitung

Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) wird als Faserpflanze und Energielieferant in Deutschland seit nunmehr zwanzig Jahren untersucht und hat in Anbau und Nutzung in der Praxis Einzug gehalten. Seine günstigen pflanzenbaulichen Eigenschaften ließen vermuten, in *Miscanthus* zugleich eine ideale Pflanze für Wasserschutzgebiete zu finden. Neben der qualitätsorientierten Rohstoffproduktion standen in einem fünfjährigen Projekt deshalb auch die Auswirkung des Anbaus auf Beschaffenheit, Struktur und Eigenschaften des Bodens, auf die Nitratverlagerung und die sonstigen Einflüsse auf Boden- und Grundwasser im Fokus.

Neben *Miscanthus*beständen wurden in den letzten Jahren zur Wärmeengewinnung verstärkt Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen angelegt. In einer weiteren Untersuchung des LTZ Augustenberg konnte die Entwicklung der Humusvorräte unter mehrjährigen Kulturen nachwachsender Rohstoffe bestimmt werden.

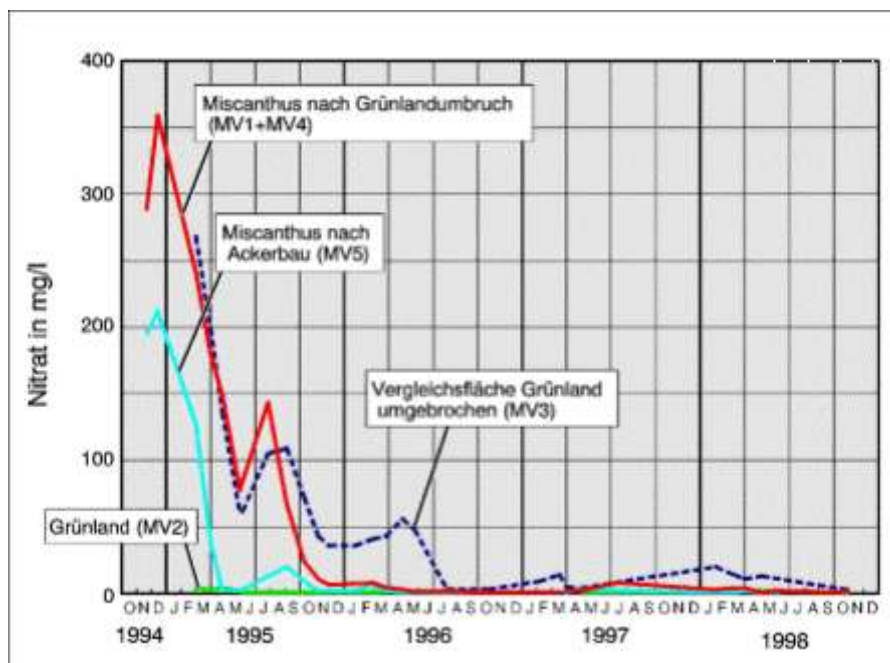
### Material und Methoden

*Miscanthus* wurde im Mai 1994 am Standort Neckarmühlbach in Großparzellen gepflanzt, um im Versuch den praxisnahen Charakter von Untersuchungen und Ergebnissen zu gewährleisten. Für die Gewinnung der Wasserproben zur Nitratuntersuchung wurde vor jedem Entnahmeterrin an Saugkerzen und Probenflaschen ein Unterdruck von 0,6 bis 0,7 bar angelegt. Zum Einsatz kamen Saugkerzen des Typs „Soil Water Sampler BF 167-06“. Von 1996 bis 1998 konzentrierten sich die Bodenuntersuchungen zunehmend auf Rammkernsondierungen, die bis 6 m unter Geländeoberkante gezogen wurden. Insgesamt wurden 31 Rammkernsondierungen durchgeführt. 19 Bohrungen erfolgten auf den fünf *Miscanthus*-Versuchsflächen und 12 Bohrungen auf Vergleichsflächen.

In einer weiteren Untersuchung wurden im Frühjahr 2010 unter 2009 neu gepflanzten bzw. bereits länger auf den Flächen etablierten Kulturen aus unterschiedlichen Bodentiefen Proben gezogen, auf 2 mm gesiebt und der Siebrückstand > 2 mm (Groboden) festgestellt. Am Siebdurchgang wurde der Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) durch Verbrennung nach DIN ISO 10694 bei 550 °C sowie der Gehalt an Gesamt-Stickstoff ( $N_t$ ) nach DIN ISO 13878 bestimmt. Die ermittelten Gehalte dienten unter Berücksichtigung des jeweiligen Feinbodenanteils und unter Annahme von für den Standort zu erwartenden Trockenrohdichten als Berechnungsgrundlage für die Mengen an organischem Kohlenstoff bzw. an Gesamt-Stickstoff. Aus der Differenz der Werte der Flächen mit unterschiedlich langer Versuchslaufzeit wurde auf die C- und N-Menge geschlossen.

## Ergebnisse und Diskussion

In Saugkerzenwässern der Miscanthusflächen nach Grünlandumbruch wurden zu Projektbeginn im Zeitraum November 1994 bis März 1995 infolge der starken Mineralisierung noch hohe Nitratkonzentrationen bis 392 mg/L gemessen (Abb. 1). Korrespondierend mit dem Verlauf der Entwicklung der Nitrat-N-Gehalte des Bodens nahm auch die Nitratkonzentration der Saugkerzenwässer aus Miscanthusflächen in ca. 90 cm Tiefe ab und lag zwischen April 1996 und Oktober 1998 in einem Bereich von etwa 7 mg/L. In diesem Zeitraum konnten zwischen der Nitratkonzentration der beprobten Miscanthusflächen und der Grünlandflächen keine signifikanten Unterschiede mehr festgestellt werden. Für die Miscanthus-Flächen ergaben sich im letzten Projektjahr im gesamten Sickerwasserbereich ähnlich niedrige Nitrat-N-Gehalte wie für extensiv genutztes Grünland. Der Anbau von Miscanthus kann neben der Realisierung hoher Biomasseerträge zugleich eine äußerst grundwasserschonende Landbewirtschaftung darstellen.



**Abb. 1:** Entwicklung der Nitratkonzentration (Quelle: TZW)

Die Umstellung der Ackernutzung von einjährigen Feldfrüchten zu mehrjährigen nachwachsenden Rohstoffen führte zu einer beträchtlichen Anreicherung von  $C_{org}$  im Boden. Kurz- und mittelfristig kann damit das Klimagas  $CO_2$  im Boden gebunden werden. Die  $C_{org}$  - Anreicherung im Boden unter Miscanthus war zugleich mit einem Rückgang an  $N_t$  verbunden, was die Ergebnisse beider Projekte bestätigen.

Unter den KUP-Hölzern (Weiden, Pappeln) war dagegen eine Anreicherung an Gesamt-N zu verzeichnen. Werden KUP-Flächen später wieder in Ackernutzung überführt, muss ggf. mit N-Mineralisierungsschüben gerechnet werden.

## Literatur

Landinfo 3/2011, S. 32 - 37. [https://www.landwirtschaft-](https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1319141/landinfo_Anbau%20von%20Schilfgras%20-%20Stolzenburg.pdf)

[bw.info/servlet/PB/show/1319141/landinfo\\_Anbau%20von%20Schilfgras%20-%20Stolzenburg.pdf](https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1319141/landinfo_Anbau%20von%20Schilfgras%20-%20Stolzenburg.pdf)

Landinfo 3/2011, S. 38 - 41. [\[ender%20Rohstoffe%20-%20Deller.pdf\]\(https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1319153/landinfo\_Humusanreicherung%20unter%20Kulturen%20nachwachs-ender%20Rohstoffe%20-%20Deller.pdf\)](https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1319153/landinfo_Humusanreicherung%20unter%20Kulturen%20nachwachs-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

## **Energiepflanzenanbau in Zweikulturnutzungssystemen zur Biogaserzeugung an sieben Standorten in Deutschland**

Rüdiger Graß, Reinhold Stülpnagel und Michael Wachendorf

Universität Kassel, FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen, grass@wiz.uni-kassel.de

### **Einleitung**

Derzeit dominiert beim Anbau von Pflanzen zur energetischen Verwertung in Biogasanlagen der Silomais, mit dem in herkömmlichen Anbausystemen häufig Umweltgefährdungen und Anbauprobleme wie Bodenerosion und Nährstoffauswaschung verbunden sind. Diese könnten sich bei weiter zunehmendem Maisanbau ebenso wie Probleme zunehmender Schädlinge und Krankheiten verstärken. Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels könnten ebenfalls zur Verstärkung der genannten Probleme sowie zu Ertragseinbußen aufgrund zunehmender Trockenheit beitragen. Diese Entwicklungen wirken sich sowohl ökologisch als auch ökonomisch um so stärker aus, wenn sich auf den Anbau einer Pflanzenart fixiert wird. Daher sind innovative Anbausysteme notwendig, die neben der Erhöhung der Artenvielfalt, der Reduzierung von Bodenerosion und Nährstoffausträgen auch hohe Erträge sowie eine erhöhte Ertragsstabilität beinhalten. Ein solches Anbausystem stellt das an der Universität Kassel-Witzenhausen entwickelte Zweikulturnutzungssystem für den Energiepflanzenanbau dar (Graß und Scheffer, 2005), das den Anbau und die Ernte von zwei Kulturen in einem Jahr bei reduzierter Bodenbearbeitung zu Sommerkulturen beinhaltet. In diesem Anbausystem sind nahezu alle anbauwürdigen Kulturpflanzen nutzbar und können sowohl im Rein- als auch im Misanbau angebaut werden. Dabei sind aber zwischen den verschiedenen Pflanzenarten unterschiedliche Ertragspotenziale zu erwarten.

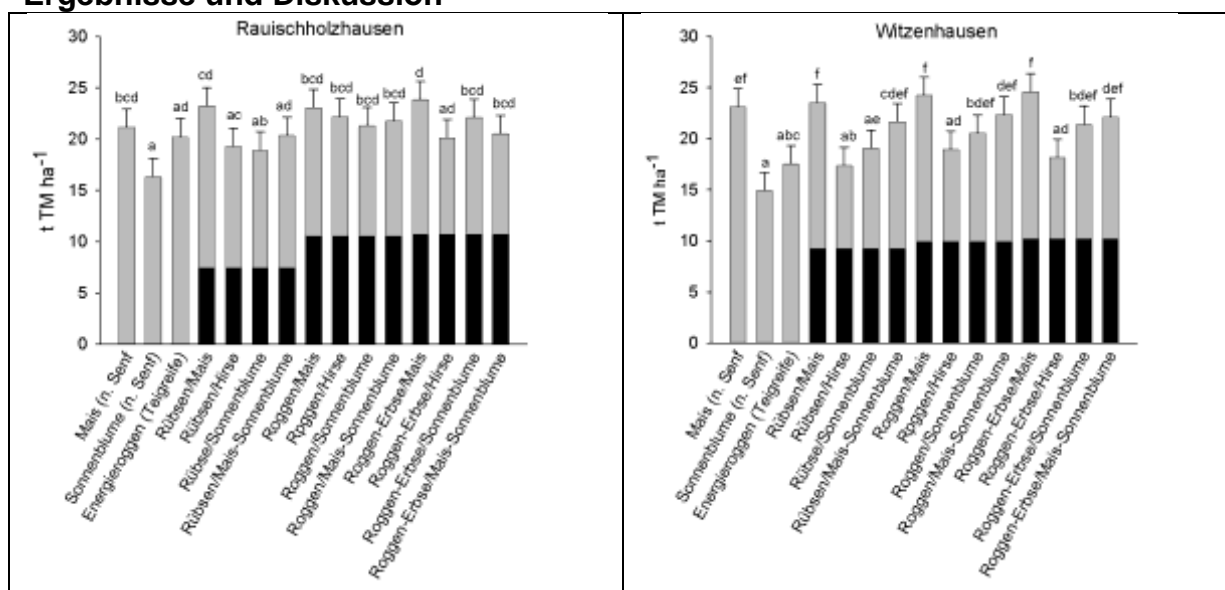
Die Eignung von Anbausystemen ist standortabhängig, da Faktoren wie Niederschlagsmenge, Vegetationsdauer, Bodenqualität, Einstrahlungsaspekte usw. einen großen Einfluss auf Pflanzenwachstum und Ertrag haben. Daher wurden über einen Zeitraum von drei Jahren an sieben Standorten über Deutschland verteilt verschiedene Varianten von Zweikulturnutzungssystemen vergleichend mit herkömmlichen Hauptkultursystemen untersucht und hinsichtlich ihrer Biomasse- und Methanerträge, der Trockenmassegehalte sowie der Ertragsstabilität untersucht.

### **Material und Methoden**

An sieben Standorten in Deutschland (1. Dornburg-Thüringen, 2. Gülzow-Mecklenburg-Vorpommern, 3. Haus Düsse-Nordrhein-Westfalen, 4. Rauischholzhausen-Hessen, 5. Straubing-Bayern, 6. Werlte-Niedersachsen, 7. Witzenhausen-Hessen) wurden in den Erntejahren 2006-2008 drei Hauptkulturvarianten (Mais und Sonnenblumen nach abgefrorenem Senf, Aussaat Ende April sowie Winterroggen als GPS in der Teigreife geerntet) und 12 Zweikulturnutzungssysteme (3 Erstkulturen: Rüben, Roggen, Roggen-Erbsen-Gemenge; je 4 Zweitkulturen: Mais, Hirse, Sonnenblumen, Mais-Sonnenblumen-Gemenge). Der Versuch wurde mit zwei Wiederholungen in einem split-plot Design angelegt, mit den Erstkulturen bzw. der Zwischenfrucht als Großteilstückfaktor und den Zweit- bzw. Hauptkulturen als Kleinteilstückfaktor. Die Düngung erfolgte gemäß

Werten durchschnittlicher Pflanzenentzüge und der ortsüblich empfohlenen Menge der landwirtschaftlichen Beratung.

## Ergebnisse und Diskussion



**Abb. 1:** TM-Erträge verschiedener Energiepflanzenanbausysteme an den Standorten Rauschholzhausen und Witzzenhausen, Mittelwert der Jahre 2006-2008. Unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Varianten ( $p < 0,05$ ).

In Abb. 1 sind beispielhaft die TM-Erträge an den Standorten Rauschholzhausen und Witzzenhausen dargestellt. An allen Standorten wurden die jeweils höchsten TM- und Methan-Erträge bei den Anbausystemen erzielt, in denen Mais angebaut wurde. Dabei lag an fast allen Standorten der Gesamtjahresertrag der Zweikulturnutzungssysteme mit Mais höher als der Maisertrag im Hauptkulturanbau, was aber nur am Standort Gülzow statistisch abgesichert werden konnte. Die anderen Sommerungen erreichten geringere Erträge als der Mais. Die intensive Züchtungsarbeit beim Mais in den letzten Jahrzehnten bewirkt ein höheres Ertragsniveau und ermöglicht die Auswahl standortgerechter Sorten. Bei den Erstkulturen wurden mit Roggen und Roggen-Wintererbsen deutlich höhere Erträge als mit Rübsen erzielt. Der Anteil der Erstkulturen am Gesamtertrag ist an den eher benachteiligten Standorten deutlich höher als an den Gunststandorten, wo die Sommerkulturen höhere Gesamtertragsanteile aufweisen. Insgesamt zeigten die Zweikulturnutzungssysteme an allen Standorten eine höhere Ertragsstabilität als die Hauptkultursysteme. Dieser Faktor gewinnt angesichts der Zunahme von Wetterextremen infolge des Klimawandels an Bedeutung. TM-Gehalte lagen bei Hauptkulturen immer höher als bei den vergleichbaren Zweitkulturen, was z.T. zu Problemen bei der Silierung führen könnte. Hier besteht hinsichtlich der geeigneten Sortenwahl bei späteren Saatterminen weiterer Forschungsbedarf.

Die Untersuchungen wurden durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert.

## Literatur

Graß, R. und K. Scheffer 2005: Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. Natur und Landschaft 9/10, 435-439.



## Züchtung und Vermehrung neuer Fasernesselklone – Ergebnisse aus drei Feldversuchsjahren

Bettina Biskupek-Korell<sup>1</sup>, Holger Fischer<sup>2</sup>, Carmen Knapwost<sup>1</sup>, Carolin Schneider<sup>3</sup>  
und Sven Wartenberg<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Hannover; <sup>2</sup>Faserinstitut Bremen; <sup>3</sup>Institut für Pflanzenkultur, Schnega.  
E-Mail: bettina.biskupek@fh-hannover.de

### Einleitung

Der Fasergehalt technisch genutzter Fasernesselklone liegt mit ca. 15% [TM] deutlich unter den Fasergehalten von Hanf oder Flachs. Als zusätzliches Problem stellt sich die derzeit gängige Praxis der Vermehrung dar, die ausschließlich über Stecklinge erfolgt. Die Ziele zweier durch die FNR und die DBU geförderter Projekte, sind daher die Züchtung neuer, verbesserter Klone mit höheren Fasergehalten und – qualitäten im Vergleich zu den bisher verfügbaren Klonen sowie die Entwicklung einer optimierten Vermehrungsmethode für die Nessel via *in vitro*-Kulturen. Dazu hat das Institut für Pflanzenkultur in Schnega aus Elternklonen des sog. Hamburger Nesselsortiments neue Kreuzungen erstellt und die resultierenden F1-Sämlinge über Stecklinge vermehrt. Von diesen Klonen werden derzeit 200 in einem zweiortigen (Hannover und Schnega) und vierjährigen (2009-2012) Feldversuch getestet.

Hier werden die Ergebnisse aus den ersten drei Anbaujahren beider Standorte dargestellt und über die Jahre verglichen. Außerdem werden die Ergebnisse, die beim Verkapseln von Nodienabschnitten und Sproßspitzen der Fasernessel erzielt werden konnten sowie eine NIRS-Methode zur Schätzung der Reinfasergehalte in Fasernesselstängeln vorgestellt.

### Material und Methoden

#### *Feldversuch:*

An den Standorten Hannover und Schnega wurden 2009 zwei Versuche angelegt. Jedes Frühjahr wurden Bodenproben entnommen,  $N_{\min}$  untersucht und auf einen Wert von 120 kg N/ha aufgedüngt. Bewässerung und mechanische Beikrautbekämpfung fanden an beiden Standorten je nach Bedarf statt. Während der Vegetationsperiode wurden regelmäßig umfangreiche Bonituren durchgeführt. Nach jeder Ernte im Herbst wurde ungeröstetes und geröstetes Stängelmateriale von beiden Standorten zum Faserinstitut gesandt und dort Fasergehalt und -qualität untersucht. Für diese Untersuchungen stand jährlich Material der Elternklone und zusätzlich von 50 (2009), 75 (2010) und 25 (2011) Neuzüchtungen zur Verfügung. Die jährlich zu untersuchenden Neuzüchtungen wurden auf Basis der Bonituren ausgewählt, wobei 25 der Neuzüchtungen konstant über alle drei Jahren untersucht wurden.

#### *Verkapselung:*

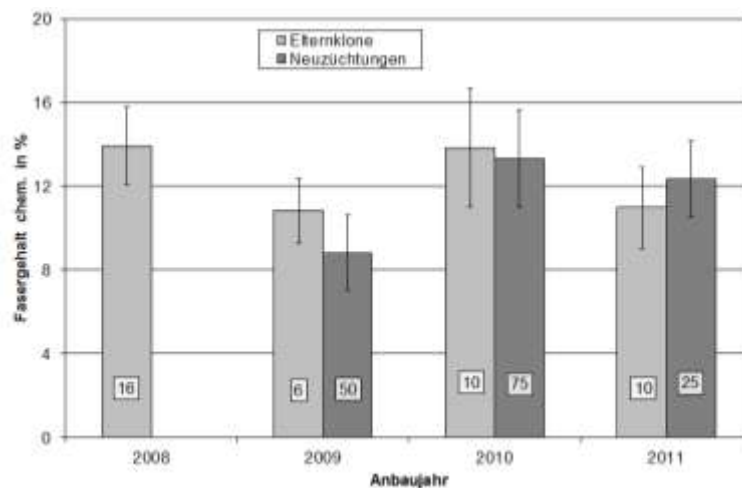
Unter sterilen Bedingungen wurden Nodienabschnitte und Sproßspitzen von Nesselpflanzen aus der *in vitro*-Kultur entnommen. Diese wurden in Alginathohlkugeln eingebracht. Als Tropflösung wurde eine Mischung aus Carboxymethylcellulose und  $CaCl_2$  verwendet (Fiebert, 2001). In dieser befanden sich Nodienabschnitte bzw. Sproßspitzen, die einzeln in Na-Alginat getropft wurden. Die dabei entstehenden Alginathohlkugeln wurden nachvernetzt, gewaschen und auf Sand bzw. Nährmedium aufgebracht.

*NIRS-Schätzmethode:*

Als Ausgangsmaterial diente Material der Elternklone und der Neuzüchtungen, die im Faserinstitut Bremen nasschemisch auf ihren Fasergehalt untersucht worden waren. Die Nesselstängel wurden mit einer Planetenkugelmühle fein vermahlen, NIR-Spektren mit einem FT-NIRS-Spektrometer (MPA, Bruker) aufgenommen und verschiedene Kalibrationsmodelle (Opus Quant) erstellt.

**Ergebnisse und Diskussion***Feldversuch:*

Beim Vergleich der drei Erntejahre wird deutlich, dass die Fasergehalte der untersuchten Neuzüchtungen sich dem Niveau der Elternklone annähern und im Erntejahr 2011 sogar übertreffen (Abb. 1). Im Erntejahr 2011 sind witterungsbedingt geringere Fasergehalte bei allen Klonen zu verzeichnen, dennoch weisen die Neuzüchtungen im Mittel höhere Fasergehalte auf als die Elternklone.



**Abb. 1:** Entwicklung der Fasergehalte verschiedener Nesselklone über die Anbaujahre (2008 Parzellenanbau; ab 2009 Feldanbau); Kästchen: Anzahl Einzelproben; Mittel beider Standorte

*Verkapselung:*

Die Verkapselungsversuche haben gezeigt, dass ein erfolgreiches Einschließen von Nodienabschnitten und Sproßspitzen der Fasernessel in Alginathohlkugeln möglich ist. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Tagungsbandes waren einige Explantate bereits aus den Kugeln gewachsen, die Ergebnisse werden im Vortrag dargestellt.

*NIRS-Schätzmethode:*

Die Ergebnisse der Methodenentwicklung sind vielversprechend. Die aktuell beste Methode zeigt ein  $R^2$  von 92% bei einem mittleren Vorhersagefehler von 0,45 % in der Kreuzvalidation. Mit Proben der Ernte 2011 und 2012 wird das Probenset erweitert, um eine robuste Kalibration zu erhalten.

**Literatur**

FIGERT, A.-K. 2001: Verkapselung von somatischen Embryonen und Sproßspitzen verschiedener Pflanzen zur Produktion von vegetativen Samen. Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmsia zu Braunschweig, Deutschland.

## **Einfluss der Biodiversität auf die Methanausbeuten extensiver Grünlandgesellschaften und deren Kalibration über Nahinfrarotspektroskopie**

Björn Reddersen, Thomas Fricke und Michael Wachendorf

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

### **Einleitung**

Grünlandbiomasse wird bereits dort zur Biogaserzeugung eingesetzt wo Grünlandschnitt standortbedingt ohnehin anfällt und sich eine Biogasanlage in erreichbarer Nähe befindet. Am erfolgreichsten wurde es bisher als Kosubstrat neben Silomais und Gülle zur Biogaserzeugung genutzt. Die Kriterien zur Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage stellen hohe Ansprüche an die Qualität der Substrate in Bezug auf Vergärbarkeit und Fasergehalt. Eine optimale Artenzusammensetzung des Grünlandbestandes für den maximalen Methanertrag sowie eine frühzeitige Bestimmung der Qualitätsparameter über NIR-Spektroskopie ist für eine Optimierung der Anlagensteuerung z.B. über eine geeignete Wahl der Komponenten daher anzustreben. Da bisher noch keine systematische Betrachtung der Beziehungen zwischen den spektralen Signaturen von Silagen botanisch unterschiedlich zusammengesetzter Grünlandbestände und deren Methanbildung existiert, soll diese neben der Betrachtung von Einflüssen der Biodiversität auf die Methanbildung im Rahmen dieses Beitrags erfolgen.

### **Material und Methoden**

Das Ausgangsmaterial für die Gärversuche und die Kalibrationen bilden Silagen aus dem zweischürigen Jena-Experiment der Jahre 2008 und 2009. 60 Arten aus der Pflanzengemeinschaft der Molinio-Arrhenatheretea werden hierbei Parzellenweise über einen Gradienten von 1, 2, 4, 8, 16 und 60 Arten in unterschiedlichen Zusammensetzungen aus vier funktionellen Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) kombiniert (Roscher et al. 2004).

Zu zwei Terminen in den Jahren 2008 und 2009, Ende Mai und Ende August, wurde der Bestand der 82 Parzellen des Hauptexperiments von 3x3m in 5 cm Höhe über dem Boden geerntet und in 2L Glasbehältern Siliert.

Die spektralen Signaturen der Silagen wurden mit einem XDS Rapid Content Analyzer NIRS System (FOSS NIRSystems, Hillerød, Dänemark) aufgenommen und mit dem WinISI Kalibrations Software Paket (Infrasoft International, Port Matilda, Pennsylvania USA) kalibriert.

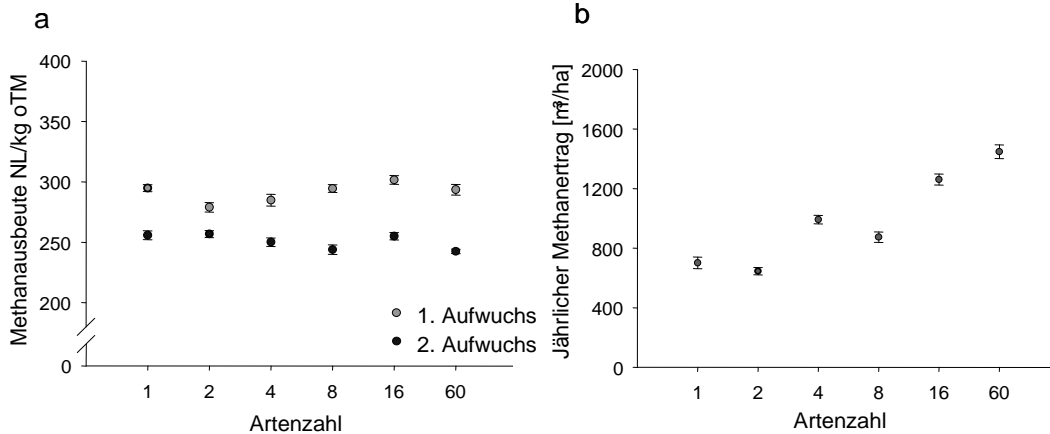
Für die Gärversuche wurden in Doppelbestimmung 400g Silage in 20 L Plastik Fermentern bei einer konstanten Temperatur von 37°C und unter Zugabe von 8kg Inokulum aus ausgegorener Rindergülle angesetzt. Das im Zeitraum von 35 Tagen produzierte Biogas wurde durch einen programmierbaren Gasmesser (LFG 20, Bernt Ltd) auf seinen Methananteil untersucht.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Ein Vergleich der Methanausbeuten mit der Artenzahl der jeweiligen Parzelle im Mittel der beiden untersuchten Jahre zeigt keinen signifikanten Einfluss der Artenzahl

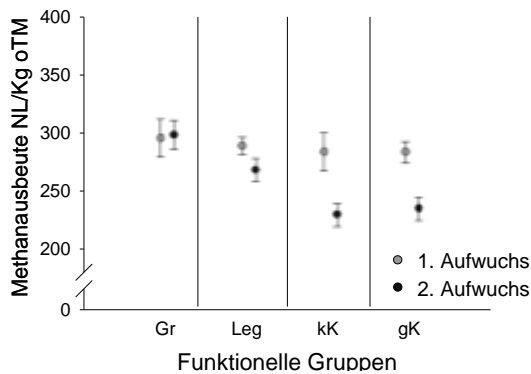
auf die Methanausbeuten (Abb. 1a), hier dominieren die unterschiedlichen Entwicklungsstadien zwischen dem ersten und dem zweiten Aufwuchs.

Durch eine erhöhte Biomasseproduktion wird jedoch auf den artenreichen Parzellen infolge von Komplementäreffekten zwischen den Arten ein höherer flächenspezifischer Methanertrag erzielt, als auf artenarmen Standorten (Abb. 1b).



**Abb. 1:** Einfluss der Artenzahl auf die in Batchversuchen ermittelte Methanausbeute. Mittel aus zwei Jahren, unterteilt nach 1. und 2. Aufwuchs in NL/kg oTM (a) und dargestellt als jährlicher Methanertrag [m³/ha] (b)

Bei der Betrachtung von Parzellen mit einfach besetzten Funktionellen Gruppen bilden sich im zweiten Aufwuchs Unterschiede zwischen Gräsern und Leguminosen heraus, was evtl. auf das Blütestadium der Kräuter zum Zeitpunkt der Probennahme zurückgeführt werden kann (Abb. 2).



**Abb. 2:** Einfluss der funktionellen Gruppen auf die in Batchversuchen ermittelten Methanausbeuten. Mittel aus zwei Jahren, unterteilt nach 1. und 2. Aufwuchs. Gr=Gräser, kK=kleine Kräuter, gK=große Kräuter, Leg=Leguminosen

Mit einem  $R^2$  von 0.47 und einem RPD von 1.2 waren die Kalibrationsgüten der Methanausbeuten über Nahinfrarotspektroskopie nach üblichen Kriterien ( $r^2$  und RPD Grenzwerte nach Williams und Norris 2001) nicht akzeptabel. Die erreichten Güten reichen höchstens für eine Differenzierung von hohen und tiefen Werten aus.

## Literatur

- Roscher, C., Schumacher, J., Baade, J., Wilcke, W., Gleixner, G., Weisser, W.W., Schmid, B., Schulze, E.-D., 2004. The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic and Applied Ecology* 5 (2), 107–121.
- Williams, P., Norris, K., 2001. Near-infrared technology in the agricultural and food industries, 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minn, 296 s.

## Untersuchungen zu Korn- und Biomasseerträgen von Korn-Sorghum (*Sorghum bicolor* L.)

Michael Gaudchau und Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung /, Schubertstr. 81, 35392 Gießen  
E-Mail: Michael.Gaudchau@agrar.uni-giessen.de

### Einleitung

*Sorghum* (*Sorghum bicolor* L.) weist hinsichtlich des Habitus sehr vielfältige Formen und Größen auf (Smith and Frederiksen 2000). Neben den bekannten Massenwuchstypen mit Pflanzenlängen von mehr als 3,50 m, die als Substrat in Biogasanlagen genutzt werden, treten kleinwüchsige, sog. Korntypen, vorhanden, die lediglich eine Pflanzenlänge von 1,50 m bis 1,70 m erreichen. Diese Sorghumtypen, die durch einen ausgeprägten Kornansatz in der endständigen Rispe charakterisiert sind, werden seit wenigen Jahren auch in Deutschland kultiviert (Hahn 2010). Es bestand daher das Ziel, die Ertragsfähigkeit eines ausgewählten Sortiments von Korn-Sorghum zu überprüfen.

### Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurden zwei Feldversuche (einfaktorielle Blockanlagen, 2 x 9 Prüfglieder, 4 Wiederholungen) an den hessischen Standorten Groß-Gerau (IS, AZ 25, 600 mm, 10,8 °C, mit Beregnung) und Gießen (sL, AZ 65, 650 mm, 9,4 °C, ohne Beregnung) durchgeführt. In die Prüfung wurden jeweils 9 Sorten des Typs *Sorghum bicolor* x *bicolor* einbezogen, die in separaten Parzellen sowohl einer Ganzpflanzenernte als auch einer Körnerernte unterzogen wurden. Während der gesamten Vegetationsperiode erfolgten Messungen der Pflanzenlänge und Bonituren zur Standfestigkeit. Die Ernten wurden mit einem Parzellenmähdrescher bzw. mit einem Parzellenhäcksler durchgeführt. Zum jeweiligen Erntezeitpunkt wurden Korn- bzw. Pflanzenproben zwecks Trockenmasse-Bestimmung entnommen.

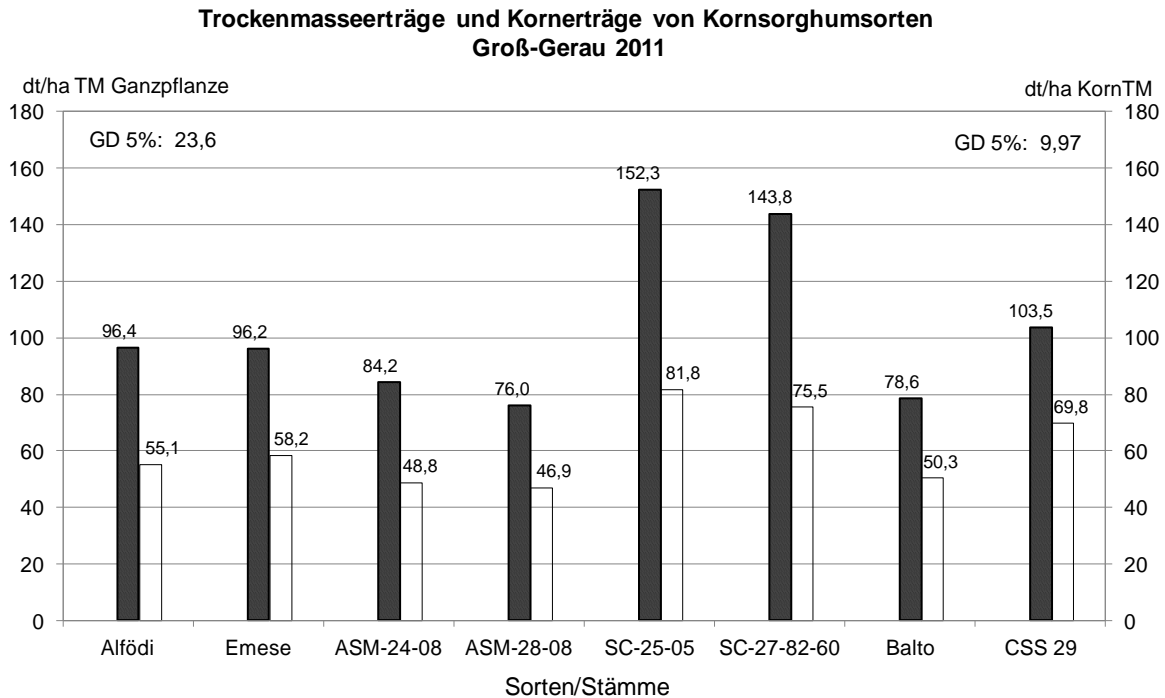
### Ergebnisse und Diskussion

Die Kornerträge konnten lediglich am Standort Groß-Gerau ermittelt werden, da der entsprechende Versuch in Gießen durch frühe Frosteinwirkung zerstört wurde. In Groß-Gerau variierten die Kornerträge zwischen 81,8 dt/ha (SC-25-05) und 46,9 dt/ha (ASM 28-08). Das TKG variierte zwischen 33,8 g (*Balto*) und 24,4 g (SC-25-05). Die Standfestigkeit der geprüften Sorten/Stämme wurde an beiden Standorten durchweg als sehr gut bewertet. Dagegen zeigten sich Unterschiede in der Wuchshöhe zwischen Korn- und Silagetypen bei demselben Sortenmaterial in Groß-Gerau. Während bei einem Teil der Sorten/Stämme im Kornernterversuch höherer Pflanzenwuchs registriert werden konnte im Vergleich zur Silageernte, lagen die Werte bei einem anderen Teil deutlich niedriger. Hinsichtlich der TS-Werte wiesen die Sorten der Variante „Kornertrag“ naturgemäß deutlich höhere Werte auf. So lagen die Werte bei „ASM 28-08“ mit 80,4 % TS und „*Balto*“ mit 77,2 % TS deutlich höher als „SC-25-05“ mit 73,4 %. Die Werte verdeutlichen, dass ohne eine Nachrocknung das Korngut von Sorghum nicht lagerfähig ist.

Die als Silage geernteten Kornsorten-/Stämme in Groß-Gerau wiesen unterschiedliche Biomasse-Erträge auf. „SC-25-05“ erreichte mit 152,3 dt TM/ha den höchsten Ertrag, gefolgt von „SC 25-05“ mit 152,3 dt/ha und „SC-27-82-60“ mit 143,8

dt/ha. Die meisten der übrigen Sorten/Stämme lagen unterhalb von 100 dt TM/ha. Ähnliche Resultate erbrachte der Biomasse-Versuch in Gießen. Hier erreichte der Stamm *SC-57-82-60* mit 165,5 dt TM höchste Werte, gefolgt von *SC-25-05* mit 150,75 dt TM, *Alfödi*, *Emese* und *CSS 29* erreichten jeweils Erträge über 100 dt TM/ha, die übrigen lagen darunter.

Eine Besonderheit zeigte sich am Standort Groß-Gerau beim Vergleich der TM-Erträge des Biomasse-Versuches mit den TM-Erträgen der Kornmasse (vgl. Abb.1).



**Abb.1:** Biomasseerträge (dt TM/ha Ganzpflanze) und Kornerträge eines ausgewählten Sortiments von Korn-Sorghum, Groß-Gerau 2011

Bei allen geprüften Sorten wurde eine enge Korrelation zwischen den Biomasse-Erträgen und den Kornerträgen beobachtet, was den Zusammenhang zwischen diesen beiden Merkmalen unterstreicht. Gleichzeitig zeigen die Kornerträge, dass Leistungen von über 80 dt TM/ha bei *SC-25-05* und mehr als 75 dt TM/ha bei *Balto* und *SC-27-82-60* gut realisiert werden können.

### Literatur

Hahn, C. 2010: Sorghum für die Energieerzeugung, Neue Landwirtschaft, 54-55

Smith, C.W. & R.A. Frederiksen 2000: Sorghum: Origin, History, Technology and Produktion. John Wiley & Sons

## Effect of plants containing terpenes on biogas and methane production

Shamseldin Mohamed, Bernd Honermeier and Sylvia Schnell

Institute of Agronomy and Plant Breeding I- Universität Giessen. E-Mail: Shamseldin,Mohamed@agrar.uni-giessen.de

### Introduction

Biogas production from agricultural biomass attracting great interest from researchers. Terpenes are the most widely occurring secondary compounds. *Origanum vulgare* (family Lamiaceae) contains monoterpenes and sesquiterpenes e.g. carvacrol and thymol (Pizzale et al. 2002). *Foeniculum vulgare* (family Apiaceae). Its seeds contain trans-anethole and fenchone (Choi et al. 2004). The aims of this research were to study the effect of *plants containing terpenes* on biogas and CH<sub>4</sub> yield under the conditions of a mesophilic laboratory digester.

### Materials and Methods

#### Batch reactors for biogas production

**Used material:** Oregano leaves powder treatments (62.5, 125, 250 and 500 g). Fenchel seeds powder treatments (50, 100,200 and 400 g). Liquid cattle manure (15kg). Standard crystalline cellulose (100 g). Whole chopped green plant of maize (450 g)

#### Experimental procedure

Laboratory experiments were carried out using separated 46 batch reactors (20 l). The operated temperature was 37 °C for 28 days. The temperature was maintained by water heating jacket. Cattle liquid manure was used as a co-substrate with tested materials. Maize and cellulose were used as reference samples. The contents were mixed every hour for 10 min by an automatic mechanical stirrer connected with a timer. The experiment was conducted in triplicates.

**Analytical methods** The chemical composition of the tested materials was determined using standard methods. Biogas was collected in gas bags and measured with gas meter (Ritter). The methane content was determined by an infrared analyzer.

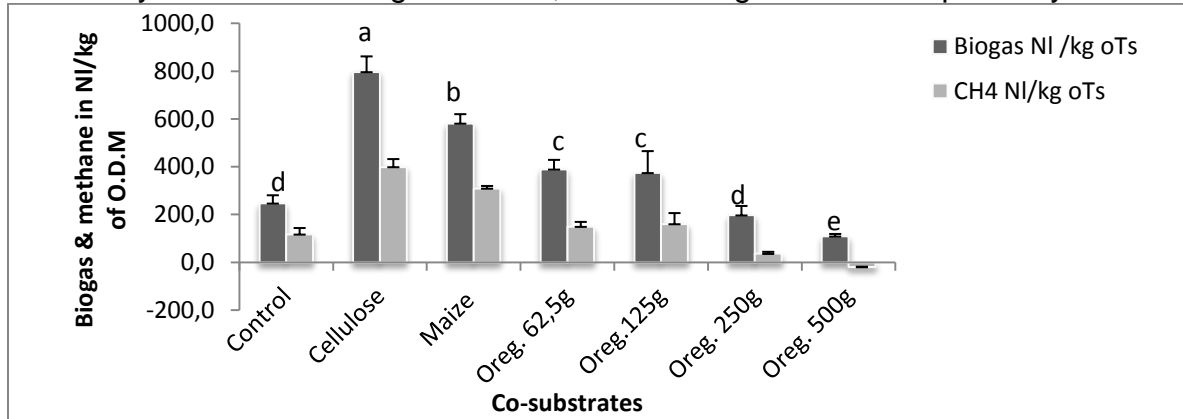
#### Microbiological tests

**Used materials:** Oregano-methanol extracts (0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.5, 2ml). carvacrol & thymol (0, 1, 0.2, 0.3ml and 0.4 ml). The strain was *Methanosarcina barkeri* (DSM 800), anoxic bicarbonate-buffered, sulfide-reduced mineral medium, which contained SL 10, selenite/tungstate and seven vitamins solution Cultivation was in 160 ml serum bottles sealed with stoppers and crimped with aluminum crimps. Measuring CH<sub>4</sub> produced in the headspace by (GC/FID).

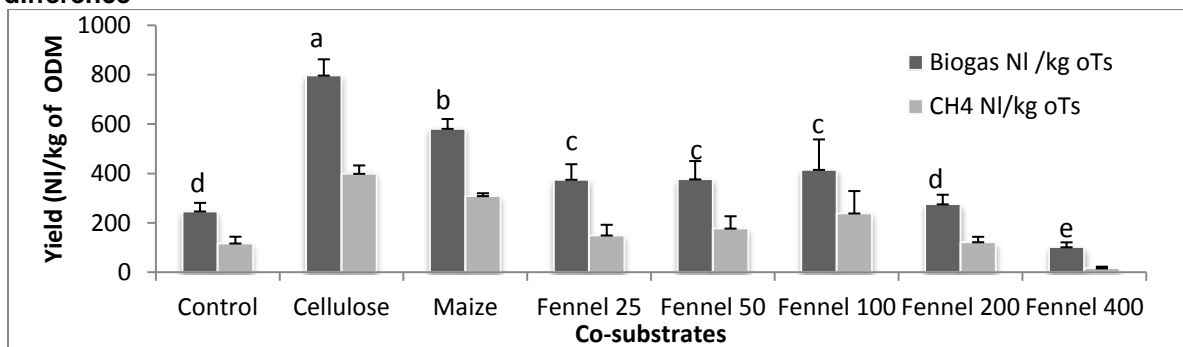
#### Results& Discussion

The objective of the farmers is to optimize the biogas and methane production and hence maximizing their profit by using different agricultural biomass as alternatives to energy crops. The C/N ratios for oregano and fennel are 23.3 & 17.7 respectively, which are optimum for oregano or near to optimum value for fennel; also the pH is good for microbes to work on. The organic dry mater is also high about 79.4% and

92.6% for oregano and fennel respectively. By Buswell formula the theoretical biogas production by oregano was ranged from 500 to 3000 NI/kg O.D.M, the actual biogas production was 400-100 NL and kg of O.D.M, for methane the theoretical production was 200-1600 NI/kg of O.D.M, but the actual production is 150-(-20) NI/kg O.D.M, (fig1). Fig 2 shows the effect of fennel on biogas and methane yield. Biogas and methane yield of fennel range 400-100, 200-20 NI/kg of O.D.M respectively.



**Fig 1** Average production of methane and biogas in NI/kg ODM<sup>-1</sup> during 4-weeks from different co-substrates. Bars over the columns show standard deviation, letters represent significant difference



**Fig 2** Average production of methane and biogas in NI/kg ODM<sup>-1</sup> during 4-weeks from different co-substrates. Bars over the columns show standard deviation, letters represent significant difference

The theoretical biogas yield and methane calculated using Buswell formula were 50-12000, 500- 9000 NI/kg of O.D.M respectively. For oregano extract in laboratory tests, amount of extract more than 1ml has clear effect on methane production. Carvacrol & thymol both affected the *Methanosarcina barkeri* at 0.1ml and effect increase with the increase of the dose. Macheboeuf et al. (2008) showed that essential oil from oregano caused a suppression of methane to the extent of 99% at 6 mM concentration. Chaves et al. (2008) proved that trans-anethole at 20 mg/l of medium caused an inhibition of methane gas. .

## References

- Chaves, A.V. He, M. L., W. Z. Yang, W. Z., A. N. Hristov, A. N., McAllister, T. A., and Benchaar, C., 2008. Effects of essential oils on proteolytic, deaminative and methanogenic activities of mixed ruminal bacteria. *Canadian Journal of Animal Science*, 88, S.117-122.
- Macheboeuf, D., Morgavi, D.P., Papon, Mousset, J.L., and ArturoSchaan, M., 2008, Dose–response effects of essential oils on in vitro fermentation activity of the rumen microbial population☆. *Animal Feed Science and Technology*, 145, S.335-350



## Wechselseitiger Einfluss des Wassergehaltes des Bodens und der Phytin-Zufuhr auf die Phosphor-Ernährung von Pflanzen

Christine Brandt und Bettina Eichler-Löbermann

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Pflanzenbau, Universität Rostock;  
christine.brandt@uni-rostock.de

### Einleitung

Pflanzen wachsen häufig unter kombinierten Stressbedingungen. So kann es bei unzureichender Wasserversorgung auch zu Nährstoffmangel kommen. Das betrifft wegen der geringen Mobilität im Boden insbesondere Phosphor (P) (Ge et al. 2010). Fruchtarten unterscheiden sich bezüglich ihrer Anpassung an Wasser- und P-Mangel. Der positive Einfluss mineralischer P-Düngung zur Erhöhung der Trockentoleranz unter Wassermangel wurde bereits in zahlreichen Studien nachgewiesen (u.a. Jones et al. 2005). Dagegen liegen bisher nur wenige Untersuchungen zur Wirkung von organischer P-Zufuhr unter Trockenstress vor. Organische P-Quellen sind für den Pflanzenbau jedoch von großer Bedeutung. Ziel der Untersuchungen war es daher, die P-Aufnahme aus Phytin in Abhängigkeit von der Wasserversorgung zu untersuchen.

### Material und Methoden

In einem Gefäßversuchen wurden die P-Aufnahme einer monokotylen und einer dikotylen C<sub>4</sub> Fruchtart sowie verschiedene Bodenparameter in Abhängigkeit von der Wasser- und P-Versorgung untersucht.

Für den Versuch wurde ein schwach lehmiger Sand ( $P_{dl} = 4,66 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) verwendet und 6 kg des lufttrockenen Bodens in Mischerlichgefäße eingewogen.

Die organische P-Zufuhr erfolgte mit 0,20 g (PAC) bzw. 0,40 g (PAC II) P pro Gefäß, dabei wurde Ca-Inositolhexaphosphat (C<sub>6</sub>H<sub>16</sub>CaO<sub>24</sub>P<sub>6</sub>) als organische P-Quelle genutzt. Als Vergleich wurden eine Kontrollvariante ohne P-Zufuhr (NK) sowie eine mineralisch gedüngte Variante mit Triple-Superphosphat 0,20 g P pro Gefäß (TSP) angelegt. Zwei Wasserstufen wurden entsprechend 60 % (optimale Versorgung) und 30 % (Trockenstressvariante) der maximalen Wasserkapazität des Bodens eingestellt. Der Anbau der Fruchtarten Amaranth (*Amaranthus cruentus* - Bärnkrafft) und Sorghum (*S. bicolor* x *S. sudanense* - Inka) erfolgte für 8 Wochen unter einem Regen abweisenden Shelter. Der Versuch wurde in vierfacher Wiederholung angelegt. Nach der Ernte wurden unter anderem der Biomasseertrag, die P-Aufnahme, der Prolin-Gehalt und der doppelactatlösliche P-Gehalt ( $P_{dl}$ ) im Boden untersucht.

### Ergebnisse und Diskussion

Der Biomasseertrag und die P-Aufnahme erhöhten sich mit höherer Wasser- und P-Zufuhr. Die organische P-Gabe von 0,20 g P pro Gefäß (PAC) steigerte die P-Aufnahme im Vergleich zur P-freien Kontrolle (NK) im Mittel der Fruchtarten um 13,6 %, die Zufuhr der doppelten Menge an Phytin (PAC II) führte zu einem Anstieg um 24,8 %. Der höchste Anstieg wurde jedoch nach Zufuhr des leicht pflanzenverfügbaren mineralischen P (TSP) ermittelt (35,7 %) (s. Tab. 1).

Für Amaranth wurde eine deutlich höher P-Aufnahme als für Sorghum nachgewiesen. Bei 30 %iger Bewässerung stiegen infolge der P-Zufuhr die Prolin-

Gehalte insbesondere bei Sorghum an, was auf erhöhten Trockenstress in diesen Varianten hindeutet.

Die  $P_{dl}$ -Gehalte im Boden erhöhten sich nach Zufuhr von organischem P in der PACII-Variante (7,6 %) und nach mineralischer P-Zufuhr (20,9 %) im Vergleich zur Kontrolle signifikant. Zu einer Erhöhung der  $P_{dl}$ -Gehalte kam es ebenfalls infolge des Trockenstresses. Dies ist auf die geringere P-Aufnahme der Pflanzen unter Wasserdefizit zurückzuführen (negative Korrelation zwischen P-Aufnahme und  $P_{dl}$ -Gehalt;  $r = -0,521^{**}$ ).

**Tab.1:** Effekte von Wasser- und P-Zufuhr auf den TM-Ertrag ( $g\ Gefäß^{-1}$ ), die P-Aufnahme ( $mg\ Gefäß^{-1}$ ), die Prolin-Konzentration ( $\mu mol\ g^{-1}\ TM$ ) und den  $P_{dl}$ -Gehalt im Boden ( $mg\ 100\ g^{-1}$ )

Fruchtart	WHK %	NK	PAC	PAC II	TSP
<b>TM-Ertrag</b>					
Sorghum	60	34,4 a	38,0 bc	40,1 c	37,8 b
	30	21,8 a	21,0 a	25,0 b	26,6 b
Amaranth	60	38,1 a	39,9 a	39,2 a	39,5 a
	30	31,0 a	32,2 a	32,4 a	32,1 a
<b>P-Aufnahme</b>					
Sorghum	60	52,7 a	60,7 a	77, b	79,1 b
	30	30,4 a	30,8 a	35,1 ab	38,7 b
Amaranth	60	164 a	194 b	187 b	210 c
	30	126 a	141 ab	146 bc	161 c
<b>Prolin-Gehalt</b>					
Sorghum	60	1,35 a	1,48 a	1,80 a	2,28 a
	30	1,42 a	2,13 b	1,87 b	2,69 c
Amaranth	60	1,34 a	1,06 a	1,33 a	1,43 a
	30	1,37 a	1,26 a	1,35 a	1,86 b
<b><math>P_{dl}</math>-Boden</b>					
Sorghum	60	3,58 a	3,75 a	3,67 a	5,28 b
	30	3,60 a	3,89 ab	4,32 b	5,66 c
Amaranth	60	3,44 b	2,97 a	3,45 b	3,48 b
	30	3,53 ab	3,30 a	3,72 b	4,01 c

verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikant verschiedene Mittelwerte  $p \leq 0,05$  zwischen den Düngungsvarianten

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die Zufuhr von organischem P in Form von Ca-Phytin die P-Verfügbarkeit erhöht und damit die P-Aufnahme unter Trockenstress steigert, jedoch hinter der Wirksamkeit einer mineralischen P-Düngung zurück bleibt.

## Literatur

- Ge, T.D.; F.G. Sui; A. Nie; N.B Sun; H. Xiao und C.L. Tong 2010: Differential responses of yield and selected nutritional compositions to drought stress in summer maize grains. J. Plant Nutr. 33: 1811-1818.
- Jones, C.A.; J.S. Jacobsen und J.M. Wraith 2005: Response of Malt Barley to phosphorus fertilization under drought conditions. J. Plant Nutr. 28: 1605-1617.

## Vergleichende Fruchtfolgeanalyse zur Nitratverlagerung im Ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung der Vorfrüchte

Jenny Fischer<sup>1</sup> und Herwart Böhm<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Thünen Institut / Institut für Ökologischen Landbau, Westerau. E-Mail: jenny.fischer@vti.bund.de

### Einleitung

Um das Risiko grundwassergefährdender Nitratverlagerungen unter ökologischer Bewirtschaftung zu bewerten, wurde am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau ein On-Farm-Experiment durchgeführt. Die Erfassung der Nitratstickstoff ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )-Verlagerung erfolgte während der Sickerwasserperioden 2010/11 und 2011/12 auf den Flächen des Versuchsbetriebes (Schleswig-Holstein, sL, 740 mm, 8,7°C). Ziel des Praxisversuches ist es, die  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Verluste in Abhängigkeit der Fruchtfolgefelder und Betriebssysteme (Marktfrucht- vs. Milchviehbetrieb) zu bewerten.

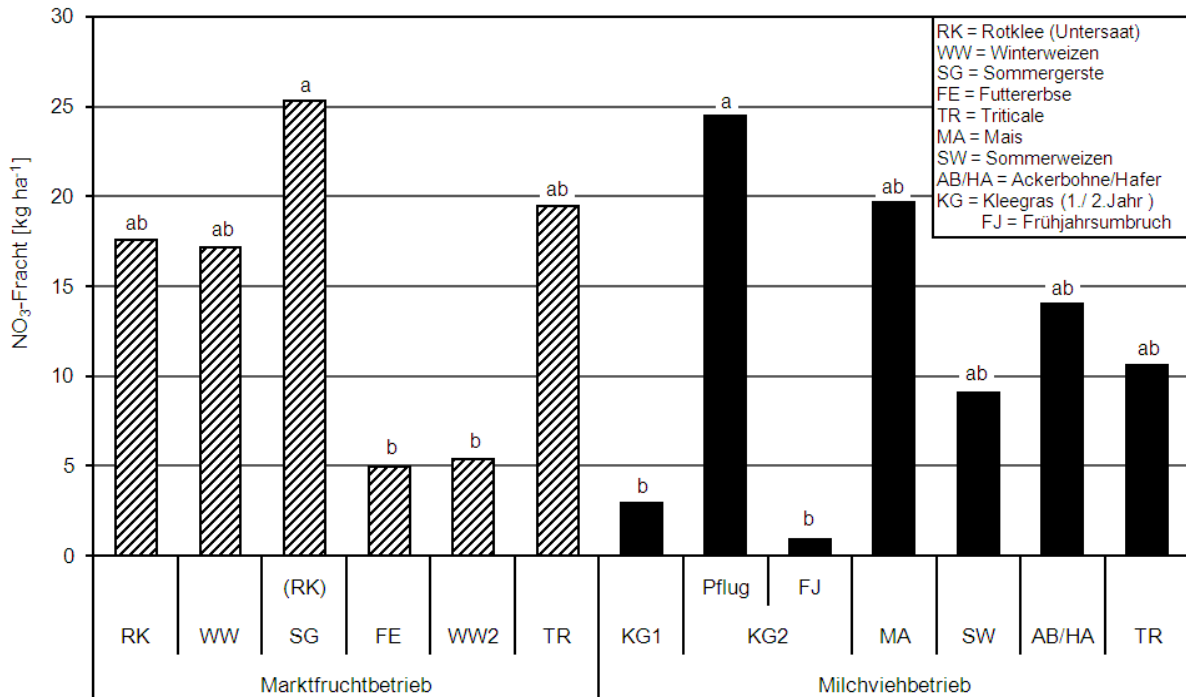
### Material und Methoden

Die Gewinnung des Sickerwassers erfolgte mit keramischen Saugkerzen (Mullit), die eine kontinuierliche in-situ Beprobung des Bodenwassers ermöglichen. Die Saugkerzen wurden in dreifacher Wiederholung, zu Beginn der Sickerwasserperiode an je vier georeferenzierten Punkten pro Schlag, installiert. Das Bodenwasser unterhalb der Wurzelzone (70-80 cm Tiefe) wurde über einen wöchentlich angelegten Unterdruck von -0,4 bar über die Mikroporen ( $\text{Ø } 1 \mu\text{m}$ ) der keramischen Kerze in die Sammelflaschen gesaugt. Die Sickerwasserproben wurden wöchentlich als Mischprobe der drei Saugkerzen je Punkt entnommen und photometrisch auf  $\text{NO}_3\text{-N}$  analysiert. Die  $\text{NO}_3\text{-N}$  Fracht wurde anhand der Sickerwasserrate (DWD-Modell) und der Nitratkonzentration in der Bodenlösung berechnet. Ergänzend wurden monatlich  $\text{N}_{\text{min}}$ -Proben gezogen sowie die Ernteerträge der Vorfrüchte erfasst.

### Ergebnisse und Diskussion

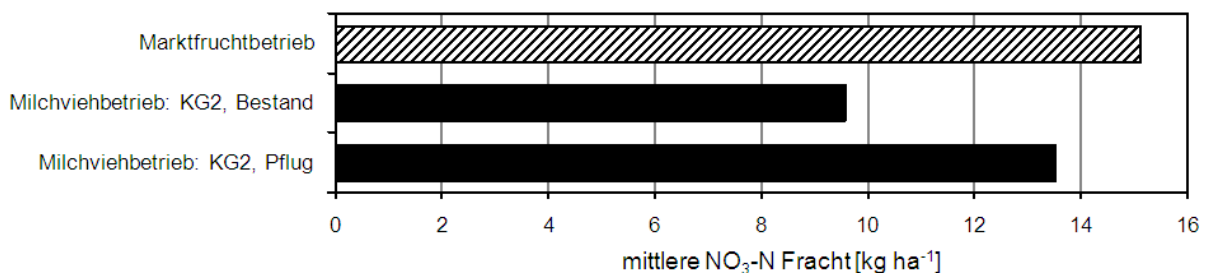
Die vergleichende Bewertung der Nitratfracht erfolgte in den Fruchtfolgefeldern des Marktfruchtbetriebes (Rotklee *Vermehrung*, W-Weizen, S-Gerste, Erbse, W-Weizen, Triticale) und des Milchviehbetriebes (2-jähriges Klee gras *Schnittnutzung*, Mais, W-Weizen, Ackerbohne-Hafer-Gemenge, Triticale). Die akkumulierte Sickerwasserrate des Probenahmezeitraumes (07.11.2011 – 21.03.2012) lag bei 201 mm. Wie aus den in Abb.1 dargestellten Ergebnissen hervorgeht, zeigt die  $\text{NO}_3\text{-N}$  Fracht starke Variationen in Abhängigkeit der Vorfrüchte. Die  $\text{NO}_3\text{-N}$  Fracht nach dem im Herbst umgebrochenen 2-jährigen Klee gras ( $24,5 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) war signifikant höher als bei den nicht umgebrochenen Klee grasbeständen (1-jährig: 2,9 bzw. 2-jährig  $0,9 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ). Diese Ergebnisse werden sowohl durch die Vorjahresuntersuchungen als auch durch die begleitenden  $\text{N}_{\text{min}}$ -Untersuchungen gestützt. Die höchsten Nitratverluste ( $25,4 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) traten nach der von einer stark entwickelten Rotklee-Untersaat dominierten Sommergerste auf.

Da nach der in beiden Fruchtfolgen abtragenden Kultur Triticale in beiden Jahren keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der N-Fracht auftraten, können anhand der vorliegenden Ergebnisse keine signifikanten Unterschiede durch den Einsatz von Wirtschaftsdüngern im Milchvieh- gegenüber dem Marktfruchtbetrieb nachgewiesen werden.



**Abb.4:** Akkumulierte NO<sub>3</sub>-N Fracht während der Herbst-/Winter-Sickerwasserperiode in Abhängigkeit der Vorfrucht (Daten: 07.11.2011 - 10.01.2012), unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede bei p<0,05

Wie der Vergleich der verschiedenen Managementstrategien (Abb.2) zeigt, kann die Nitrat-N Fracht in der Milchviehfruchtfolge durch den Wechsel von Herbst- zu Frühjahrsumbruch des 2-jährigen Klee gras-Bestandes um 4 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> reduziert werden. Die nominell erhöhte Auswaschungsrate im Marktfruchtbetrieb gegenüber dem Milchviehbetrieb (Gülle- & Mistdüngung) ist auf die hohe Verlagerung durch die RK-Untersaat (SG) zurückzuführen, statistisch signifikante Effekte zwischen den Betriebssystemen konnten anhand der vorliegenden Daten nicht nachgewiesen werden.



**Abb. 5:** Einfluss des Managementsystems auf die mittlere NO<sub>3</sub>-N Fracht der Fruchtfolgen während der Sickerwasserperiode (Daten: 07.11.2011 - 10.01.2012)

## Literatur

Wessel-Bothe, S. 2002: Simultaner Transport von Ionen unterschiedlicher Matrixaffinität in Böden aus Löss unter Freilandbedingungen - Messung und Simulation. Bonner Bodenkundliche Abhandlungen Band 38.

Wilbois, K.-P., M. Scerencsits, R. Hermanowski 2007: Eignung des ökologischen Landbaus zur Minimierung des Nitrataustrags ins Grundwasser. FiBL Deutschland e.V., DE-Frankfurt. <http://orgprints.org/13270/>

## Quantifizierung der N-Rhizodeposition von Leguminosen

Anke Landgraf und Knut Schmidke

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

### Einleitung

Die während des Wachstums der Leguminosen über Rhizodeposition in den Boden abgegebene Stickstoffmenge hat in Fruchtfolgen einen häufig unterschätzten Anteil an der N-Bilanz. Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war es, die Höhe der N-Rhizodeposition verschiedener, u.a. bislang nicht untersuchter Leguminosenarten zu quantifizieren (Mahieu et al., 2007; Schmidke, 2005). Dabei wurde mittels eines Split-Root-Experiments unter Gewächshausbedingungen und kontinuierlicher <sup>15</sup>N-Anreicherung die N-Rhizodeposition der geprüften Leguminosen geschätzt.

### Material und Methoden

In einem Gefäßversuch im Gewächshaus der Fakultät Landbau/Landespflege der HTW Dresden in Dresden-Pillnitz wurde die Höhe der N-Rhizodeposition unter teilkontrollierten Bedingungen im Gewächshaus bei den Leguminosenarten Luzerne (*Medicago sativa* L.), Rotklee (*Trifolium pratense* L.), Weißklee (*Trifolium repens* L.), Persischer Klee (*Trifolium resupinatum* L.), Erdklee (*Trifolium subterraneum* L.), Körnererbse (*Pisum sativum* L.) und Phaseolusbohne (*Phaseolus vulgaris* L.) ermittelt. Rotklee, Luzerne und Erbse wurden dabei jeweils mit 2 Sorten getestet. Mittels „split-root technique“ konnte eine kontinuierliche Anreicherung der Leguminosen mit <sup>15</sup>N erreicht werden (Schmidke 2005). Als Pflanzgefäße dienten Polypropylen-Töpfe (12 cm x 12 cm x 20 cm), welche mit Folie ausgekleidet waren, um den Verlust von Nährlösung aus dem Gefäß zu verhindern. Für die Verwendung im Split-Root-Experiment wurden jeweils zwei Pflanzgefäße miteinander verbunden. Ein Gefäß wurde mit Boden (sL3, pH-Wert: 5,8, C<sub>t</sub>: 0,97 %, N<sub>t</sub>: 0,1 %) gefüllt; das zweite Gefäß mit Vermiculit (Körnung 1 – 2 mm). Pro Doppeltopf wurden 3 Futter- bzw. 2 Körnerleguminosenpflanzen gepflanzt, bei denen sich je etwa eine Hälfte des Wurzelsystems im Gefäß mit Boden befand und die andere Hälfte im Gefäß mit Vermiculit. Das mit Boden gefüllte Gefäß erhielt N-freie Nährlösung und entionisiertes Wasser nach Bedarf der Pflanzen. Die kontinuierliche <sup>15</sup>N-Anreicherung der Leguminosenwurzel im Gefäß mit Vermiculit erfolgte durch Zugabe einer 10 at.% <sup>15</sup>N-Kaliumnitratlösung. Als Referenzfrucht wurde Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.) in einem Gefäß mit Versuchsboden ohne ein geteiltes Wurzelsystem verwendet. Der Versuch wurde als Blockanlage mit fünf Wiederholungen in den Jahren 2010 sowie 2011 angelegt. Die Probenahme erfolgte ca. 55 Tage nach Versuchsbeginn zur Blüte des Klees und der Luzerne und zur Druschreife der Erbse.

### Ergebnisse und Diskussion

In 2010 konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Leguminosenarten in der Höhe der N-Rhizodeposition (Ndfr-Menge) festgestellt werden (Tab. 1). Die durch Rhizodeposition in den Boden abgegebene N-Menge lag zwischen 17,62 mg N je Gefäß bei Luzerne und 34,76 mg N je Gefäß bei Erbse. Die N-Rhizodeposition der geprüften Leguminosen betrug in 2010 zwischen 6,5 %

(Erdklee) und 8,7 % (Rotklee und Luzerne) des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs. In der Versuchsreihe 2011 hingegen konnten hochsignifikante Unterschiede zwischen den geprüften Leguminosenarten in der Höhe der Ndf-Mengen verzeichnet werden. Bei Erbse wurden mit 84,08 mg N je Gefäß die höchsten Mengen Stickstoff aus Rhizodeposition stammend verzeichnet. Bei Luzerne sowie Phaseolusbohne konnten signifikant geringere Ndf-Mengen in einer Höhe von 27,36 mg N je Gefäß sowie 22,06 mg N je Gefäß ermittelt werden. Die N-Rhizodeposition entsprach in 2011 zwischen 9,0 % (Phaseolusbohne) und 16,9 % (Rotklee) des Gesamtpflanzen-N.

**Tab. 1:** Ndf-Menge [mg N je Gefäß] sowie N-Rhizodeposition der Pflanze [in % von  $N_{Bt}$ ] der geprüften Leguminosenarten in 2010 und 2011

Art	2010		2011	
	Ndf-Menge	N-Rhizodeposition der Pflanze <sup>1)n.T.</sup>	Ndf-Menge <sup>***</sup>	N-Rhizodeposition der Pflanze <sup>1)</sup>
Luzerne	17,62 a	8,7 a	27,36 c	13,5 a
Rotklee	25,08 a	8,7 a	61,05 ab	16,9 a
Weißklee	18,67 a	7,5 a	40,70 bc	13,3 a
Persischer Klee	20,28 a	7,5 a	44,66 bc	10,3 a
Erdklee	18,58 a	6,5 a	n.g.	n.g.
Erbse	34,76 a	8,0 a	84,08 a	15,0 a
Phaseolusbohne	20,34 a	7,3 a	22,06 c	9,0 a

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen innerhalb eines Jahres, Tukey-Test  $\alpha=0,05$ , \*\*\* Tukey-Test  $\alpha=0,001$ , <sup>1)</sup> gewichtetes Mittel, n.T.=nach Transformation, n.g.=nicht geprüft,

Bei der statistischen Verrechnung der Ndf-Mengen über beide Jahre (ohne Erdklee) konnten signifikante Wechselwirkungen zwischen Art und Jahr verzeichnet werden. Während bei Phaseolusbohne in beiden Jahren eine ähnlich hohe Ndf-Menge ermittelt wurde, konnten beispielsweise bei Rotklee, Weißklee, Persischer Klee sowie Erbse in 2011 deutlich höhere Ndf-Mengen im Vergleich zu 2010 verzeichnet werden. So entsprach die Ndf-Menge bei Rotklee und Erbse in 2011 der 2,4-fachen Menge im Vergleich zu 2010, bei Weißklee und Persischen Klee in 2011 einer 2,2-fachen Menge gegenüber 2010.

Die in den vorliegenden Untersuchungen geschätzte N-Rhizodeposition der Erbse in Höhe von 8,0 % (2010) bzw. 15,0 % (2011) des Gesamtpflanzen-N ist mit der von Schmidtke (2005) geschätzten Höhe von 10,5 % vergleichbar. Somit sind mit der hier angewandten Methode durchaus realistische Schätzungen der N-Rhizodeposition einzelner Leguminosenarten möglich.

## Literatur

- Mahieu, S.; J. Fustec; M.-L. Faure; G. Corre-Hellou und Y. Crozat 2007: Comparison of two <sup>15</sup>N labelling methods for assessing nitrogen rhizodeposition of pea. *Plant Soil* 295, 193–205.
- Schmidtke, K. 2005: How to calculate nitrogen rhizodeposition: a case study in estimating N rhizodeposition in the pea (*Pisum sativum* L.) and grasspea (*Lathyrus sativus* L.) using a continuous <sup>15</sup>N labelling split-root technique. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 1893-1897.

## Reduzierung der Verunkrautung durch Einsatz von Grünguthäcksel unter Bedingungen des ökologischen Landbaus

Guido Lux<sup>1</sup> und Knut Schmidtke<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau/Landespflege, Fachgebiet Ökologischer Landbau, [luxg@htw-dresden.de](mailto:luxg@htw-dresden.de)

### Einleitung

Der Einsatz von Grünguthäcksel bietet im ökologischen Landbau die Möglichkeit, Nährstoffe zu rezyklieren und den Anteil an organischer Substanz im Boden zu erhöhen. Eine oberflächliche Ausbringung, welche die Bedeckung des Bodens mit Häckselgut zur Folge hat, kann zudem ein Schutz vor Verschlammung der Bodenoberfläche bewirken (Schmidt 1997). Besonders im ökologischen Landbau ist es erforderlich, geeignete Strategien zur Regulierung von Unkräutern zu entwickeln. Ziel dieses Beitrages ist es, kurzfristige Wirkungen von Grünguthäcksel auf Verunkrautung in Körnerleguminosen anhand von Ergebnissen aus 6 Feldversuchen darzustellen. Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geförderten Projektes zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau (08OE186).

### Material und Methoden

Die Durchführung der Feldversuche erfolgte in den Jahren 2009, 2010 und 2012 auf den Versuchsflächen der HTW-Dresden am Standort Dresden-Pillnitz (mittlere Jahrestemperatur: 9,2 °C, Jahresniederschlag: 648 mm, Bodenart im Ap-Horizont: SI3). In den Jahren 2010 und 2011 wurden ergänzende Feldversuche auf den Flächen des LVG-Sachsens am Standort Köllitsch (mittlere Jahrestemperatur: 8,9 °C, Jahresniederschlag: 550 mm, Bodenart im Ap-Horizont: SI3) durchgeführt. Die Feldversuche wurden jeweils als zweifaktorielle Spaltanlage mit vierfacher Wiederholung und mit Ackerbohne (cv. *Fuego*, Saatstärke 50 keimfähige Körner m<sup>-2</sup>), Schmalblättrige Lupine (cv. *Baruta*, Saatstärke 80 keimfähige Körner m<sup>-2</sup>) und Erbse (cv. *Santana*, Saatstärke 80 keimfähige Körner m<sup>-2</sup>) angelegt. Nach einer Pflugfurche im Frühjahr und vor der Saat der Leguminosen erfolgten die Applikation des Grünguthäcksel und dessen flache Einarbeitung mit einer Kreiselegge. Die Ausbringungsmenge betrug zwischen 360 und 435 dt FM ha<sup>-1</sup> (Tab. 1). Das Häckselgut bestand zum großen Teil aus Nadelgehölz und war durch eine Trockenmasse von 55 bis 65 %, einem Zerkleinerungsgrad von 1 bis 150 mm und einer Rohdichte von 0,3 bis 0,5 g cm<sup>3</sup> gekennzeichnet. Die Erfassung der Sprossmasse der Kulturen und der Unkräuter erfolgte zum Zeitpunkt der Tотреife der Kulturen. Im Jahr 2012 wurde am Standort Pillnitz der Grünguthäcksel mit einer Menge von 200 bzw. 300 dt FM ha<sup>-1</sup> nach der Saat ausgebracht und nicht eingearbeitet. Die Erfassung der Unkrauttrockenmasse erfolgte in diesem Versuch zum Ende der Blüte.

### Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 1 sind die Sprosserträge der Kulturen und der Unkräuter mit Applikation von Grünguthäcksel jeweils einer Kontrolle ohne Behandlung gegenüber gestellt. Zum größten Teil wurden gleiche oder höhere Sprosserträge der Körnerleguminosen nach der Applikation von Grünguthäcksel ermittelt. Eine hemmende Wirkung auf das Wachstum der Kulturpflanzen ist demnach möglich, aber als gering einzuschätzen.

Die Verunkrautung konnte im Mittel in den Jahren 2009 und 2010 durch den Einsatz von Grünguthäcksel unabhängig von der Kulturpflanzenart und vom Standort zum Teil deutlich reduziert werden (signifikant im Jahr 2010 zu Ackerbohne). Demgegenüber wurde im Jahr 2011 am Standort Köllitsch keine Wirkung auf die Verunkrautung und im Jahr 2012 am Standort Pillnitz bei oberflächiger Ausbringung und Ausbringmenge von 200 dt FM ha<sup>-1</sup> eine Erhöhung der Verunkrautung festgestellt. Als Ursache für eine geringe unkrautunterdrückende Wirkung durch Grünguthäcksel sind vor allem eine oberflächige Ausbringung ohne Einarbeitung und eine verminderte Ausbringmenge möglich.

Tab.1: Sprossertrag von Körnerleguminosen und Spross-TM der Unkräuter nach der Applikation von Grünguthäcksel zur Saat in den Jahren 2009 bis 2012

Jahr	Ort	Ausbring- menge	Kultur	Unkraut Kontrolle	Unkraut Häcksel <sup>1</sup>	Sprossertrag Kontrolle	Sprossertrag Häcksel <sup>1</sup>
		[dt FM ha <sup>-1</sup> ]		[dt ha <sup>-1</sup> ]	[%]	[dt ha <sup>-1</sup> ]	[%]
2009	Pill	435	AB	18,7	50 ns.	75,7	125 ns.
2010	Pill	426	AB	19,5	57 ns.	51,5	100 ns.
2010	Pill	426	AB	9,7	21 s*	38,6	82 ns.
2010	Pill	426	Lupine	16,5	76 ns.	24,5	76 ns.
2010	Pill	426	Erbse	10,3	37 ns.	37,8	78 ns.
2010	Kö	426	AB	11,9	79 ns.	37,3	95 ns.
2010	Kö	426	Lupine	10,5	64 ns.	39,8	79 ns.
2010	Kö	426	Erbse	11,7	83 ns.	39,6	97 ns.
2011	Kö	360	AB	47,6	92 ns.	41,1	146 s*
2011	Kö	360	Erbse	19,9	115 ns.	32,6	118 ns.
2012	Pill	200	AB	10,2	130 ns.	-	-
2012	Pill	300	AB	10,2	92 ns.	-	-

<sup>1</sup> Prozent der Kontrollvariante, \* signifikanter Unterschied zur Kontrolle (Tukey Test,  $P < 0,05$ )

Zudem könnte auch die Artenzusammensetzung des Häckselgutes einen Einfluss auf die Wirksamkeit haben, wie in Untersuchungen unter Gewächshausbedingungen mit verschiedenen Gehölzarten gezeigt werden konnte. Ermittelt wurde, dass die Gehölzart des applizierten Grünguthäcksel einen signifikanten Einfluss auf die Keimung und das Wachstum der Referenzfrucht Kresse hat (Daten nicht dargestellt), wobei die Verwendung von Nadelgehölzen (*Pinus*, *Chamaecyparis*) eine deutlich stärkere Wirkung zeigten, als Laubgehölze. Als mögliche Ursache von Keimhemmungen bei Pflanzen wurden von Hildebrand (1979) die bei mikrobieller Umsetzung freiwerdenden Phenolverbindungen und sekundäre Pflanzenstoffe identifiziert. Schlussfolgern lässt sich, dass mit dem Einsatz von Grünguthäcksel in Abhängigkeit von Gehölzart, Aufwandmenge und Art der Ausbringung Einfluss auf eine Verminderung der Verunkrautung bei Körnerleguminosen genommen werden kann.

## Literatur

Schmidt, B., Brandt, M., Wildhagen, H.(1997):Einfluss von Grünguthäcksel- und Kompostanwendung auf physikalische Parameter einer Ackeroberfläche. *Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Ges.* 83, 317-374

Hildebrand, E., E.(1979):Erfassung und Charakterisierung von Polyphenolen als potentiellen Wuchshemmstoffen in kompostierten Siedlungsabfällen. *Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Ges.* 29, 609-622



## **Wirkung der Bodenbedingungen auf N-Umsatz und -Aufnahme von Harnstoffdüngern unter dem Einfluss von Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren**

Andreas Pacholski, Kang Ni und Henning Kage

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

### **Einleitung**

Harnstoff war im Jahr 2009 der weltweit bedeutendste synthetische N-Dünger und lag in Deutschland nach KAS an der 2. Stelle des N-Düngerverbrauchs (IFA, 2012). Der Stickstoff im Harnstoff ist nach hydrolytischer Umsetzung im Boden mit dem Enzym Urease zu Ammonium den Pflanzen als Nährstoff verfügbar. Auf Grund der dabei erfolgenden CO<sub>2</sub>-Freisetzung mit pH-Wert-Erhöhung ist Harnstoffdüngung potentiell mit hohen Ammoniak(NH<sub>3</sub>)-Verlusten nach Ausbringung (Sommer et al. 2004) verknüpft. Diese Verluste können signifikante Nährstoffverluste darstellen und tragen zu beträchtlichen Umweltschäden bei. Harnstoff wird vor diesem Hintergrund auch in Kombination mit Ureaseinhibitoren appliziert. Durch eine verzögerte Harnstoffumsetzung können so die NH<sub>3</sub>-Verluste reduziert werden. Zur Verringerung der Nitrifikation und dadurch von potentiellen Auswaschungs- und (De-)Nitrifikationsverlusten (N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) können Nitrifikationsinhibitoren eingesetzt werden. Diese Effekte und die N-Verfügbarkeit von Harnstoff sind von Umsetzungsprozessen im Boden und steuernden Umweltfaktoren abhängig. Über die Höhe der N-Verluste von Harnstoff mit verschiedenen Inhibitoren in Abhängigkeit von den Boden- und Witterungsbedingungen besteht noch große Unsicherheit und es liegen nur wenige quantitativ valide Daten bezüglich der NH<sub>3</sub>-Verluste unter Bedingungen Mitteleuropas vor.

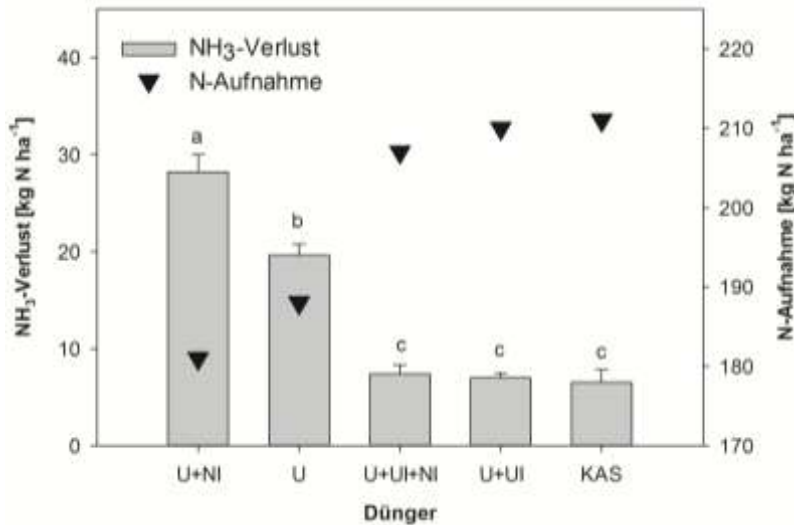
### **Material und Methoden**

NH<sub>3</sub>-Emissionen sowie Ertragswirkung und N-Aufnahme von Harnstoff mit und ohne Urease (2-NPT)- oder Nitrifikationsinhibitor (DCD) (U, U+UI, U+NI) und mit beiden Inhibitoren (U+UI+NI) wurden im Jahr 2011 am Versuchsstandort Hohenschulen bei Kiel in Winterweizen (cv. Akteuer) im Vergleich zu KAS (KAS) und Kontrolle in einem vollrandomisierten Versuch (n =4 ) geprüft. Die N-Düngung (200 kg N ha<sup>-1</sup>) erfolgte in 3 (U, U+UI, KAS) und 2 Teilgaben (U+NI, U+UI+NI). Die Messung der NH<sub>3</sub>-Verluste erfolgte durch Kombination von Passivsammlern mit einer kalibrierten Kammermethode (Gericke et al. 2011). Außerdem wurde die Geschwindigkeit des Harnstoffumsatzes (Ureaseaktivität, Bremner and Mulvaney 1978) bei Verwendung der verschiedenen Harnstoffdünger in Abhängigkeit von der Temperatur und der Düngerkonzentration in einem Labor-Batchversuch mit Bodenmaterial aus Hohenschulen (lehmgiger Sand, pH 6.7) untersucht.

### **Ergebnisse und Diskussion**

In dem Feldversuch wurden bezüglich der NH<sub>3</sub>-Verluste signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Düngern ermittelt, wobei Harnstoff mit NI (15% Dünger N) noch vor Harnstoff (10 %) die signifikant höchsten Verluste aufwies (Abb. 1). Die beiden Varianten mit UI lagen gleichauf mit der KAS-Variante (<5%). Die hohen Verluste bei Harnstoff mit NI (17% Dünger-N) können auf die Bedingungen bei der 2.

N-Gabe zurückgeführt werden (feuchter Boden, warm). Aufgrund der trockenen Witterung im Frühsommer 2011 wurden relativ geringe Erträge ohne signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten erzielt. Die Düngevarianten ( $\text{NH}_3$ -Verluste) hatten aber einen signifikanten Effekt auf die N-Aufnahme (Abb. 1)



**Abb. 1:**  $\text{NH}_3$ -Verluste und N-Aufnahme von Winterweizen bei Verwendung unterschiedlicher Harnstoffdünger (U = Harnstoff, NI = Nitrifikationsinhibitor, UI = Ureaseinhibitor)

**Tab. 1:** Kovarianzanalyse der Ureaseaktivität in Abhängigkeit von der Harnstoffform, -konzentration und Temperatur (UI = Ureaseinhibitor, NI=Nitrifikationsinhibitor)

Parameter	Variable	Schätzwert	P
$A_0$	Achsenabschnitt	3.82**	<0.001
$A_1$	Temperatur	1.03**	<0.001
$A_2$	Harnstoffkonzentration	7.87**	<0.001
$A_3$	UI	0.60**	<0.001
$A_4$	NI	1.65**	<0.001
$A_5$	UI:NI	0.75**	<0.001
Adj. $R^2=0.86$		RMSE=3.22	rRMSE=0.22

Im Inkubationsversuch wurden signifikante Unterschiede in der Ureaseaktivität ermittelt (Tab. 1): erwartungsgemäß wies die Variante mit Ureaseinhibitor die langsamste Harnstoffhydrolyse auf. Aber auch der Nitrifikationsinhibitor besaß eine signifikante, beschleunigende Wirkung und eine signifikante Interaktion mit dem Ureaseinhibitor. Sowohl Temperatur als auch die Düngerkonzentration hatten einen positiven Effekt. Diese Effekte wurden auch durch die Unterschiede bei den verschiedenen Ausbringungsterminen im Feldversuch bestätigt. Darüber hinaus hatte die Bodenfeuchtigkeit einen entscheidenden Effekt auf den Harnstoffumsatz und die  $\text{NH}_3$ -Verluste. Ähnlich wie bei organischen Düngern können bei Harnstoff durch Beachtung der Bodenbedingungen und Inhibitoreinsatz N-Wirksamkeit des Düngers und die  $\text{NH}_3$ -Verluste gesteuert werden. Die Untersuchungen bilden eine Grundlage zur Quantifizierung dieser Effekte in einer zukünftigen Modellanwendung.

## Literatur

- Gericke, D., Pacholski A., Kage H.(2011): Measurement of ammonia emissions in multi-plot field experiments, *Biosystems Engineering*, 108(2) 164-173
- IFA (2012), International Fertilizer Industry Association, Database, <http://www.fertilizer.org/ifa/ifadata>, Zugriff 21.06.2012
- Bremner, J. M. and Mulvaney, R. L. 1978. Urease activity in soils. - In: Burns, R. G. (ed.) *Soil enzymes*. Academic Press, pp. 149 - 187.
- Sommer, S. G., Schjoerring, J. K. and Denmead, O. T. 2004. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. - In: *Advances in Agronomy*, Vol 82, pp. 557-622

## Tanningehalt und -struktur ausgewählter Pflanzenextrakte

Marika Schweigmann<sup>1</sup>, Friedhelm Taube<sup>1</sup>, Hartwig Schulz<sup>2</sup>, Wolfgang Schütze<sup>2</sup> und Martin Gierus<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau / Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; <sup>2</sup> Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz / Julius Kühn-Institut, Quedlinburg. E-Mail: mschweigmann@gfo.uni-kiel.de

### Einleitung

Tannine sind Gerbstoffe, welche die Eigenschaft besitzen, Komplexe mit Proteinen einzugehen. Damit wird die Proteinabbaubarkeit durch Mikroorganismen im Pansen reduziert, die Proteinverfügbarkeit im Dünndarm potentiell erhöht und so die Nutzungseffizienz von Futterprotein verbessert.

Viele Wiesenkräuter und Futterleguminosen enthalten Tannine, jedoch nur in geringen Konzentrationen. Somit wäre der effektive Einsatz von industriell hergestellten Tanninextrakten als Futtermittelzusatzstoff ein großer Fortschritt. In der vorliegenden Studie wurden darum Extrakte aus Quebracho (*Schinopsis lorentzii*), Mimose (*Acacia mearnsii*), Tara (*Caesalpinia spinosa*) und Gambier (*Uncaria gambir*) mittels HPLC-MS genauer analysiert.

### Material und Methoden

Quebracho-, Mimosen- und Tara-Extrakt stellte Otto Dille® (Norderstedt; Handelsmarke der Baeck & Co. Hamburg (GmbH & Co. KG)) bereit. Den Gambier-Extrakt lieferte die Christian D. Markmann GmbH (Hamburg).

Für die Messung mittels Reversed-Phase-Liquid-Chromatography/ESI-MS wurden verschiedene Aufbereitungsmethoden getestet: Extraktion mit Heißwasser, mit Wasser:Methanol (1:1) und mit Aceton:Wasser:Ameisensäure (70:29,5:0,5). Die Messungen erfolgten an einer HPLC-Anlage (1200 Series mit DAD; Agilent Technologies Deutschland GmbH, Böblingen) unter Verwendung von 0,1%iger Ameisensäure und Methanol:Ameisensäure (99,9:0,1) als Eluenten bei einer Analysezeit von 42 min je Probe. Als Trennsäule diente eine Accucore RP-MS (150x3.0mm 2.6µm Solid Core HPLC Column) mit Vorsäule. Nachgeschaltet war ein Ion Trap-Massenspektrometer (Esquire3000; Bruker Daltonics GmbH, Bremen). Die Messungen erfolgten unter Einsatz der ESI-Quelle im negativen Ionenmodus.

Der Tanningehalt wurde nach Integration der UV/VIS-Peaks bei 280 nm bestimmt. Die Quantifizierung erfolgte auf Basis der Kalibrationskurven von Procyanidin C1 (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, München) bzw. bei Tara auf der Basis von Epigallocatechingallat (Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe). Die Auswertung erfolgte mittels R Software über simultane Mittelwertsvergleiche mittels multipler Kontrasttests.

### Ergebnisse und Diskussion

Aus den Messungen ergaben sich die in Tabelle 1 dargestellten Tanningehalte. Der Heißwasserextrakt lieferte signifikant höhere Werte als die Extraktion mit Methanol oder Aceton ( $P < 0,005$ ). Auffällig war, dass der Einsatz der letzteren im Gegensatz zu Wasser teilweise zu Überlagerung der charakteristischen Tanninspektren führte. Zusätzlich verursachte Aceton einen typischen Störpeak, der vorhandene Tanninpeaks überdeckte. Die Pflanzenarten unterschieden sich meist untereinander.

Für Mimose und Gambier unterschieden sich die Extraktionsvarianten mit Methanol bzw. Aceton nicht, bei Quebracho und Tara resultierte die Verwendung von Aceton in geringeren Tanningehalten ( $P < 0,0001$ ). Methodenübergreifend sind die Werte nur bedingt vergleichbar, speziell bei Tara ergeben sich zur Butanol/HCl-Messung massive Unterschiede (siehe dazu Schweigmann *et al.*, 2012).

**Tabelle 1:** Tanningehalte der Extrakte in g/kg mittels HPLC-MS anhand verschiedener Extraktionsverfahren auf Basis von Procyanidin C1 (C1) und Epigallocatechingallat (EG); Standardfehler = 1,3.

	Heißwasser	Wasser:Methanol <sup>1</sup>	Acetonaufschluss <sup>2</sup>
Quebracho (C1)	164,3 <sup>ab</sup>	152,4 <sup>bB</sup>	139,1 <sup>cC</sup>
Mimose (C1)	108,2 <sup>aC</sup>	101,9 <sup>bC</sup>	98,2 <sup>bD</sup>
Tara (EG)	647,5 <sup>aA</sup>	633,6 <sup>bA</sup>	572,9 <sup>cA</sup>
Gambier (C1)	169,3 <sup>ab</sup>	154,3 <sup>bB</sup>	152,9 <sup>bB</sup>

<sup>1</sup> Wasser:Methanol 1:1; <sup>2</sup> Aceton:Wasser:Ameisensäure 70:29,5:0,5

<sup>a,b</sup> Buchstaben zeigen signifikante Differenzen zwischen Methoden innerhalb des Extrakts ( $P < 0,005$ )

<sup>A,B</sup> Buchstaben zeigen signifikante Differenzen zwischen Extrakten innerhalb der Methode ( $P < 0,005$ )

Venter *et al.* (2012) untersuchten ebenfalls industriell hergestellten Quebracho-extrakt und identifizierten *ent*-fisetinidol-4 $\beta$ -ol ([M-H]<sup>-</sup> 289) als vorherrschenden monomeren Baustein sowie dessen Oligomere bis zum Heptamer. Diese konnten in relativ geringer Intensität auch im vorliegenden Quebrachoextrakt nachgewiesen werden (da der MS-Scan im Bereich bis m/z 1800 erfolgte, war hier maximal das Hexamer detektierbar). Mit sehr hoher Intensität trat hier zusätzlich die Masse [M-H]<sup>-</sup> 915 auf. Die Fragmentierung zeigte, dass es sich um ein Abbauprodukt der Oligomere handeln muss und somit zu den Tanninen zu zählen ist. Es ist zu vermuten, dass diese Verbindung durch das Extraktionsverfahren des Extrakterstellers entstanden ist. Trotz der Abweichung der Tanninstruktur im Quebracho-Extrakt vom ursprünglichen -Holz scheint die Fähigkeit zur Komplexierung mit Proteinen weiterhin gegeben (Schweigmann *et al.*, 2012).

Während die Tanningehalte in den anderen Extrakten auf Basis von Procyanidin C1 quantifiziert wurden, erfolgte bei Tara die Quantifizierung auf der Basis von Epigallocatechingallat, da sich dessen Tanninstruktur sehr von der der anderen unterschied. Die Massenverteilung im MS-Spektrum zeigt Tannine mit der Massendifferenz von m/z 152. Laut Mane *et al.* (2007) handelt es sich hierbei um die Anlagerung von Galloyl-Resten. Die Grundstruktur ohne einen Galloyl-Rest, [M-H]<sup>-</sup> 191, konnte ebenfalls nachgewiesen werden.

Eine Heißwasserextraktion scheint am besten geeignet, um Tannine möglichst umfangreich aus dem Probenmaterial zu isolieren und den störenden Einfluss der Probenmatrix zu reduzieren. Sowohl die Messmethode als auch die gewählte Basis für die Quantifizierung haben großen Einfluss auf den messbaren Tanningehalt.

## Literatur

- Mane, C.; N. Sommerer; T. Yalcin; V. Cheynier; R.B. Cole und H. Fulcrand 2007: Assessment of the Molecular Weight Distribution of Tannin Fractions through MALDI-TOF MS Analysis of Protein-Tannin Complexes. *Analytical Chemistry* 79: 2239-2248.
- Schweigmann, M.; F. Taube und M. Gierus 2012: Tannin extracts and their BSA precipitation ability at different pH values *in vitro*. *Proceedings of the 24th General Meeting of the European Grassland Federation, Grassland Science in Europe* 17: 326-328.
- Venter, P.B.; M. Sisa; M.J. van der Merwe; S.L. Bonnet und J.H. van der Westhuizen 2012: Analysis of commercial proanthocyanidins. Part 1: The chemical composition of quebracho (*Schinopsis lorentzii* and *Schinopsis balansae*) heartwood extract. *Phytochemistry* 73: 95-105.

## **<sup>15</sup>N-Spurenanreicherung zur Ermittlung der N-Verwertung aus legumer Gründüngung durch Weizen in Systemen differenzierter Bodenbearbeitung**

Jette Stieber<sup>1</sup> und Knut Schmidtke<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau/Landespflege, Fachgebiet Ökologischer Landbau. E-Mail: stieber@htw-dresden.de

### **Einleitung**

Eine Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität hat häufig eine verminderte und verzögerte Mineralisierung von Nährstoffen, insbesondere Stickstoff zur Folge (Berner et al. 2008). Die Umsetzung von Stickstoff kann durch eine intensive Bearbeitung des Bodens gefördert und durch unterlassene Bearbeitung gehemmt werden. Im ökologischen Landbau steht oftmals ungenügend Stickstoff im Boden zur Verfügung, um im Weizenbau hohe Proteingehalte im Korn zu erzielen. Der im Folgenden beschriebene Feldversuch widmet sich dem Anbau von Winterweizen im ökologischen Landbau in Mulch- und Direktsaat und der Verwendung einer Gründüngung mit Erdklee. Hierbei wurde mittels <sup>15</sup>N-Spurenanreicherung geprüft, wie sich eine differenzierte Grundbodenbearbeitung auf die Umsetzung des Stickstoffes aus der Sprossmasse des Erdklee auswirkt.

### **Material und Methoden**

Der Feldversuch wurde in Pinkowitz bei Dresden (Parabraunerde aus Löss) in einer 2- (Erbse) bzw. 3-faktoriellen (Weizen) Spaltanlage in 2009 und 2010 angelegt. Die Körnererbse (cv. Santana, 90 kf. Körner m<sup>-2</sup>) wurde am 19.04.09 bzw. 08.04.10 nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug oder Grubber mittels einer Parzellendrillmaschine (Hege 80), oder in Direktsaat eingesät. Eine Woche später wurde eine Untersaat mit Erdklee (cv. Dalkeith, 2000 kf. Körner m<sup>-2</sup>) als Gründüngung eingebracht. Am 26.10.09 bzw. 23.10.10 wurde Winterweizen (cv. Achat, 300 kf. Körner m<sup>-2</sup>) analog zu den Saatsystemen zur Körnererbse (Pflug/Grubber/Direktsaat), jedoch quer zur Einsaat der Erbse, eingesät. Um den Anteil des Stickstoffes aus der Untersaat Erdklee die im Winterweizen verfügbar wird, zu quantifizieren, wurde auf dem Versuchsfeld der HTW Dresden in Dresden-Pillnitz eine Fläche von 280 m<sup>2</sup> mit Erdklee (cv. Dalkeith, 1000 kf. Körner m<sup>-2</sup>) am 07.07.2009 bzw. 27.07.2010 eingesät. Im Verlauf des Wachstums wurde an 3 Terminen <sup>15</sup>N-Harnstoff (10 atom%) mit einer Gesamtmenge von 0,33 g m<sup>2</sup> mittels einer Pflanzenschutzspritze ausgebracht. Vor der Einsaat des Winterweizens in Pinkowitz wurde in jeder Parzelle mit Untersaat Erdklee 3-mal eine 2,5 m x 2,5 m große Fläche der Erdkleeaufwuchs abgeschnitten und das Schnittgut entfernt. Angereichertes Schnittgut des Erdklee aus Dresden-Pillnitz wurde zu Portionen von 0,3 kg TM m<sup>-2</sup> in 2009 bzw. 0,22 kg TM m<sup>-2</sup> in 2010 auf diese Teilflächen aufgebracht und gleichmäßig verteilt. In 2009 betrug der Anreicherungsgrad des Erdklee 0,4096 atom% <sup>15</sup>N mit einem N-Gehalt von 2,97 %, im folgenden Jahr 0,4507 atom% <sup>15</sup>N mit einem N-Gehalt im Spross von 3,23 %. Zu BBCH 39, 59 und 89 des Weizens wurde dessen Sprossmasse aus Parzellen mit angereichertem Erdklee und ohne Erdklee entnommen. Der <sup>15</sup>N-Gehalt der Proben wurde bestimmt und anschließend berechnet, wie hoch der Anteil N im Spross des Weizens war, der

aus Gründung stammte und wie viel N aus Erdklee zu welchem Zeitpunkt der Entwicklung des Weizens verfügbar wurde.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Der Winterweizen in Parzellen, in denen angereicherter Erdklee ausgebracht wurde, wies in beiden Versuchsreihen an allen Terminen der Sprossprobennahme einen signifikant höheren Anreicherungsgrad auf, als Weizen der Parzellen, in denen kein Erdklee ausgebracht wurde. Die Anteile Stickstoff im Spross des Winterweizens aus Spross-N der Untersaat Erdklee wurden nicht signifikant durch die Bodenbearbeitung zur Vorfrucht Erbse beeinflusst. In beiden Versuchsjahren konnten an allen Terminen der Sprossprobennahme im Winterweizen tendenziell geringere Anteile Stickstoff im Spross des Weizens, die aus Spross-N des Erdklee stammen, mit Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität zur Saat des Weizens beobachtet werden. Die Anteile Stickstoff im Spross des Winterweizens aus Spross-N des Erdklee waren in beiden Versuchsjahren mit fortschreitendem Wachstum des Weizens rückläufig. Die Höhe der N-Menge im Winterweizenspross, die aus der Erdklee sprossmasse akkumuliert wurde, wurde nur zur dritten Probenahme in 2011 durch die Bodenbearbeitung zur Vorfrucht Körnererbse signifikant beeinflusst. Hier konnten nach einer reduzierten Bodenbearbeitung mit dem Grubber im Mittel im Spross des Weizens  $4,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  mehr als nach Direktsaat zu Körnererbse gemessen werden. Einen gesicherten Effekt bei allen Terminen der Entnahme von Sprossproben in beiden Versuchsreihen konnte jedoch bei der Bodenbearbeitung zur Saat des Winterweizens ausgewiesen werden. Mit Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität konnten stets sinkende N-Mengen aus der Erdklee sprossmasse im Winterweizen erhoben werden. Der Anteil Stickstoff im Spross des Erdklee, der in der folgenden Kultur Winterweizen verfügbar wurde, war nur zur 3. Probenahme in 2011 signifikant durch die Bodenbearbeitung zur Saat der Körnererbse beeinflusst. Nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber zur Vorfrucht wurden im Mittel mit 13,96 % signifikant höhere N-Anteile aus Erdklee im Weizen verfügbar als in Direktsaat mit 7,83 %. Die N-Anteile des Erdklee, die im Weizen verfügbar wurden, waren jedoch an allen Terminen der Sprossprobennahme in 2010 und 2011 signifikant durch die Bodenbearbeitung zur Saat des Winterweizens beeinflusst. Mit Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität zur Saat des Weizens ging auch die Verfügbarkeit des Stickstoffes aus der Erdklee sprossmasse zurück.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine  $^{15}\text{N}$ -Isotopenanreicherung von Weizen mit vergleichsweise niedrig  $^{15}\text{N}$ -markiertem Stickstoff Sprossmasse des Erdklee im Feld gut möglich ist. Mit Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität zur Saat des Winterweizens wurde offenbar die Mineralisierung von Stickstoff aus der Mulchmasse des Erdklee deutlich gehemmt. Keine deutliche Wirkung auf die Mineralisierung von Stickstoff aus dem Erdklee spross hatte die Bodenbearbeitung zur Saat der Vorfrucht Körnererbse.

Das Projekt wurde gefördert durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung aus Mitteln des Bundesprogrammes Ökologischer Landbau (08OE146).

### **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 & Tillage Research* 101, 89-96.

## **Rein- und Mischfruchtanbau von Sommer- und Wintererbsen bei differenzierter Bodenbearbeitungstiefe im Ökologischen Landbau**

Annkathrin Gronle<sup>1</sup> und Herwart Böhm<sup>1</sup>

<sup>1</sup> vTI, Institut für Ökologischen Landbau, Westerau; E-Mail: annkathrin.gronle@vti.bund.de

### **Einleitung**

Die Leistungsfähigkeit des Körnererbsenanbaus hängt in hohem Maße vom Sortentyp, der Anbauform, aber auch von einer optimalen Bodenbearbeitung ab. Ein Mischfruchtanbau kann bei halbblattlosen Erbsen die Unkrautunterdrückung und bei normalblättrigen Erbsen die Standfestigkeit verbessern. Gleichzeitig ist eine Reduzierung der Pflugtiefe ein erster Ansatz für eine boden- und ressourcenschonendere Bearbeitung. Ziel ist es daher, die Leistungsfähigkeit von Sommer- und Wintererbsen unterschiedlichen Wuchstyps in Reinsaat oder im Mischfruchtanbau bei flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung zu untersuchen.

### **Material und Methoden**

In den Jahren 2009 und 2010 wurden am Standort Trenthorst (sL, 740 mm, 8,7°C) Feldversuche zum Mischfruchtanbau von halbblattlosen Sommererbsen mit Hafer und von normalblättrigen Wintererbsen mit Triticale bei flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung im Split-Plot-Design mit vierfacher Feldwiederholung angelegt und hinsichtlich des Aufkommens annueller Unkräuter, der Standfestigkeit, der Ertragsleistung und der N<sub>2</sub>-Fixierleistung untersucht. Bei der tiefwendenden Variante folgte der Stoppelbearbeitung mit einem Exaktgrubber (8-10 cm Tiefe), die Bearbeitung mit dem Pflug (25-27 cm Tiefe). Für die flachwendende Bearbeitung wurden zwei Arbeitsgänge mit dem Stoppelhobel in 14-tägigem Abstand durchgeführt (4-6 cm, 8-12 cm). In den Sommererbsen-Versuchen wurden eine Erbsen-Reinsaat (Sorte Santana, 80 Körner m<sup>-2</sup>) und ein Erbsen-Hafer-Gemenge (80 Körner Erbse + 60 Körner Hafer m<sup>-2</sup>) angebaut. Als Wintererbse wurde die buntblühende Sorte EFB 33 in Reinsaat (80 Körner m<sup>-2</sup>) und in Mischsaat mit Triticale (40 Körner Erbse + 150 Körner Triticale m<sup>-2</sup>, Saat in alternierenden Reihen) untersucht. Das Unkrautauftreten wurde je Parzelle auf einer Fläche von 0,5 m<sup>2</sup> zum Zeitpunkt der Blüte und in 1 m<sup>2</sup> zur Reife der Erbsen erfasst. Zur Bewertung der Standfestigkeit wurde der HEB-Index berechnet. Für die Erfassung der Ertragsstruktur wurde je Parzelle 1 m<sup>2</sup> von Hand beerntet und ein Kerndrusch auf einer Fläche von 18 m<sup>2</sup> durchgeführt. Die N<sub>2</sub>-Fixierleistung wurde mittels einfacher N-Differenzmethode berechnet.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Der Anteil der Unkrautbiomasse an der gesamten oberirdischen Biomasse lag zum Zeitpunkt der Erbsenblüte in den Sommererbsen-Reinsaaten signifikant (2009: 28,6%, 2010: 14,1%) über dem Wert der Sommererbsen-Hafer-Gemenge (2009: 18,0%, 2010: 12,1%). Zudem fiel in den Sommererbsen-Versuchen der Anteil der Unkrautbiomasse bei flachwendender Bearbeitung höher aus als bei tiefwendender Bearbeitung, wobei der Unterschied nur im Jahr 2010 signifikant war. In den Beständen der normalblättrigen Wintererbsen lag der Anteil der Unkrautbiomasse auf sehr niedrigem Niveau (2009: 6,2%, 2010: 1,7% in den Reinsaaten), wobei auch keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Anbau in Rein- oder in Mischsaat

bzw. zwischen der flach- und tiefwendenden Bodenbearbeitung zu erkennen waren. Die Verunkrautung der Erbsen zur Reife deckt sich mit den Ergebnissen zur Blüte.

Die Standfestigkeit der normalblättrigen Erbsen wurde durch den Mischfruchtanbau signifikant erhöht. Die halbblattlosen Sommererbsen waren allerdings deutlich standfester als die normalblättrigen Wintererbsen, so dass ein Anbau im Gemenge mit Hafer lediglich im nassen Sommer 2010 zu einer signifikant besseren Standfestigkeit geführt hat. Das deckt sich mit den Ergebnissen von Urbatzka et al. (2011).

Die Ertragsleistung des Gemenges bzw. der Mischsaat lag im Jahr 2009 signifikant über dem Wert der Erbsen-Reinsaaten (Tab.1). Im Jahr 2010 war der Ertragsunterschied nur tendenziell, was vor allem auf eine schlechte Bestockung des Hafers bzw. der Triticale in diesem Jahr zurückgeführt werden kann. Der Ertragsanteil der Erbse im Gemenge lag bei den Sommererbsen tendenziell (2009: 11,4 dt ha<sup>-1</sup> TM) und signifikant (2010: 13,4 dt ha<sup>-1</sup> TM) unter dem Ertrag der Reinsaat. Die Erträge der Wintererbse in der Mischsaat mit Triticale fielen dagegen in beiden Jahren höher aus als die Erträge der Erbse in Reinsaat (2009: 32,0 dt ha<sup>-1</sup>, 2010: 24,5 dt ha<sup>-1</sup> TM). Dies lässt auf unterschiedliche Konkurrenzverhältnisse zwischen Erbse und Getreidepartner in den Sommererbsen-Hafer-Gemengen und den Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten schließen. Zwischen der flach- und der tiefwendenden Bearbeitung gab es keine Unterschiede hinsichtlich der Ertragsleistung.

**Tab. 1:** Einfluss von Anbausystem und Bodenbearbeitung auf den Gesamtertrag (dt ha<sup>-1</sup> TM) von Sommer- und Wintererbsen in den Jahren 2009 und 2010.

Faktor	Stufe	Sommererbsen		Wintererbsen	
		2009	2010	2009	2010
Anbausystem	Reinsaat	13,0 b	15,7 a	16,9 b	19,9 a
	Gemenge	23,2 a	16,2 a	36,5 a	25,4 a
Bodenbearbeitung	tiefwendend	19,2 a	15,9 a	25,1 a	20,1 a
	flachwendend	17,0 a	16,1 a	28,3 a	25,2 a

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Anbausystemen bzw. den Bearbeitungsvarianten ( $p < 0,05$ , Tukey-Test).

Der Anbau im Gemenge führte bei den Sommererbsen zu einer signifikant höheren N<sub>2</sub>-Fixierleistung (2009: 91,1 kg ha<sup>-1</sup>, 2010: 79,5 kg ha<sup>-1</sup>) im Vergleich zur Reinsaat (2009: 32,6 kg ha<sup>-1</sup>, 2010: 43,5 kg ha<sup>-1</sup>). Die N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Wintererbsen lag dagegen mit 161,7 kg ha<sup>-1</sup> (2009) und 168,8 kg ha<sup>-1</sup> (2010) in den Reinsaaten deutlich über dem Wert der Sommererbsen, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Anbausystemen vorlagen. Die flachwendende Bodenbearbeitung führte bei den Sommererbsen zu vergleichbaren, bei den Wintererbsen zu einer tendenziell oder signifikant höheren Fixierleistung.

Der Mischfruchtanbau von Erbsen wirkte sich auch aufgrund einer guten Unkrautunterdrückung und einer Verbesserung der Standfestigkeit positiv auf die Ertragsleistung aus. Die flachwendende Bearbeitung führte bei den halbblattlosen Sommererbsen trotz einer etwas höheren Verunkrautung zu vergleichbaren und bei den normalblättrigen Wintererbsen zu besseren Ergebnissen im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung.

## Literatur

Urbatzka, P.; R. Graß, T. Haase, C. Schüler, D. Trautz und J. Heß 2011: Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Organic Agriculture* 1: 187-202.

Die Untersuchungen werden durch das BÖLN gefördert (FKZ 08OE009, FKZ 11OE085).



## Erhebung von Bestandesparametern bei Zuckerrüben mittels spektrometrischer Messung

Jorita Krieger, Michael Baumecker, Bärbel Kroschewski und Frank Ellmer

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Berlin.

E-Mail: Jorita.Krieger@agrar.hu-berlin.de

### Einleitung

Die Bewertung der Entwicklung von Pflanzenbeständen erfolgt über Parameter wie Blattflächenindex (BFI) und Blattertrag. Mit spektrometrischen Messverfahren können diese Merkmale vegetationsbegleitend nicht-destruktiv ermittelt werden. Ziel der Untersuchungen ist die Kalibrierung eines Spektrometers für verschiedene Bestandesparameter bei Zuckerrüben.

### Material und Methoden

In den Jahren 2008 bis 2011 wurden Feldversuche mit Zuckerrüben als randomisierte Block- bzw. Spaltanlage mit den Prüffaktoren Sorte, N-Düngung, Blattdüngung (Berlin-Dahlem, lehmiger Sand, 2008-2010) bzw. Erntetermin, Sorte, N-Düngung (Thyrow, schwach schluffiger Sand, 2011) durchgeführt. Die Messungen mit dem Spektrometer HandySpec Field der Firma tec5 wurden zeitnah zur Erhebung der Bestandesparameter durchgeführt. Als Referenzmessgerät zur BFI-Bestimmung wurde das LI-COR<sup>®</sup> LAI-2000 verwendet sowie beim Blattgrün der YARA<sup>®</sup> N-Tester. Der Blatt-Trockenmasseertrag wurde destruktiv in mehreren Teil-ernten erhoben. Die Ermittlung der Blattfläche erfolgte destruktiv mit dem LI-COR<sup>®</sup> LAI-3100. Daraus wurde unter Einbeziehung des Blatt-Trockenmasseertrages der BFI errechnet (Röver, 1995). Die Auswertung der Messwerte erfolgte mit der Statistiksoftware SAS<sup>®</sup> Version 9.2. Hierbei wurden die Spektrometermesswerte mit Hilfe von Makros in Vegetationsindizes umgerechnet und mit den entsprechenden Referenzmesswerten in Beziehung gesetzt. Aus den jeweiligen Regressionsfunktionen wurden dann die Bestandesparameter errechnet. Die verwendeten Vegetationsindizes stammen aus der Fernerkundung, wie der REIP und der SAVI, bzw. wurden neu gebildet (z.B.  $SR = \lambda_1 / \lambda_2$ ; nach Müller et al., 2008).

### Ergebnisse und Diskussion

Eine Kalibrierung des Spektrometers für das Merkmal Blattgrün war mit der verwendeten Methodik nicht möglich. Gründe hierfür sind wahrscheinlich, neben einer sortenspezifischen Blattgrünausprägung der Pflanzen, der vergleichsweise kleine Blattabschnitt, der mit dem YARA<sup>®</sup> N-Tester am jüngsten, am besten entwickelten Blatt erfasst wurde.

Der BFI konnte aus der spektralen Information des Pflanzenbestandes abgeleitet werden. Aus dem verwendeten Datensatz (Standort Berlin-Dahlem, 2009) wurde der Index  $SR = R_{650nm} / R_{630nm}$  berechnet und die Funktion  $y = -13,041x + 13,864$  zur BFI-Berechnung abgeleitet. Die Validierung dieser Funktion unter anderen Standortbedingungen (Thyrow, 2011) ergab nur ein  $r^2$  von 0,76, was wahrscheinlich auf den im Jahr 2011 deutlich besser entwickelten Pflanzenbestand zurückzuführen ist.

In weiterführenden Untersuchungen auf dem Standort Thyrow wurden der Index  $SR = R_{630nm} / R_{640nm}$  und die Formel  $y = 38,672x - 37,416$  zur BFI-Berechnung abge-

leitet. Insgesamt scheint eine Kombination der Spektrometermesswerte im Wellenlängenbereich von 630 bis 650 nm den besten Zusammenhang zu erzielen (Tab. 1).

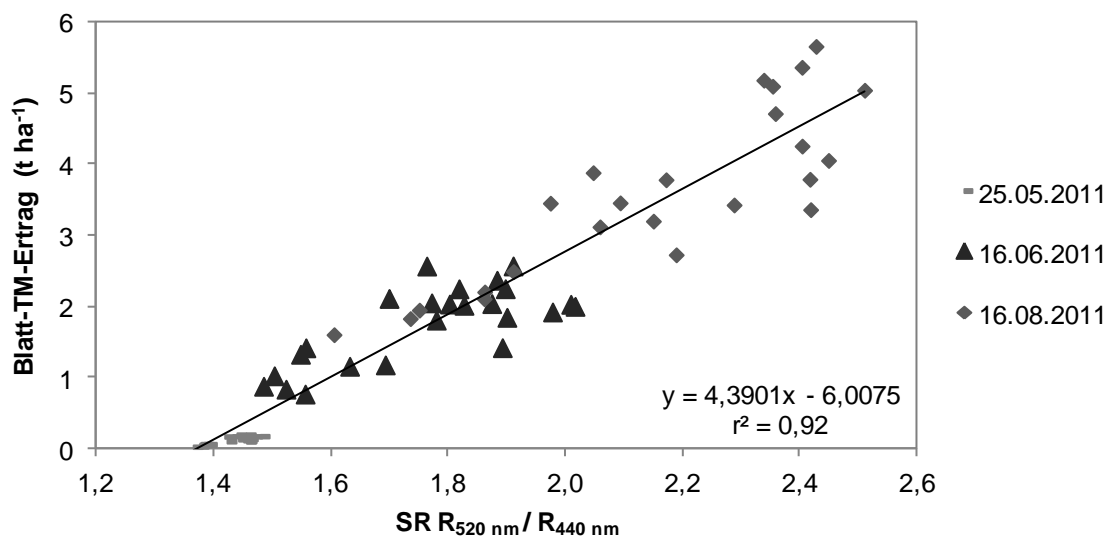
**Tab. 1:** Zusammenhang zwischen BFI (LAI-2000) und Vegetationsindex (SR)

Standort	Jahr	Saat	Zeitraum	Index $SR = \lambda_1 / \lambda_2$	$r^2$
Berlin-Dahlem	2009	09.04.	KW 24 – 28	$\lambda_1 = 650, \lambda_2 = 630$	0,79
Thyrow	2011	05.04.	KW 21 – 28	$\lambda_1 = 630, \lambda_2 = 640$	0,88
				$\lambda_1 = 650, \lambda_2 = 630$	0,87

Legende:  $\lambda$  Wellenband, KW Kalenderwoche

Darüber hinaus wurde mit  $r^2$ -Werten bis zu 0,82 ein relativ hoher linearer Zusammenhang zwischen dem gemessenen BFI (LAI-2000) und dem destruktiv bestimmten BFI gefunden. Zusammenfassend scheint der Index  $SR = R_{650\text{nm}} / R_{630\text{nm}}$  eher für gering entwickelte Zuckerrübenbestände geeignet zu sein, während  $SR = R_{630\text{nm}} / R_{640\text{nm}}$  auch bei BFI-Werten  $> 3$  einsetzbar ist. Beide Indizes können voraussichtlich ab der Hauptwachstumsphase der Blätter bis zum Bestandesschluss angewendet werden.

In ersten Ergebnissen aus dem Jahr 2011 wurde nach der gleichen Methodik wie beim BFI für den destruktiv in Zwischenernten bestimmten Blatt-Trockenmasseertrag der Index  $SR = R_{520\text{nm}} / R_{440\text{nm}}$  abgeleitet (Abb. 1).



**Abb. 1:** Lineare Regression zwischen dem  $SR R_{520\text{ nm}} / R_{440\text{ nm}}$  und dem Blatt-Trockenmasse-Ertrag, (Standort Thyrow, 2011)

Dementsprechend scheint ebenfalls die Berechnung des Blatt-Trockenmasseertrages aus der Bestandesreflexion der Zuckerrüben möglich zu sein. Die Versuche werden 2012 weitergeführt, um die gewonnenen Ergebnisse zu validieren.

## Literatur

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

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

## **Photosynthese- und Transpirationsraten von Sommerweizen und Futtermalve in Abhängigkeit von Feldfutter-Vorfrüchten und deren Anbaudauer**

Paul Martin Küpper<sup>1</sup>, Philipp Martin Antar<sup>1</sup>, Timo Kautz<sup>1</sup> und Ulrich Köpke<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Organischen Landbau, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.  
E-Mail: pkuepper@uni-bonn.de

### **Einleitung**

Mehrjähriger Feldfutterbau kann im Vergleich zu einer Fruchtfolge mit jährlichem Pflugeinsatz die Anzahl von mittleren und großen Bioporen im Unterboden erhöhen (Kautz et al. 2010). Daraus kann potenziell erleichtertes Wurzelwachstum in tiefere Bodenschichten und somit verbesserte Zugänglichkeit zu Wasser im Unterboden resultieren. In diesem Zusammenhang wurde im Rahmen des hier vorgestellten Versuchs geprüft, ob beim Futterpflanzenbau Pflanzenart und Anbaudauer Effekte auf die Photosynthese- und Transpirationsraten der Nachfrüchte Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.) und Futtermalve (*Malva sylvestris* L.) hatten.

### **Material und Methoden**

Auf einem tiefgründigen Lösslehm (Ackerzahl 93, Campus Klein Altendorf, Universität Bonn) wurden im Jahr 2010 Sommerweizen und Futtermalve nach ein-, zwei- und dreijähriger Kultur der Feldfutter-Vorfrüchte Luzerne (Lu), Wegwarte (Ww) und Rohrschwengel (Rs) angebaut, die bei Nutzungsreife gemulcht worden waren. Parzellen mit 60 m<sup>2</sup> Fläche bildeten die Varianten in vierfacher Feldwiederholung im Design einer dreifaktoriellen Streifenanlage ab.

Im März 2010 zwischen den Varianten bestehende Unterschiede in den N<sub>min</sub>-Gehalten des Bodens wurden durch eine Ausgleichsdüngung nivelliert.

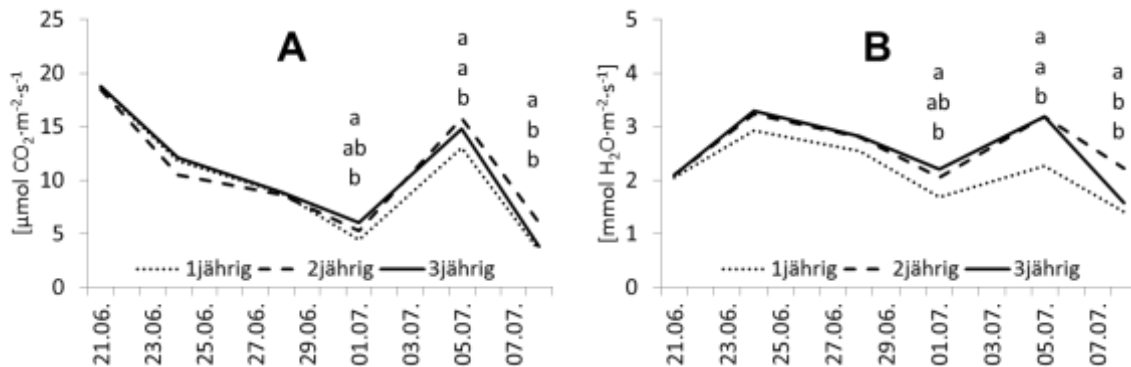
In sieben Vorfruchtvarianten bei Sommerweizen (Lu + Ww ein-, zwei- und dreijährig, Rs einjährig) sowie fünf bei Futtermalve (Lu + Ww ein- und zweijährig, Rs einjährig) wurden Photosynthese- und Transpirationsraten mit einem Porometer (CIRAS 2, PP Systems) gemessen. Bei Weizen wurden die Gaswechselraten an je fünf Fahnenblättern pro Parzelle zu sechs Zeitpunkten (BBCH 59 bis 84), bei Futtermalve an je fünf jungen, aber voll entfalteten Blättern je Parzelle zu ebenfalls sechs Zeitpunkten (ab BBCH 61) gemessen. Die Datenerhebung in Weizen bzw. Malve fand zeitlich versetzt statt, es fielen im Messzeitraum des Weizens deutlich geringere Niederschläge als in dem der Malve.

Die Blätter wurden in die Küvette licht- und gasdicht eingespannt und bei einem Gasvolumenstrom von 200 mL Min<sup>-1</sup> mit einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 400 ppm mit einer Photonenflussdichte von 1500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> beleuchtet. Die Photosynthese- und Transpirationsraten stiegen unter diesen Bedingungen an und erreichten nach ca. ein bis drei Minuten ihre jeweiligen Maxima. Diese wurden gespeichert, je Parzelle gemittelt und ausgewertet.

### **Ergebnisse und Diskussion**

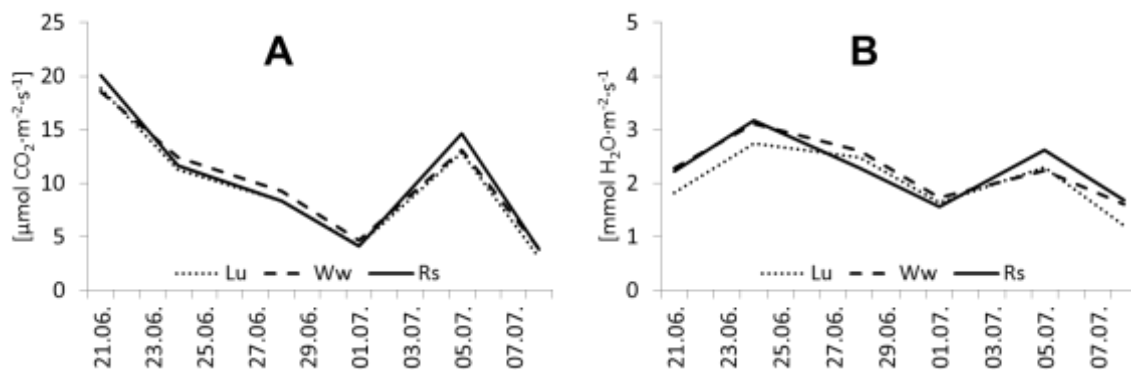
Die Photosyntheseraten (PR) und Transpirationsraten (TR) des Weizens nach Lu und Ww im Vergleich der ein- vs. der zwei- und dreijährigen Vorfrucht wiesen ab dem vierten Messtermin z. T. signifikante Unterschiede auf, wobei die TR nach einjähriger

Feldfutter-Vorfrucht bereits ab dem zweiten Messtermin konsistent geringer ist als nach mehrjähriger (Abb. 1 A und B).



**Abb. 1:** PR (A) und TR (B) von Sommerweizen nach ein-, zwei- und dreijähriger Vorfrucht (nur Lu + Ww). Werte mit unterschiedlichen Buchstaben sind sign. verschieden (Tukey  $\alpha=5\%$ ).

In Varianten mit einjähriger Feldfutter-Vorfrucht hatte die Pflanzenart keinen Einfluss auf PR oder TR des Weizens (Abb. 2 A und B).



**Abb. 2:** PR (A) und TR (B) von Sommerweizen nach Lu, Ww und Rs (nur einjährig). Werte mit unterschiedlichen Buchstaben sind sign. verschieden (Tukey  $\alpha=5\%$ ).

Ein Einfluss der Feldfutter-Vorfrucht auf PR und TR der Futtermalve in Abhängigkeit der Vorfruchtart oder ihrer Anbaudauer war nicht konsistent und/oder in zeitlicher Nähe zueinander auftretend (nicht dargestellt).

Die Ergebnisse der vorgestellten Untersuchung deuten darauf hin, dass Sommerweizen unter trockenen Bedingungen höhere PR und TR aufweisen kann, wenn eine mehrjährige Kultur der allorhizen Vorfrüchte Luzerne oder Wegwarte vorausging. Untersuchungen von Gaiser et al. (2012) am selben Standort zeigten, dass Sommerweizen nach zweijähriger Lu mehr Wasser aus 75-105 cm Bodentiefe entzog als nach einjähriger Lu. Vor diesem Hintergrund können die hier gezeigten Ergebnisse mit dem erleichterten Zugang der Weizenwurzeln zu Wasserreserven im Unterboden nach Anbau von mehrjährigen Futterpflanzen erklärt werden.

## Literatur

- Gaiser, T., Perkons, U., Küpper, P.M., Puschmann, D.U., Peth, S.; Kautz, T.; Pfeifer, J., Ewert, F., Horn, R.; Köpke, U. (2012): Evidence of improved water uptake from subsoil by spring wheat following lucerne in a temperate humid climate. *Field Crops Research* 126: 56-62.
- Kautz, T., Stumm, C., Kösters, R. und Köpke, U. (2010): Effects of perennial fodder crops on soil structure in agricultural headlands. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173: 490-501

## **Adaptation of wheat transpiration to soil heterogeneity**

Matthias Langensiepen<sup>1</sup>, Moritz Kupisch<sup>1</sup>, Anja Stadler<sup>1</sup> und Frank Ewert<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Crop Science Group, Institute of Crop Science and Resource Protection, Faculty of Agriculture, University of Bonn, Katzenburgweg 5, 53115 Bonn. E-Mail: mlang@uni-bonn.de

### **Introduction**

Soil heterogeneities in agricultural fields influence the physiological performances of field crops in many different ways. Crop-water relations and growth are strongly influenced by soil physical properties which determine the availability of soil water in space and time under given climatic conditions. Since soil heterogeneities are common, some portions of a crop are more subjected to limiting soil water supply conditions than others. Whether morphological adaptation to limited soil water supply or physiological regulation of stomatal conductance has the larger effect on crop transpiration has been subject to perennial discussions. The purpose of this study was to quantify this relation for wheat at an experimental site near Jülich located within the Rur catchment of Northrhine-Westfalia.

### **Material and Methods**

The experiment was carried out from May 3rd to July 6th 2011 at Selhausen near Jülich along a catena of soils with 1.5% slope and gradual transition from gravelly soils in the upper part to clay conditions in the lower part. The field was cultivated with winter wheat managed according to standard agronomic practice. Three sets of heat-balance sensors for measuring sap-flow in wheat were installed in the upper, middle, and bottom sections of the field, respectively. Each set consisted of 8 sensors which were installed in randomly selected tillers and monitored and controlled by standard dataloggers. Tiller diameters ranged between 3.1 and 5.2 mm. Calculated sensor outputs were extremely noisy when the equipment was operated according to standard procedures. We improved the interpretation of sensor outputs by taking into account the specific heat physical properties of wheat tillers and using an empirical procedure which correlates convective heat flux with measured vertical temperature difference between downstream and upstream sensors under state-conditions on a daily basis. The resulting equations were used for inferring sap-flow by multiplying daily temperature trends of measured vertical temperature differences (Langensiepen et al. 2012b).

Phenology, green leaf area index, leaf transpiration and conductance, as well as canopy transpiration and conductance were determined at bi-weekly intervals. The technique for inferring canopy transpiration from measured vapor concentration series has been described in Langensiepen et al. 2012a. Leaf-gas exchange was measured with a LI 6400XT (Licor, LI, Nebraska, USA) porometer. Data processing was carried with the software toolbox R.

### **Result and Discussion**

Weather conditions during the period of study were characterized by drought periods during wheat BBCH stages 30 to 39. Severely different soil physical conditions within the field and resulting contrasts in soil water availabilities caused corresponding differences in leaf growth, tiller numbers and heights. Wheat showed extremely

flexible morphological adaptations to small-scale differences in soil conditions, particularly in the gravelly part of the field. Frequent sufficient rain during the following growth stages exposed the crop to non-limiting water supply and even led to late tillering in the formerly stressed parts (Zwiewuchs) while other parts of the crop were already drying.

Sap-flow rates in wheat tillers remained similar after the crop has reached its final height in all portions of the field with average midday peak values of 1.2 g/tiller/hr. Leaf stomatal conductance and transpiration also didn't differ significantly between different field locations. These observations confirm results of other studies in which wheat showed an anisohydric response to decreasing soil water availability which is characterized by a decrease in leaf water potential with decreasing root water potential, osmotic adjustment and maintenance of stomatal conductance.

Strong differences in canopy transpiration were observed between gravelly and clay-dominated parts of the field at all times (Kupisch et al. 2011). Since sap-flow and leaf transpiration did not differ amongst measuring locations, morphological adaptation to different levels of soil moisture supply must be the cause. This was partly confirmed by measurements of green leaf area indices which differed significantly between locations, with an average of GLAI=1.4 in gravelly soils and GLAI=5.7 in clay dominated soils, respectively.

Adaptation of leaf area to stress is only one of several mechanisms, however, which wheat plants invoke for changing transpiration rates in response to limited soil water supply. Leaf contraction, angle changes, wilting, shedding, distribution along the tiller axis, reducing tiller numbers, change of biomass allocation between shoots and roots, and adaptation of root architecture are several structural adaptation mechanisms which all strongly impact on the hydraulic architecture of wheat plants. Physiologically, osmotic adjustment is an important biochemical mechanism which helps wheat to acclimatize to decreasing soil-water availability in numerous ways including signaling and differential gene activation. How structural and functional adaptation mechanisms act in concert is still subject to extensive research. Within the framework of the Transregio SFB 32, this research currently focuses on the dynamics of local hydraulic adaptation to soil-water availability and scaling to the field level.

### **Acknowledgments**

This project was financed by the Deutsche Forschungsgemeinschaft within the framework of the collaborative research center TR 32 "Patterns in soil-plant-atmosphere systems" TRR 32/2 2011 3009725)

### **References**

- Kupisch M.; Langensiepen, M; van Wijk, M. ; Stadler, A and F. Ewert 2011. Comparative analysis of spatio temporal patterns of carbon and water fluxes in production fields of winter wheat and sugar beet. In Märlander et al. (eds.) Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 23: 61-62.
- Langensiepen, M.; Kupisch, M.; van Wijk, M. and F. Ewert, F. 2012a Analyzing closed chamber effects on canopy gas exchange for optimizing flux calculation timing. *Agric. For. Met.* 164: 61–70
- Langensiepen, M.; Graf, A.; Kupisch, M., Schmid, M. and F. Ewert. 2012b Improved interpretation of heat-balance sensor signals for determining sap-flow in thin and hollow plant stems. Submitted to *Plant Cell and Environment*.

## Winterrüben - Überlebensmöglichkeiten von Zuckerrüben bei Frost

Jens Loel<sup>1</sup> und Christa Hoffmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, 37079 Göttingen.  
E-Mail: loel@ifz-goettingen.de

### Einleitung

Um die Wettbewerbsfähigkeit von Zuckerrüben gegenüber anderen landwirtschaftlichen Kulturen zu erhalten, ist eine Steigerung der Erträge notwendig. Es wird erwartet, dass Winterrüben, die bereits Anfang Herbst ausgesät werden, höhere Erträge produzieren als im Frühjahr gesäte Zuckerrüben. Zur Realisierung dieser Erträge müssen die Pflanzen Frostperioden im Verlauf des Winters überstehen. Es wird angenommen, dass eine Akkumulation verschiedener Inhaltsstoffe in Rübe und Blatt sowie ein optimales Entwicklungsstadium vor Winter zur Verbesserung der Winterhärte beitragen (Kockelmann und Meyer, 2006).

### Material und Methoden

Es wurden Feldversuche in 2009/10 und 2010/11 an 3 Standorten (Göttingen, Kiel, nördliches Harzvorland) mit 5 verschiedenen Zuckerrübenhybriden angelegt, welche eine hohe Variation in den Gehalten verschiedener potentiell frostschtzender Inhaltsstoffe aufwiesen. Die Aussaat fand im August statt. Es wurden 2 Ernten vor Winter durchgeföhrt. Im März wurde die Überlebensrate festgestellt. Zusätzlich wurden Gewächshausversuche durchgeföhrt, um Ergebnisse aus den Feldversuchen unter kontrollierten Bedingungen zu verifizieren. Dabei wurden Rüben im Gewächshaus angezogen, bei 4 °C und 12 h Licht für 14 Tage akklimatisiert und danach einem Froststress von -7 °C ausgesetzt. Danach wurden die Zuckergehalte sowie die Gehalte an Kalium, Natrium und Aminosäuren in Rübe und Blatt ermittelt. Außerdem wurden weitere Inhaltsstoffe wie Betain, Raffinose in Rübe und Blatt analysiert.

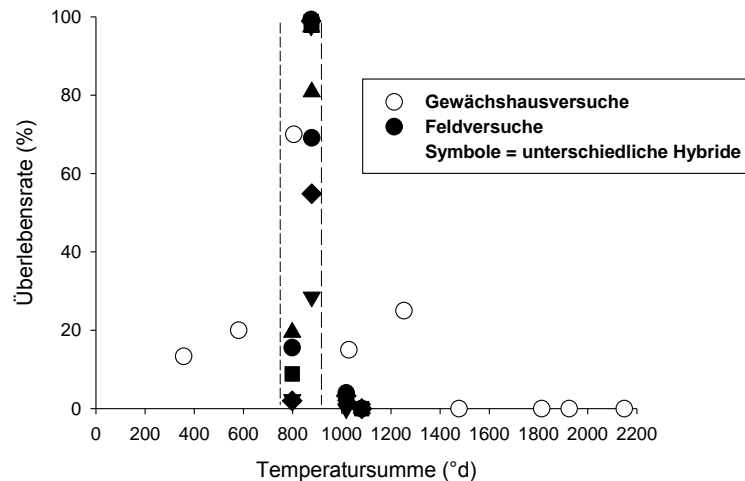
### Ergebnisse und Diskussion

Es konnten Unterschiede in der Überlebensrate nach Winter zwischen den verschiedenen Umwelten und zwischen den Zuckerrübenhybriden festgestellt werden, die auf Frostereignisse während des Winters zurückzuführen waren.

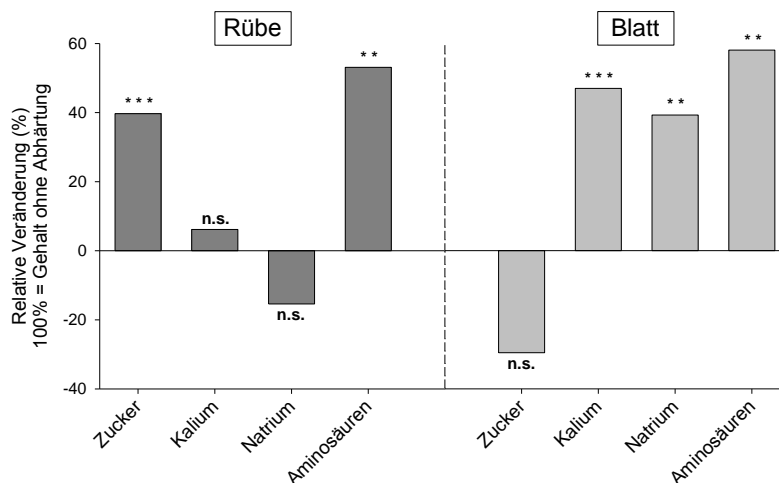
Eine ausreichend gute Winterhärte der Pflanzen, um Frostperioden zu überstehen, kann nur mit einem optimalen Entwicklungsstadium vor Winter erreicht werden (Abb. 1). Die Temperatursumme, welche die Pflanzen benötigen, um dieses optimale Entwicklungsstadium zu erreichen, lag in unseren Untersuchungen in einem Bereich zwischen 750 und 900 °d. In diesem optimalen Entwicklungsstadium haben die Rüben einen Durchmesser zwischen 15 und 30 mm, was auch Kockelmann und Meyer (2006) beschrieben. Die Temperatursumme und somit auch das Entwicklungsstadium vor Winter kann nur über den Aussaattermin gesteuert werden. Da die Wachstumsbedingungen, speziell die Temperatur, im Verlauf des Herbstes jedoch nicht vorhersehbar sind, ist auch eine Definition des optimalen Aussaatzeitpunktes nur schwer realisierbar.

Vor dem Winter findet eine Akklimatisierung der Zuckerrüben statt, d.h. die Pflanzen werden abgehärtet, um tiefe Temperaturen während des Winters zu überstehen (Abb. 2). Dabei kam es zu einer Akkumulation von Zucker und Aminosäuren in der

Rübe und von Kalium, Natrium und Aminosäuren im Blatt. Da angenommen wird, dass im Verlauf der Rübenentwicklung der Gehalt an Kalium, Natrium oder Aminosäuren sinkt (Kenter und Hoffmann, 2006), könnte die Erhöhung der Gehalte auf einen Mechanismus der Frosttoleranz hindeuten. Außerdem deutet eine Erhöhung der Betain- und Raffinosegehalte vor Winter auf eine Wirkung dieser Substanzen bezüglich der Verbesserung der Winterhärte von Zuckerrüben hin. Inwieweit die akkumulierten Inhaltsstoffe eine funktionelle Bedeutung für die Winterhärte von Zuckerrüben haben, muss in weiteren Versuchen noch analysiert werden.



**Abb. 1:** Überlebensrate von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Temperatursumme; Feldversuche: 5 Zuckerrübenhybride, 3 Standorte, 2 Versuchsjahre, Temperatursumme bis Erntetermin Dezember; 3 Gewächshausversuche: Froststress bei -7 °C nach 14 tägiger Akklimatisierung bei 4 °C, Basistemperatur = 3 °C



**Abb. 2:** Relative Veränderung von Zucker-, Kalium-, Natrium- und Aminosäure-Gehalt bei der Abhärtung von Zuckerrüben, Gewächshausversuch, Mittel von 3 Zuckerrübenhybriden, Rübenalter 10 Wochen, Abhärtung 2 Wochen vor Ernte bei 4 °C und 12 h Licht, 100 % = Gehalt ohne Abhärtung, signifikante Unterschiede durch Abhärtung sind mit \*\* für  $p \leq 0,01$  und \*\*\* für  $p \leq 0,001$  gekennzeichnet, n.s = nicht signifikant, Tukey-Test

## Literatur

- Kockelmann, A. und U. Meyer 2006: Seed production and quality. In: Sugar beet. Hrsg. A. P. Draycott. pp. 89-113. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK.
- Kenter, C. und C. Hoffmann 2006: Seasonal patterns of sucrose concentration in relation to other quality parameters of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). J. Sci. Agric 86: 62-70.



## Vergleichende Untersuchung zur Wirkung erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration und Trockenheit auf das Wachstum von Sorghum-Hirse und Mais

Remy Manderscheid, Martin Erbs und Hans-Joachim Weigel

Thünen-Institut für Biodiversität, Braunschweig. E-Mail: remy.manderscheid@vti.bund.de

### Einleitung

In einem zweijährigen Feldexperiment wurden eine Maissorte und verschiedene Sorghum-Sorten bei unterschiedlicher CO<sub>2</sub>- und Wasserversorgung angebaut und das Wachstum analysiert. Ziel der Untersuchung war zu prüfen, ob es Differenzen innerhalb der untersuchten Sorghum-Pflanzen gibt, und ob Sorghum ein besseres Wachstum unter Trockenheit und erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration aufweist als Mais. Im ersten Versuchsjahr gab es witterungsbedingt keinen ausgeprägten Trockenstress und die Pflanzen zeigten kaum eine Reaktion auf die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration (Manderscheid et al., 2011). Hier werden die Ergebnisse vom zweiten Versuchsjahr vorgestellt, in dem ein deutlicher Trockenstresseffekt erzielt werden konnte.

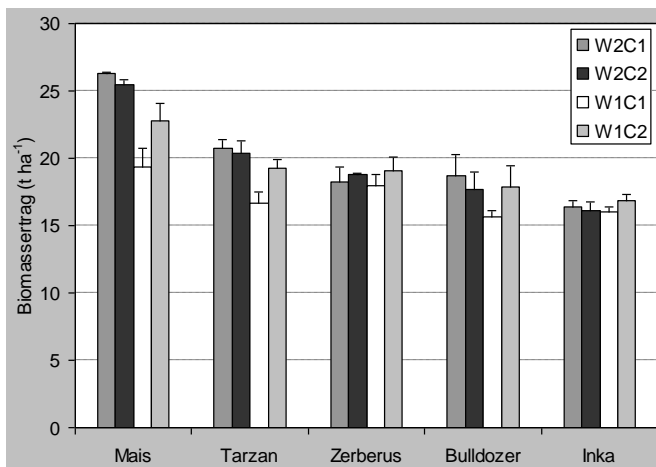
### Material und Methoden

Eine Maissorte (Simao) und verschiedene Sorghum-Genotypen (*Sorghum bicolor* x *sudanese* Sorte Inka; *Sorghum bicolor* Sorten Bulldozer, Zerberus, Tarzan) wurden wie im Vorjahr (Manderscheid et al., 2011) bei unterschiedlicher Wasser- und CO<sub>2</sub>-Versorgung (385 ppm: C1, FACE = 600 ppm: C2) angebaut. Es gab drei Versuchsfelder pro CO<sub>2</sub>-Konzentration und jede Fläche war unterteilt in eine trockene (W1) und eine feuchte Hälfte (W2). Der Trockenstress wurde im Sommer nach Bestandesschluss gesetzt. Bodenfeuchte und Strahlungsaufnahme des Bestandes wurden kontinuierlich gemessen und der Biomasseertrag im Juli und zum Versuchsende im Oktober.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Sommerniederschläge entsprachen dem langjährigen Mittel und durch den Betrieb der Tropfbewässerung (W2) und der Rain-Shelter (W1) erhielten die Versuchsfelder mit Trockenstress nur halb soviel Wasser (W1: 170 mm) wie die feuchte Variante (W2: 330 mm). Als Folge lag die nutzbare Feldkapazität in der W1-Variante bei Simao und Bulldozer Ende August unter 20% und im September unter 10%. Abb. 1 zeigt die Trockenmasseerträge aus dem Versuch. Die Varianzanalyse ergab keine signifikante CO<sub>2</sub>-Wirkung aber Effekte durch den Genotyp und die Wasserversorgung. Unter den verschiedenen Genotypen hatte Mais den höchsten Biomasseertrag gefolgt von Tarzan, während Inka den geringsten Ertrag aufwies. Trockenheit führte zu geringerem Wachstum. Das Ausmaß des Effektes differierte zwischen den Pflanzen. Wie beim früheren Mais-FACE-Versuch (Manderscheid et al., 2012) gab es eine signifikante Interaktion zwischen Wasser- und CO<sub>2</sub>-Versorgung, aber keine Interaktionen zwischen Genotyp x CO<sub>2</sub> oder G x C x W. Der CO<sub>2</sub>-Effekt auf die Biomasse reichte von +5% bis +18%. Da mehr CO<sub>2</sub> vor allem eine effizientere Wassernutzung bewirkt (Erbs et al., 2012), ist ein Zusammenhang zwischen dem Trockenstress und dem CO<sub>2</sub>-Effekt nahe liegend. Dies war in der Tat der Fall, wie in Abb. 2 zu sehen ist. Folglich leidet Mais zwar stärker unter der Trockenheit als Sorghum, aber er hat trotzdem eine höhere Trockenmasse als Sorghum und profitiert am

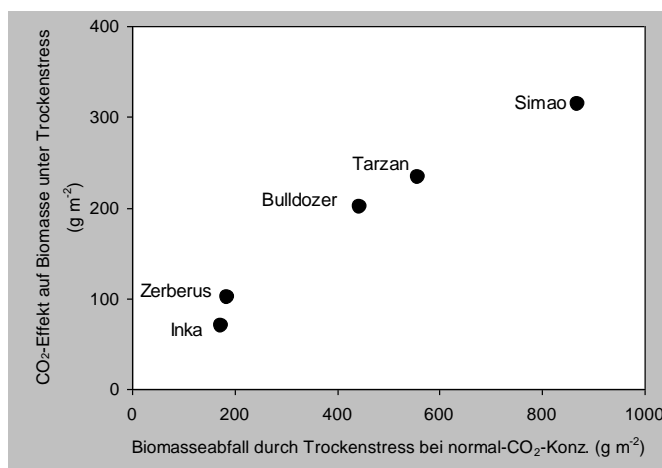
meisten von der Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration. Es stellt sich die Frage nach den Ursachen für den schwachen Biomasseertrag insbesondere bei Inka und ihrer schwachen Reaktion auf die Wasser- und CO<sub>2</sub>-Versorgung im Vergleich zu Mais. Der Mais hatte nur bis ca. Mitte Juli eine höhere Strahlungsaufnahme im Vergleich zu Sorghum. Danach war die Strahlungsaufnahme in der feuchten Variante für alle Genotypen identisch und über die Vegetationsperiode absorbierten die Sorghum-Sorten etwa 20% weniger Strahlung als Mais. Damit ließe sich folglich in der feuchten Variante die Ertragsminderung von Tarzan (-20%) im Vergleich zu Mais erklären. Die Daten insbesondere von Inka gehen jedoch darüber hinaus und eine Berechnung der Strahlungsausnutzungseffizienz (RUE) aus dem Biomassezuwachs zwischen Juli und Oktober sowie der zugehörigen absorbierten Strahlungsmenge ergaben für Inka den niedrigsten Wert. Dies beruhte nicht auf Differenzen in der chemischen Komposition der Pflanzen, d.h. der Anteile an Kohlenhydraten, Lignin, Lipiden und Rohprotein, die RUE beeinflussen. Es scheint vielmehr, dass vor allem Inka einen höheren Temperaturbedarf für das Wachstum und somit für RUE hat als Mais.



Es scheint vielmehr, dass vor allem Inka einen höheren Temperaturbedarf für das Wachstum und somit für RUE hat als Mais.

**Abb. 1:** Trockenmasse von Mais und Sorghum-Genotypen bei unterschiedlicher CO<sub>2</sub>- (C1, C2) und Wasserversorgung (W1, W2). Mittelwerte mit Standardfehler.

**Abb. 2:** Beziehung zwischen Trockenstresseffekt auf die Biomasse und der Wirkung von mehr CO<sub>2</sub>.



Nach diesen Daten profitiert Mais mehr vom CO<sub>2</sub>-Anstieg unter Dürre als die Sorghum Sorten. Die Gründe dafür sind offensichtlich das bessere Wachstum von Mais bei niedrigen Temperaturen mit einem früheren Bestandesschluss und anhaltendem Wachstum auch bei kühlen Sommer-temperaturen im Vergleich zu Sorghum. Dadurch ergibt sich eine stärkere Abhängigkeit vom Wasserangebot und der Wassereinspareffekt

unter CO<sub>2</sub>-Anreicherung wird mehr ausgenutzt zur Biomasseproduktion.

## Literatur

Erbs, M., R. Manderscheid, B. Burghardt, R. Dünsing, K. Fielder, J. Burkhardt und H.-J. Weigel (2012). Auswirkungen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf den Wasserhaushalt von Mais und Sorghum-Hirse. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss., in diesem Tagungsband.

Manderscheid, R., M. Erbs und H.J. Weigel (2011). Untersuchung zur Wechselwirkung unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und Wasserversorgung auf das Wachstum von Mais und Sorghum-Hirse. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 23, 168-169.

Manderscheid, R., M. Erbs and H.J. Weigel (2012). Interactive effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment and drought stress on maize growth. Eur. J. Agron. Doi 10.1016/j.eja.2011.12.007

## **Ertrag und Ertragsstruktur von Weizen-Erbсен-Gemengen in Abhängigkeit des Aussaattermins und des Mischungsverhältnisses**

Reinhard Neugschwandtner<sup>1</sup>, Patrick Herz<sup>1</sup> und Hans-Peter Kaul<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abteilung Pflanzenbau, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln. E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at

### **Einleitung**

Der Anbau von Getreide-Erbсен-Mischungen kann aufgrund einer besseren Ressourcenausnutzung zu Ertragsvorteilen, einer besseren Flächenausnutzung sowie zu ökonomischen Vorteilen führen (Lithourgidis et al., 2011). Ein Vorteil von Mischkulturen mit Leguminosen liegt in der Stickstofffixierungsleistung der Leguminose, die zu einem geringen Bedarf des Pflanzenbestandes an Stickstoffdünger führen kann (Chalk et al., 1993). Zudem reduziert der Getreidepartner im Gemenge den Stickstoffgehalt im Boden, wodurch eine höhere N-Fixierungsleistung der Leguminose zu erwarten ist (Neumann und Rauber, 2004). Ziel des Versuches war es, den Ertrag und die Ertragsstruktur von Weizen-Erbсен-Gemengen in Abhängigkeit des Aussaattermins (Herbstanbau vs. Frühjahrsanbau) und des Mischungsverhältnisses zu untersuchen.

### **Material und Methoden**

Der Gemengeversuch wurde in Raasdorf (BOKU-Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf, Produktionsgebiet: Marchfeld; durchschnittlicher Jahresniederschlag: 546 mm, durchschnittliche Jahrestemperatur: 9,8°C; Boden: Tschernosem, schluffiger Lehm) durchgeführt.

Die Reinsaatens bestanden aus der für die Frühjahrsaussaat geeigneten Winterweizensorte (Wechselweizen) Xenos (W: 300 kfK m<sup>-2</sup>) und der semileafless Wintererbsensorte Cherokee (E: 80 kfK m<sup>-2</sup>). Die substitutiven Gemenge wurden in folgenden Verhältnissen der Reinsaatens angebaut:  $\frac{3}{4}$  W +  $\frac{1}{4}$  E,  $\frac{1}{2}$  W +  $\frac{1}{2}$  E,  $\frac{1}{4}$  W +  $\frac{3}{4}$  E,  $\frac{1}{8}$  W +  $\frac{7}{8}$  E. Der Anbau erfolgte am 7.10.2010 bzw. am 14.3.2011 mit einer Parzellen-Drillsämaschine (Plotseed S, Fa. Wintersteiger) artengemischt in einer Überfahrt in vierfacher Wiederholung.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Kornertrag, Kornanteil und Tausendkorngewicht (TKG) von Weizen und Erbsen in Abhängigkeit des Aussaattermins und des Mischungsverhältnisses sind in Tabelle 1 dargestellt. Der Gesamtkornertrag lag in den Gemengen über jenen der Reinsaatens, wobei die Gemenge mit  $\frac{1}{8}$  Weizen +  $\frac{7}{8}$  Erbsen den höchsten Gesamtkornertrag aufwiesen. Die im Herbst gesäten Mischungen lagen ertraglich über den im Frühjahr gesäten. Dies ist auf die höheren Weizenerträge der im Herbst gesäten Gemenge zurückzuführen, während sich die Erbsenerträge statistisch nicht zwischen den Anbauterminen unterschieden.

Weizen war die dominierende Kultur in den Gemengen. Mit abnehmendem Saatanteil nahm der Weizenertrag weitaus geringer ab als der Erbsenertrag. So zeigten beispielsweise beide Kulturen in den Gemengen mit  $\frac{1}{8}$  Weizen +  $\frac{7}{8}$  Erbsen trotz hohem Unterschied im Saatanteil Kornerträge in ähnliche Höhe.

Das TKG lag in den Winterungen über den Sommerungen. Mit abnehmendem Weizenanteil nahm das TKG zu. Beim TKG der Erbse trat eine signifikante Wechselwirkung der Faktoren Mischungsverhältnis und Anbauertermin auf, die darin bestand, dass das Erbsen-TKG der Sommerungen mit zunehmendem Erbsenanteil in den Mischungen stärker abnahm als das der Winterungen (Daten nicht gezeigt). Die Ergebnisse zeigen, dass substitutive Weizen-Erbsen-Gemenge ertragliche Vorteile bringen können, insbesondere Gemenge mit geringem Weizen- und höherem Erbsenanteil.

Tabelle 1: Kornertrag, Kornanteil und Tausendkorngewicht (TKG) von Weizen und Erbsen in Abhängigkeit des Aussattermins und des Mischungsverhältnisses

	Kornertrag			Kornanteil		Tausendkorngewicht	
	W+E (g m <sup>-2</sup> )	Weizen (g m <sup>-2</sup> )	Erbse (g m <sup>-2</sup> )	Weizen (%)	Erbse (%)	Weizen (%)	Erbse (%)
<u>Anbauertermin</u>							
Herbstanbau	519 <sup>a</sup>	438 <sup>a</sup>	185 <sup>a</sup>	79 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>	42,3 <sup>a</sup>	167,4 <sup>a</sup>
Frühjahrsanbau	423 <sup>b</sup>	326 <sup>b</sup>	180 <sup>a</sup>	74 <sup>a</sup>	26 <sup>a</sup>	40,5 <sup>a</sup>	146,2 <sup>a</sup>
<u>Mischungsverhältnis</u>							
Reinsaat Weizen	417 <sup>b</sup>	417 <sup>ab</sup>				39,6 <sup>b</sup>	
<sup>3</sup> / <sub>4</sub> Weizen + <sup>1</sup> / <sub>4</sub> Erbse	483 <sup>ab</sup>	468 <sup>a</sup>	15 <sup>d</sup>	97 <sup>a</sup>	3 <sup>d</sup>	40,6 <sup>b</sup>	144,3 <sup>c</sup>
<sup>1</sup> / <sub>2</sub> Weizen + <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Erbse	466 <sup>ab</sup>	410 <sup>ab</sup>	56 <sup>d</sup>	87 <sup>b</sup>	13 <sup>c</sup>	40,1 <sup>b</sup>	152,0 <sup>bc</sup>
<sup>1</sup> / <sub>4</sub> Weizen + <sup>3</sup> / <sub>4</sub> Erbse	482 <sup>ab</sup>	354 <sup>b</sup>	129 <sup>c</sup>	73 <sup>c</sup>	27 <sup>b</sup>	43,1 <sup>a</sup>	157,6 <sup>ab</sup>
<sup>1</sup> / <sub>8</sub> Weizen + <sup>7</sup> / <sub>8</sub> Erbse	533 <sup>a</sup>	264 <sup>c</sup>	267 <sup>b</sup>	49 <sup>d</sup>	51 <sup>a</sup>	43,5 <sup>a</sup>	163,7 <sup>a</sup>
Reinsaat Erbse	446 <sup>b</sup>		446 <sup>a</sup>				166,7 <sup>a</sup>
<u>ANOVA GLM</u>							
Anbauertermin	***	***	n.s.	n.s.	n.s.	***	***
Mischungsverhältnis	*	***	***	***	***	***	***
A × M	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***

Signifikanzniveau:  $p < 0,05$  (\*),  $p < 0,01$  (\*\*),  $p < 0,001$  (\*\*\*)

## Literatur

Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., Damalas, C.A., 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy* 34, 287–294.

Chalk, P.M., Smith, C.J., Hamilton, S.D., Hopmans, P., 1993. Characterization of the N benefit of a grain legume (*Lupinus angustifolius* L.) to a cereal (*Hordeum vulgare* L.) by an in situ <sup>15</sup>N isotope dilution technique. *Biology and Fertility of Soils* 15, 39–44.

Neumann, A., Rauber, R., 2004. Einfluss substitutiver und additiver Anbaumuster auf Ertragsvorteile in Erbsen-Hafer-Gemengen bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 16, 29–30.

## Temporäre Direktsaat von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) im Ökologischen Landbau: Auswirkungen auf die Ackerbegleitflora

Massucati L.<sup>1</sup>, U. Perkons<sup>1</sup>, B. Geib<sup>1</sup> und U. Köpke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Organischen Landbau, Bonn. E-Mail: luiz.massucati@uni-bonn.de

### Einleitung

In den Direktsaatverfahren des konventionellen Landbaus wird erfolgreiche Unkrautregulierung vor allem durch den Einsatz synthetischer Total-Herbizide sichergestellt. Als möglicher Weg für die Anwendung der Direktsaat im Ökologischen Landbau bietet sich der temporäre Anbau von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) in Strohmulch der Vorfrucht an. In den Jahren 2009 und 2010 wurde untersucht, ob mit der physikalischen und allelopathischen Wirkung von Strohresten der Vorfrucht Hafer die Entwicklung der Unkrautpopulation in den nachfolgenden Ackerbohnen hinreichend kontrolliert werden kann.

### Material und Methoden

Der Feldversuch wurde als einfaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen auf der Lehr- und Forschungsstation für Organischen Landbau Wiesengut in Hennef (sandig-schluffige Auenlehme) mit vier Varianten angelegt. In den Varianten der temporären Direktsaat (tDS) wurden unterschiedliche Strohrestmassen eingestellt: 0, 4 und 6 t Stroh ha<sup>-1</sup>. Als Kontrolle diente ein Lockerbodensystem mit anschließendem Zwischenfruchtanbau und Grundbodenbearbeitung mit dem Wendepflug (LBS). Im März wurden die Ackerbohnen (Sorte *Fuego*, 45 Körner m<sup>-2</sup>) gesät (Drei-Scheibensämaschine Semeato SHM 11/13). Infolge geringer Saatgutqualität wurde 2009 zwischen den bereits gesäten Ackerbohnen-Reihen nachgesät. Die Variante LBS wurde zu BBCH 19 und 37 gehackt, die Unkrautabundanz im Stadium BBCH 09-12 erfasst, die Sprossmasse von Unkraut und Ackerbohnen zu BBCH 60-63 ermittelt. Für die Erfassung des Ackerbohnen-Kornertrages wurden 9,5 m<sup>2</sup> der Kernparzelle mit einem Parzellen-Mähdrescher (Fa. Hege) beerntet. Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS Version 20.

### Ergebnisse und Diskussion

Im System tDS war die Gesamt-Unkrautdichte mit zunehmender Strohmasse verringert (Abb. 1). Monokotyle und perennierende Arten traten im tDS-System verstärkt auf. Mit zunehmender Mulchauflage nahm die Abundanz der monokotylen (signifikant) bzw. perennierende Arten ab. Besonders wirksam erwies sich die Mulchauflage gegenüber dikotylen Arten. Im Vergleich mit der Variante ohne Strohapplikation (0 t ha<sup>-1</sup>) nahm die Abundanz der Dikotylen in den tDS-Varianten mit Stroh (4 und 6 t ha<sup>-1</sup>) um 60 bzw. 71% (Mittel von 2009 und 2010) ab. Die Mulchauflage verminderte vor allem Verschlämmung anzeigende *Matricaria*-Arten signifikant. Analog zur Unkrautabundanz wurde nur die Spross-TM der annualen Arten durch die Strohaufgaben hinreichend reduziert (Daten nicht dargestellt).

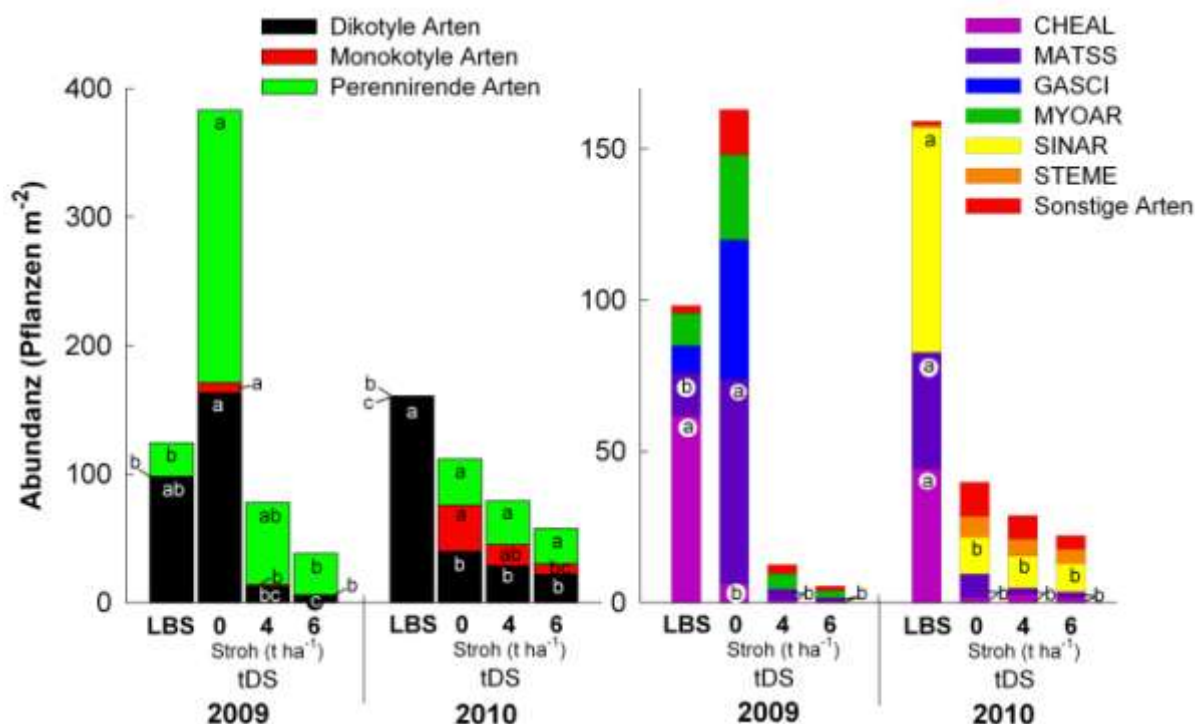


Abb. 1: Abundanz (Pflanzen  $m^{-2}$ ) der Unkrautpopulation in Ackerbohnen nach Pflugbearbeitung (LBS) und temporärer Direktsaat (tDS) in unterschiedlicher Strohrestmassen der Vorfrucht Hafer (0, 4 und 6  $t\ ha^{-1}$ ). Signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet (ANOVA, Tukey-Test,  $\alpha=0,05$ ). Unkrautarten: CHEAL=*Chenopodium album*; MATSS=*Matricaria spp.*; GASCI=*Galinsoga ciliata*; MYOAR=*Myosotis arvensis*; SINAR=*Sinapis arvensis*; STEME=*Stellaria media*.

Im System LBS trat die typische Spätverunkrautung der Ackerbohnen mit *Chenopodium album*, *Sinapis arvensis* und *Galinsoga ciliata* auf. Deren Dichte wurde im System tDS mit Stroh neben dem Lichtentzug mglw. auch durch reduzierte Stickstoffverfügbarkeit um 97% (CHEAL), 87% (SINAR) und 100% (GASCI) im Vergleich zu tDS 0 reduziert. Die im Vergleich zu den tDS-Varianten deutlich geringere Unkrautpross-TM nach LBS bestätigt die Effektivität der Unkrautregulation mit Wendepflug und Hacke (Daten nicht dargestellt).

Mulchaufgaben führten im tDS zu einer tendenziellen Erhöhung des Kornertrages im Vergleich zur tDS-Variante ohne Stroh (Daten nicht dargestellt). Dieser Sachverhalt kann somit z.T. mit der verminderten frühen Konkurrenz der Unkräuter und mit beobachteten günstigen bodenphysikalischen Effekten der Mulchaufgabe (geringe Verschlammung/Versiegelung) erklärt werden.

### Danksagung

Wir danken der BLE für die Projekt-Förderung. Den Mitarbeitern des Instituts für Organischen Landbau der Universität Bonn und des Versuchsbetriebs Wiesengut gilt ebenso unser herzlicher Dank.

## Variabilität der Dormanz in Rapssortiment nutzen und mit gering dormanten Sorten Durchwuchsrapss vermeiden!

Ernst Albrecht Weber, Sabine Gruber und Wilhelm Claupein

<sup>1</sup>Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, 70599 Stuttgart,  
E-Mail: Ernst.Albrecht.Weber@uni-hohenheim.de

### Einleitung

Rapssdurchwuchs ist aufgrund seiner Unkrautwirkung und einer Reihe weiterer negativer Effekte in der Fruchtfolge unerwünscht. Die mögliche Einführung des Clearfield®-Systems bei Raps und auch der Anbau gentechnisch veränderten Rapses stellt überdies Wissenschaftler und Anbauer vor neue Herausforderungen, denn herbizidtoleranter Durchwuchsrapss kann in der Fruchtfolge nicht mehr mit den entsprechenden Komplementärherbiziden kontrolliert werden. Weiterhin besitzen Clearfield- und gv-Rapssdurchwuchs das Potenzial zu unerwünschtem Gentransfer über die Zeit, wenn Pflanzen zur Blüte kommen und Pollen ausgeschüttet wird.

Das Durchwuchspotenzial von Raps wird sehr wesentlich von der Fähigkeit der ausgefallenen Samen bestimmt Keimruhe (= sekundäre Dormanz) zu entwickeln und so im Boden über Jahre zu überdauern. Rapssorten, denen die Fähigkeit dormant zu werden fehlt oder stark eingeschränkt ist, könnten Durchwuchsprobleme erheblich minimieren helfen.

Im Rahmen eines dreijährigen BMBF-Verbundprojektes wurde deshalb die Eignung gering dormanter Winterrapssorten zur Vermeidung von Durchwuchs untersucht. Im Einzelnen wurde geprüft, ob (1) das Merkmal Dormanz genetisch bestimmt ist, (2) wie es in verschiedenen Umwelten ausgeprägt wird, (3) innerhalb des aktuellen Winterrapssortiments variiert und (4) diese Variabilität züchterisch genutzt werden kann, um gezielt gering oder nicht dormante Sorten zu entwickeln.

### Material und Methoden

Dazu wurden in einem Feldversuch (Blockanlage, 4 Wdh., Parzellengröße 4 × 8 m ) 10 Liniensorten über zwei Jahre (2008/2009 und 2009/2010) an zwei Standorten (Ihinger Hof: 48° 44' N, 8° 56' E, 478 m ü NN, Ø 8,1°C, Ø 693 mm, Braunschweig: 52° 10' N, 10° 34' 45 E, 80 m ü. NN, Ø 9,7°C, Ø 570 mm) angebaut und das Erntegut auf Dormanz geprüft. Die Aussaat erfolgte zu den praxisüblichen Terminen in praxisüblicher Aussaatstärke. Düngung und Pflanzenschutz wurden standort- und jahrespezifisch nach guter fachlicher Praxis durchgeführt. Am Standort Ihinger Hof wurden im ersten Versuchsjahr mehrere Einzelpflanzen geselbstet und auf Dormanz untersucht, um die Variabilität des Merkmals innerhalb einer Sorte festzustellen. Nachkommenschaften gering dormanter Einzelpflanzen wurden anschließend im zweiten Versuchsjahr am Standort Ihinger Hof auf Stabilität des Merkmals im Feld (Blockanlage, 4 Wdh. Parzellengröße 0,5 × 3 m) geprüft. Die Dormanzneigung der Samen wurde mit dem Dormanzschnelltest (Weber et al. 2010) bestimmt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Prozedur MIXED (SAS 9.2.) Die Schätzung der Varianzkomponenten zur Berechnung der Heritabilität wurde ebenfalls mit der Prozedur MIXED durchgeführt, wobei alle Effekte (Standort, Jahr, Sorte sowie Interaktionen) als zufällig betrachtet wurden.

## Ergebnisse und Diskussion

Innerhalb des geprüften Sortenspektrums trat in beiden Versuchsjahren und an beiden Standorten eine hohe Variabilität im Merkmal Dormanz auf, die am Standort Ihinger Hof 4 - 90 % und am Standort Braunschweig 2 - 75 % betrug (nicht dargestellt). In beiden Jahren waren Sorten mit der gewünschten Eigenschaft „geringe Dormanz“ vertreten (Abb. 1). Trotz Interaktionen zwischen Jahr, Sorte und Standort zeigte sich eine enge und höchst signifikante Korrelation zwischen der Dormanz der Sorten an beiden Standorten. Auch die aus der Schätzung der Varianzkomponenten errechnete Heritabilität war mit  $h^2=0,82$  hoch.

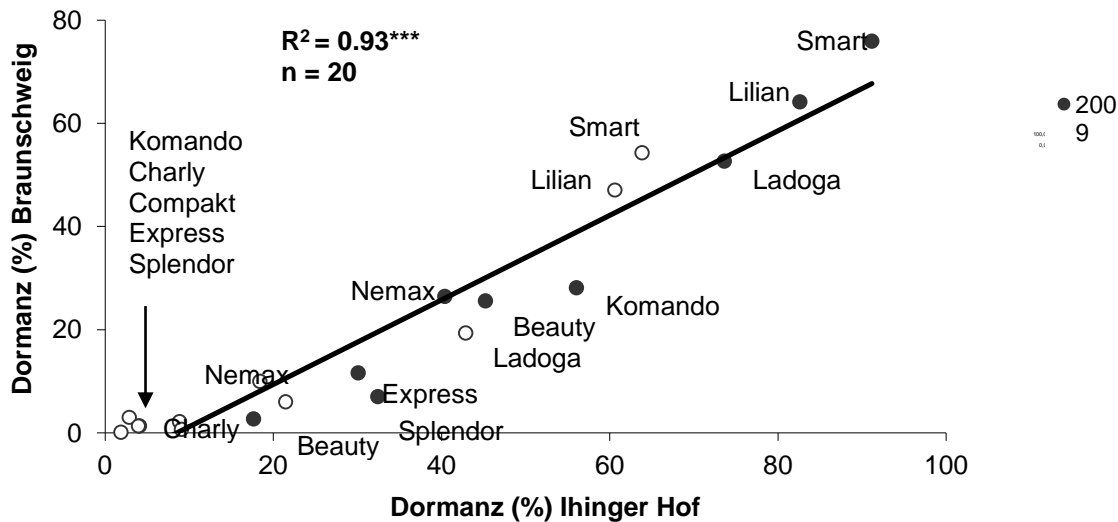


Abb.1: Korrelation zwischen den Dormanzwerten von 10 Winterrapssorten an den Standorten Braunschweig und Ihinger Hof der Ernten 2009 und 2010 ( $p < 0,0001$ ).

Zwischen Einzelpflanzen innerhalb jeder geprüften Liniensorte variierte die Dormanz z.T. erheblich; bei den hoch dormanten Sorten Lilian und Smart bis zu 87 % (nicht dargestellt). Eine Ausnahme bildete die sehr gering dormante Sorte Kompakt (nicht dargestellt), bei der alle geprüften Einzelpflanzen kaum zur Dormanz neigende Samen ausbildeten.

Die Dormanz aller Nachkommenschaften aus Samen von gering dormanter Einzelpflanzen der Sorten Kompakt, Splendor und Charly (Dormanz der Elterngeneration 0,7 – 6,7 %) lag im Feld auf einem sehr niedrigen Niveau von unter 5 % (nicht dargestellt).

Die Ergebnisse untermauern die Annahme, dass Dormanz vererbbar ist und unterschiedliche Sorten, trotz Jahres- und Standorteinflüssen in verschiedenen Umwelten Samen mit Dormanzpotenzialen ausbilden, die, relativ zueinander, für die jeweiligen Sorten charakteristisch sind. Züchter könnten auf bereits gering dormante Sorten als Ausgangsmaterial zurückgreifen, ferner scheint die hohe Einzelpflanzenvariabilität innerhalb von Sorten die Möglichkeit zu bieten, über Selektion aus fast jeder Liniensorte gering dormante Linien entwickeln zu können. Solche Sorten bzw. Linien könnten Probleme mit Durchwuchsrapss deutlich reduzieren helfen.

## 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 Sci. & Technol.*, 38, 298-310.



## **Einfluss der Saatzeit auf den Ertrag von Blauen Lupinen im ökologischen Landbau**

Harriet Gruber

Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow, h.gruber@lfa.mvnet.de

### **Einleitung**

Die Blaue Lupine (*lupinus angustifolius*) hat im ökologischen Landbau auf Sandstandorten für die Gestaltung abwechslungsreicher Fruchtfolgen sowie für die Nährstoffversorgung und Bodenfruchtbarkeit eine herausragende Bedeutung. Dennoch ist ihr Anbauumfang seit Jahren rückläufig. Ursache ist neben einer geringen wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit das hohe Anbaurisiko auf Grund stark schwankender Erträge. Dabei könnte die Saatzeit in Verbindung mit einer angepassten Unkrautbekämpfung eine entscheidende Rolle spielen. Während Aussaaten im März häufig mit einer Unkrautbekämpfung vor oder/und nach dem Aufgang verbunden sind, lassen spätere Drilltermine auch eine Bekämpfung vor der Aussaat zu. Wie eine Aussaatverzögerung mit Kombination einer indirekten Unkrautbekämpfung auf Entwicklungsphasen und den Ertrag wirken, sollte in mehrjährigen Versuchen geklärt werden.

### **Material und Methoden**

Von 2009-2011 wurden vier Sorten (Borute, Haags Blaue, Boregine, Probor) zu drei verschiedenen Saatzeiten in randomisierten Versuchen nach einer Saatfurche im Frühjahr ausgedrillt. In Abhängigkeit vom Jahr war der Termin der ersten Saatzeit zwischen dem 20. und 25. März, der der zweiten zwischen dem 01. und 07. April und der der dritten Saatzeit zwischen dem 11. und 21. April. In der ersten Saatzeit wurden alle Arbeitsgänge zeitnah ausgeführt, zur zweiten Saatzeit wurde die Saatbettbereitung und Aussaat erst 10-13 Tage nach dem Pflügen durchgeführt und zur dritten Saatzeit lagen zwischen allen Arbeitsgängen 10-15 Tage, die die Unkräuter zum Keimen nutzen konnten. Die mechanische Pflege erfolgte angepasst an die Witterungsbedingungen. Während der Wachstumsphase wurden der Aufgang, Blühbeginn und Blühende sowie Bestandesdichte und Lager erfasst, Unkräuter wurden zu drei Terminen bonitiert. Die varianzanalytische Verrechnung der Erträge erfolgte mit SAS proc mixed.

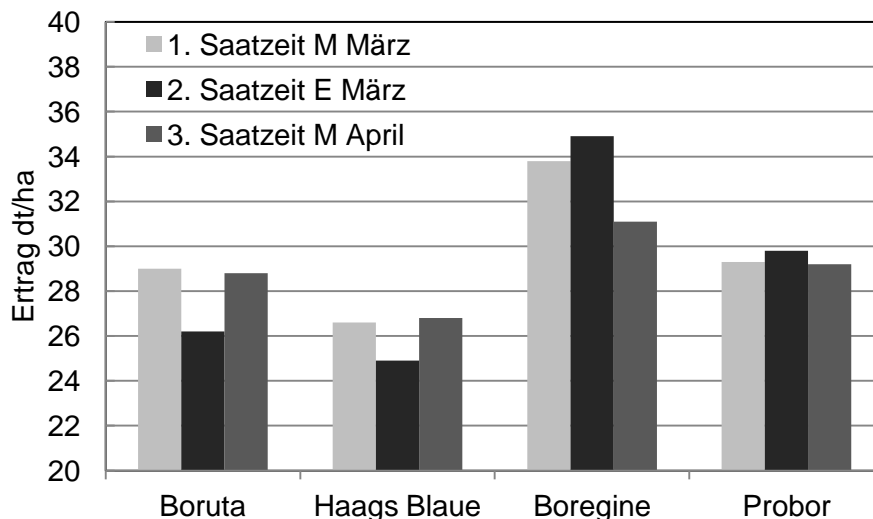
### **Ergebnisse und Diskussion**

Die Ergebnis der Bonituren ergaben im Mittel der Sorten bei späterer Saatzeit eine Erhöhung der Bestandesdichte, eine Verkürzung der Phase der Jugendentwicklung und jahresabhängig eine Verkürzung der Blühdauer. Der Unkrautbesatz Anfang Mai zeigte deutliche Jahresunterschiede und war in allen drei Jahren bis zur Ernte in der dritten Saatzeit am geringsten. Trotz dieser Auswirkungen auf Bestandesentwicklung und Verunkrautung konnte im Ergebnis des F-Testes kein gesicherter Einfluss des Faktors Saatzeit auf den Ertrag ( $\alpha$  5 %) nachgewiesen werden. Unabhängig davon, ob die Aussaat Mitte März oder vier Wochen später vorgenommen wurde, lag der Ertrag im Mittel aller Sorten bei etwa 29 dt/ha. Die bereits am Standort gewonnenen Ergebnisse unter konventionellen Bedingungen weisen dagegen einen klaren

Saatzeiteffekt aus, der insbesondere die endständigen Sorten betrifft (Schulz, 2003). In den hier vorgestellten Versuchen erreichte im Mittel der Saatzeiten die Sorte Boregine den höchsten Ertrag, der sich jedoch nur bei  $\alpha$  8 % signifikant von den Erträgen der anderen Sorten unterschied.

Bei der Betrachtung der sortenspezifischen Reaktionen auf die Saatzeit konnte kein einheitlicher Einfluss festgestellt werden. In der Tendenz war bei beiden endständigen Sorten der Ertrag in der zweiten Saatzeit am geringsten. Die erste und dritte Saatzeit unterschieden sich bezüglich des Ertrages nicht. Die Verzweigungssorten Boregine und Probor erreichten in der zweiten Saatzeit dagegen den höchsten Ertrag, wengleich die Effekte bei der Sorte Probor stark abgeschwächt waren (Abb. 6).

Der paarweise Vergleich mittels t-Test ergab zwischen einzelnen Sorten und Saatzeiten signifikante Unterschiede. Besonders die Erträge der Sorte Boregine unterschieden sich in der ersten und zweiten Saatzeit signifikant von denen aller drei Saatzeiten der Sorte Haags Blaue, wodurch die in Sortenversuchen gewonnenen langjährigen Ergebnisse bestätigt wurden (Gruber, Zenk 2012). In der dritten Saatzeit, in der die Erträge bei der Sorte Boregine deutlich abfielen, war kein signifikanter Unterschied zu den Erträgen anderer Sorten feststellbar.



**Abb. 6:** Kornertrag in Abhängigkeit von Sorte und Saatzeit (Mittel 2009-11)

### Literatur

- Gruber, H.; A. Zenk 2012: Landessortenversuche Ökologischer Landbau 2011. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern
- Schulz, R.-R. 2003: Untersuchungen zur Anbauwürdigkeit und Produktionstechnik einheimischer Eiweißpflanzen unter besonderer Berücksichtigung der Blauen Lupine. Forschungsbericht 20/12 der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern

# Saatguterzeugung von Sommerhartweizen (*Triticum durum* Desf.): Keimungspotential und Keimfähigkeit ausgewählter Sorten in Abhängigkeit von den Erntebedingungen im Mitteldeutschen Trockengebiet

Stephan Knorre und Karin Förster

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, D-06120 Halle (S.), E-Mail: stephan.knorre@student.uni-halle.de

## Einleitung

Sachsen-Anhalt ist mit einer Anbaufläche von 8500 ha im Jahr 2011 und einer angemeldeten Vermehrungsfläche von 311 ha (Anonymous, 2012) im Hartweizenanbau in Deutschland führend. Obwohl es für die Saatguterzeugung Empfehlungen hinsichtlich des optimalen Druschtermins und geeigneter Druschparameter gibt, wird die für Z-Saatgut geforderte Mindestkeimfähigkeit von 85 % in einigen Jahren nicht erreicht. Potentielle Ursachen sind vorwiegend mechanische Beschädigungen der Karyopsen bzw. verdeckter oder offener Auswuchs, da die Keimruhe beim Hartweizen generell schwächer ausgeprägt ist als beim Weichweizen. Untersuchungen von Gentsch et al. (2010) haben ergeben, dass das Keimungspotential des Hartweizens im Zeitraum von der Gelb- bis zur Vollreife sehr hoch ist. Die Keimfähigkeit von Karyopsen mit unterschiedlicher physiologischer Reife lieferte Hinweise auf ein unterschiedliches Verhalten der Sorten hinsichtlich der Ausprägung der Keimruhe. An die Untersuchungen von Gentsch et al. (2010) anknüpfend ist es deshalb das Ziel der Untersuchungen, den Einfluss des physiologischen Alters der Karyopsen und der Druschbedingungen auf das Keimungspotential und die technologisch erzielbare Keimfähigkeit von drei Hartweizensorten eingehend zu betrachten.

## Material und Methoden

Der Versuch wurde 2011 an der Lehr- und Versuchsstation Bad Lauchstädt/Etzdorf (134 m NN, Bodentyp Normtschernosem, Bodenart stark schluffiger Ton, langj. Jahresniederschlag 450 mm, langj. Jahresmitteltemperatur 9,0 °C) angelegt.

Vorfrucht: Winterraps, Bodenbearbeitung: wendend.

Bestandesbehandlung: ortsüblich nach guter landwirtschaftlicher Praxis.

Versuchsanlage: randomisierte dreifaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen.

Witterungsverlauf in der Kornfüllungs- und Reifephase: Niederschläge: 62,1 mm im Juni und 161,8 mm im Juli; Monatsdurchschnittstemperatur: 17,3 °C (Juni) bzw. 16,8 °C (Juli), mit einem Minimum bei 5,9 °C und einem Maximum bei 31,4 °C (J. Döring, persönl. Mitt.).

Sommerhartweizensorte: Duramar, Floradur, Orjaune; Ethos (*T. aestivum*) zum Vergleich.

Erntetermin: 21., 26., 31., 37. und 48. Tag nach Blühbeginn.

Ernteverfahren und Probenvorbereitung: Einzelährenernte mit anschließender Trocknung der Ähren bei 35 °C und einer rel. Luftfeuchtigkeit von 30...45 % auf <14,5 % Kornfeuchte. Weiterbehandlung der beiden äußeren Karyopsen der Ährchen nach Ichinose et al. (2002).

Keimungsbedingungen: 12 °C bzw. 20 °C, Faltenfilter, 10 Tage.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Blüte des am 16. März 2011 ausgesäten Weizens begann zwischen dem 31.5. und 4.6.2011 (Hartweizen) bzw. am 8.6.2011 (Weichweizen). Werden die Sorten über den gesamten Untersuchungszeitraum betrachtet, ergeben sich sortentypische Keimungsmuster (Abb. 1). 21 Tage nach Blühbeginn geerntete Proben keimen bei 20 °C in der Reihenfolge Floradur < Duramar < Ethos < Orjaune. Parallel bei 12 °C zur Brechung der Keimruhe durchgeführte Untersuchungen ergeben für alle Sorten außer Floradur eine Keimfähigkeit von >80 % (Ergebnisse nicht dargestellt).

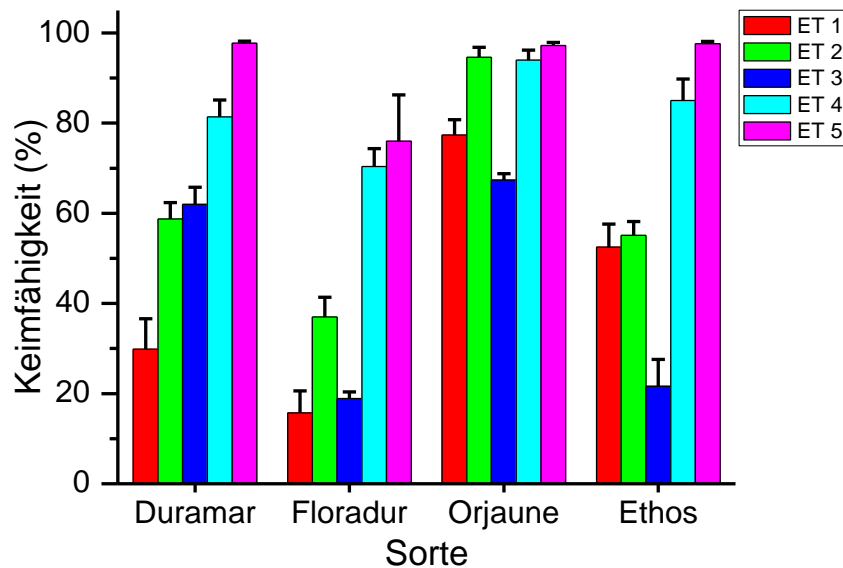


Abb. 1: Keimfähigkeit von drei Sommerhartweizen- und einer Weichweizensorte in Abhängigkeit vom physiologischen Alter der Karyopsen. (Mittelwert und Standardfehler; Faltenfilter, 20 °C, n=4 mit 200 Korn/Wiederholung; Erntetermine v. l. n. re. / Tag nach Blühbeginn: ET 1: 21., ET 2: 26., ET 3: 31., ET 4: 37., ET 5: 48.)

Mit zunehmendem physiologischen Alter und der damit verbundenen Reife steigt die Keimfähigkeit der Sorte Duramar kontinuierlich bis auf 98 % an, die der Sorten Floradur und Ethos steigt ab ET 4 (37. Tag nach Blühbeginn) auf Werte >70 %. Die Prüfung bei 12 °C konnte die Keimruhe von Floradur nicht vollständig brechen. Orjaune weist die geringste Keimruhe auf. Die Keimfähigkeit der Sorte liegt nur zum ET 3 unter 70 %.

Die 2011 erzielten Ergebnisse verdeutlichen ein hohes Keimungspotential der Hartweizensorten, das -bei einer Bestätigung unter anderen Umweltbedingungen- in Zusammenhang mit den Keimfähigkeitsverlusten beim Mähdrusch (Ergebnisse nicht dargestellt) Ansätze für geänderte Empfehlungen für den Ernte- und Nachernte-prozess des Hartweizens bieten kann.

## Literatur

- Anonymous, 2012: Arbeitsgemeinschaft der Anerkennungsstellen, Stand 8.7.2012 unter <http://www.ag-akst.de/deutsch/stellen/stellen.cfm?id=sa&dir=Stand%20der%20Saatgutenerkennung>.
- Ichinose, Y., Kuwabara, T., Hakoyama, S. 2002: Germination of Wheat Grains at Various Temperatures in Relation to the Activities of  $\alpha$ -Amylase and Endoprotease. *Plant Prod. Sci.* 5(2): 110-116.
- Gentsch, O., K. Förster, U. Gierke 2010: Keimung von Hartweizensorten in Abhängigkeit von Reife- und Druschbedingungen. *Berichte Ges. Pflanzenbauw.* 5, 24-27.

## Humusbilanzmethoden zur Einschätzung der Humussituation

Hendrik Sommer<sup>1</sup> und Günter Leithold<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für LifeAgriScience, Frankenberg; <sup>2</sup>Professur für organischen Landbau, Universität Gießen, Gießen. E-Mail: hendrik.sommer@escon-de.com

### Einleitung

Ziel der Anwendung von Humusbilanzmethoden zur Einschätzung der Humussituation ist es, auf einfache und praxisfreundliche Art zu überprüfen, ob der mineralisierte Humus-N durch geeignete Humusersatzwirtschaft im Humuspool ersetzt werden konnte. Diese Situation wird als einfache Reproduktion bezeichnet, der Humusversorgungsgrad liegt dann bei 100 %. Voraussetzung dafür ist einerseits die richtige Abschätzung des Humusbedarfes der Kulturarten, andererseits die Einschätzung der Humusersatzleistung von organischen Düngern, Stroh, Ernte- und Wurzelrückständen sowie von Zwischenfrüchten.

Die vorliegende Untersuchung soll einen Beitrag zur Klärung der Frage leisten, mit welcher Humusbilanzmethodik das Entwicklungsgeschehen besser interpretiert werden kann.

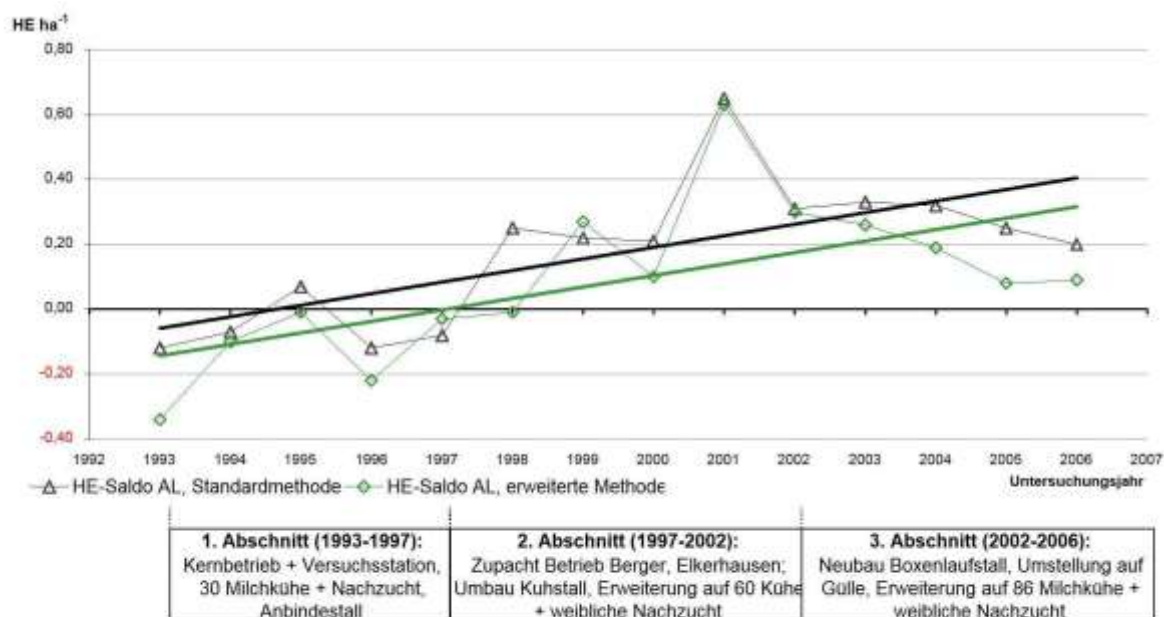
### Material und Methoden

Anhand der Entwicklung des Lehr- und Versuchsbetriebes der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gladbacherhof, im Zeitraum von 1993 bis 2006 wurde die Zunahme der Produktionsintensität beispielhaft analysiert, dargestellt und bewertet. Besonderer Ausdruck für die Intensitätssteigerung im Untersuchungszeitraum ist die gezielte Erhöhung des Rinderbesatzes auf ca. 1 GV/ha LF, verbunden mit einer Steigerung der Jahresmilchleistung auf annähernd 8.000 kg/Kuh.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde auch untersucht, welche Auswirkungen die betriebliche Entwicklung auf das Humusreproduktionsgeschehen hatte und mit welcher Humusbilanzmethodik das Entwicklungsgeschehen besser interpretiert werden kann. Zur Anwendung kommt die Standardmethodik nach Leithold et al. (1997) sowie die erweiterte Humuseinheitenmethode nach Hülsbergen (2002).

### Ergebnisse und Diskussion

Die Humussalden des Lehr- und Versuchsbetriebs Gladbacherhof haben sich während des gesamten Untersuchungszeitraumes kontinuierlich positiv entwickelt (Abb. 1). Jährlich konnten tendenziell 0,03 Humuseinheiten je Hektar Ackerland angereichert werden. Der Humussaldo war im ersten Entwicklungsabschnitt trotz einer positiven Tendenz deutlich negativ, eine einfache Reproduktion war nicht gegeben. Durch die strukturellen Verbesserungen der Nährstoffersatzleistungen konnte der Saldo im Anschluss auf durchschnittlich 0,20 HE ha<sup>-1</sup> Ackerland verbessert werden, in der dritten Entwicklungsetappe konnte eine tendenzielle Abnahme des Humussaldos auf unter 0,20 HE ha<sup>-1</sup> beobachtet werden. Diese Abnahme war bei der erweiterten Methode stärker zu erkennen (vgl. Abb. 1). Trotz der tendenziell abnehmenden Entwicklung des Saldos im letzten Untersuchungsabschnitt wurde die Humusreproduktionsleistung des Betriebssystems insgesamt verbessert.



#### lineare Regressionsanalysen:

HE-Saldo AL bei Standardmethode  
HE-Saldo AL bei erweiterter Methode

$$y = 0,0356x - 0,0945, r^2=0,4708$$

$$y = 0,0355x - 0,1795, r^2=0,3769$$

**Abb. 1:** Entwicklung der Humussalden (HE ha<sup>-1</sup>) des Ackerlandes im Untersuchungszeitraum 1993–2006. Vergleich der Bilanzierungsmethoden „Standard“ und „erweitert“.

Der Unterschied zwischen beiden Methoden liegt darin, dass bei der erweiterten Methode die Änderung der Boden-N-Vorräte berücksichtigt wird. Prinzipiell wurden gleiche Entwicklungstendenzen ermittelt. Der Versorgungsgrad des Betriebssystems war während des ersten Untersuchungsabschnittes nicht ausreichend und lag zwischen 70–80 %. Hier war das geforderte Fließgleichgewicht zugunsten der humusabbauenden Prozesse verschoben, was zu einem Humusverlust führte. Erst durch die Intensivierung der Milchproduktion ist die Humuszufuhr verbessert und damit eine ausreichende Humusreproduktion des Betriebssystems sichergestellt worden. Bereits 1998 war das Fließgleichgewicht zugunsten der humusaufbauenden Prozesse verschoben und der Versorgungsgrad stieg in den folgenden Jahren stetig an. Trotz der beobachteten Abnahme des Humussaldos im letzten Untersuchungsabschnitt ist dort der Versorgungsgrad zwar ebenfalls tendenziell von 136 % auf 121 % abnehmend, aber immer noch sehr zufriedenstellend.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Anwendung beider Methoden zu einer gleichgelagerten Aussage hinsichtlich der betrieblichen Entwicklung geführt hat. Die Verbesserung der Humusversorgung resultiert maßgeblich aus der strukturellen Veränderung des Betriebes durch die Erhöhung des Viehbesatzes.

#### Literatur

- Hülsbergen, K.-J. (2002): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitationsschrift. Shaker Verlag, Aachen, veröffentlicht 2003.
- Leithold, G.; K.-J. Hülsbergen; D. Michel und H. Schönmaier (1997): Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar- Umweltindikator. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.). Initiativen zum Umweltschutz 5, Umweltverträgliche Pflanzenproduktion, Zeller Verlag Osnabrück, 5, 43–54.

## **Humusbilanz verschiedener Anbausysteme für Energiepflanzen zur Biogaserzeugung**

Lars Klingebiel, Reinhold Stülpnagel, Lutz Bühle, Rüdiger Graß, Michael Wachendorf

Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel, Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen. E-Mail: klingebiel@uni-kassel.de

### **Einleitung**

Die Anzahl von landwirtschaftlichen Biogasanlagen ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Die Ernte der Kulturen als Ganzpflanze und der zunehmende Anteil an Silomais als humuszehrende Pflanze weckt die Befürchtung nicht ausreichender Rückführung organischer Substanz in Form von Gärrest und damit abnehmender Humusgehalte im Boden. Mit den Daten aus dem Verbundprojekt EVA (Förderung durch das BMELV über die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR)), die im Zeitraum von 2006 – 2011 in Feldversuchen an bis zu sieben Standorten in Deutschland mit verschiedenen Pflanzenarten in unterschiedlichen Anbausystemen gewonnen wurden, soll hierzu mittels Humusbilanzen Stellung genommen werden.

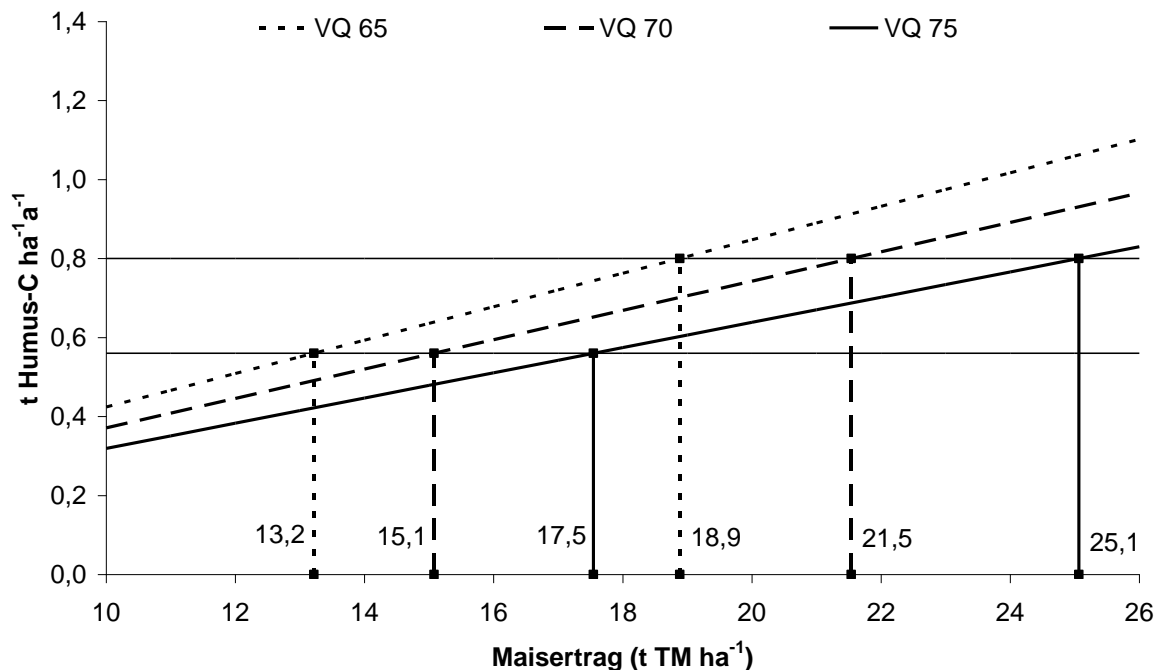
### **Material und Methoden**

Basis für die Kalkulation der Gärrestmengen ist die mittlere Ertragsleistung von Mais, Sonnenblumen und Winterroggen an den Prüfstandorten, die im Hauptfruchtanbau nach Senf als abfrierende Sommerzwischenfrucht bzw. gefolgt von Senf angebaut wurden (STÜLPNAGEL 2012). Die Ertragsdaten stammen von den Prüfstandorten Dornburg (TH), Gülzow (MV), Haus Düsse (NRW), Rauischholzhausen (HE), Straubing (BY), Werlte (NS) und Witzenhausen (HE). Mittels eines mittleren Gehaltes an Rohasche von 5 % und nach Abzug von Verlusten im Rahmen der Silierung dieser Pflanzen (5 % Silierverlust, 2,5 % Randverlust, 1 % Entnahmeverlust; KTBL 2007) wurden die anfallenden Mengen an Gärresten in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Ertragsleistungen an den Prüfstandorten sowie unter der Annahme unterschiedlicher Verdaulichkeiten (VQ) der organischen Substanz in der Biogasanlage berechnet. Mit der Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland (VDLUFA 2004) wurde anhand der Humusreproduktionsleistung von Gärrest quantifiziert, ob die Ertragsleistung an den einzelnen Standorten und die hieraus abgeleitete Gärrestmenge die anbauspezifische Veränderung des Humusvorrates wieder ausgleichen kann. Nach der Humusbilanz-Methode gibt es in Abhängigkeit des Trockenmassegehalts der Gärreste unterschiedliche Richtwerte für die Humusreproduktionsleistungen. In der vorliegenden Berechnung wurde von einem TM-Gehalt von 10 % und von einer Reproduktion von 0,12 t Humus-C je t TM Substrat ausgegangen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die Richtwerte für die Veränderung des Humusvorrats im Boden sind abhängig von Pflanzenart, Standortbedingungen und Nutzungsweise. Hierbei wird zwischen Böden in einem guten Kulturzustand und optimaler Stickstoffversorgung (unterer) und in für längere Zeit mit Humus unterversorgten Böden (oberer Wert) unterschieden. Während beim Mais sich der Vorrat um -0,56 bzw. -0,8 t Humus-C ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> ändert, reduziert sich dieser bei Winterroggen und Sonnenblume nur um -0,28 (unterer Wert)

bzw.  $-0,4 \text{ t Humus-C ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  (oberer Wert; VDLUFA 2004). Der Gewinn an Gärrest ist abhängig vom Ertrag und der Verdaulichkeit der oTM. In der Teigreife wird beim Mais in Abhängigkeit vom Kolbenanteil von einer Verdaulichkeit von ca. 75 % ausgegangen, beim Roggen von ca. 70 %, bei Sonnenblumen von nur 65 % (VDLUFA 2004). Je geringer die Verdaulichkeit in der Biogasanlage ist, desto größer ist der Gewinn an Gärrest für die Humusreproduktion. Der notwendig zu erzielende TM-Ertrag zur Gewinnung von Gärrest zum Ausgleich des Humusbedarfs liegt beim Mais mit einer Verdaulichkeit von 75 % und unter guten Standortbedingungen bei mindestens  $17,5 \text{ t TM ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ , wie beispielhaft für die drei bewerteten Pflanzenarten in Abb. 1 dargestellt ist. Auf mit Humus unversorgten Böden muss ein Ertrag von rund  $25 \text{ t TM ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  für die Humusreproduktion mittels Gärrest erzielt werden. Auf der Basis der Ertragsdaten von Mais, Sonnenblume und Winterroggen im Verbundprojekt EVA konnten in der Regel positive Humussalden berechnet werden. Mittels Anbau von Zwischenfrüchten zur Gründüngung wird in Abhängigkeit von ihrem Ertragsniveau der notwendige Ertrag der Folgekultur für eine ausgeglichene Humusbilanz in unterschiedlichem Umfang gesenkt und die Reproduktion realisiert.



**Abb. 1:** Notwendiger Maisertrag für eine ausreichende Humusreproduktion ( $\text{t Humus-C ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ ) mittels Gärrest von Mais in Abhängigkeit von der Verdaulichkeit der oTM (VQ) und dem Richtwert zum Ausgleich des Humusvorrates im Boden bei Mais von  $0,56$  (unterer) bzw.  $0,8 \text{ t Humus-C ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  (oberer RW; VDLUFA 2004)

## Literatur

- KTBL 2007: Faustzahlen Biogas. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt.
- STÜLPNAGEL 2012: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V (FNR). Verbundvorhaben EVA – Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, Teilprojekt 6. <http://www.eva-verbund.de/struktur/zweikulturnutzungs-und-oekoversuch.html>
- VDLUFA 2004: Standpunkt Humusbilanzierung. Methode zur Bereitung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. [www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf](http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf)



## **Entwicklung des Bodenwassergehaltes bei differenzierter organisch-mineralischer Düngung auf einem leicht schluffigen Sandboden**

Thomas Gäbert<sup>1</sup>, Frank Ellmer<sup>1</sup> und Michael Baumecker<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin; <sup>2</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, Lehr- und Forschungsstation Thyrow, Dorfstraße 9, 14974 Thyrow. E-Mail: thomas.gaebert@agrar.hu-berlin.de

### **Einleitung**

Während einer Vegetationsperiode wurde in einem Dauerfeldversuch auf einem leicht schluffigen Sandboden zweimal wöchentlich der Bodenwassergehalt gemessen und ausgewählte Daten zum Silomais erfasst. Nach 75 Jahren differenzierter organisch-mineralischer Düngung hatte sich ein deutlich abgestufter Gehalt an organischem Kohlenstoff eingestellt. Neben bodenchemischen und -biologischen Effekten waren damit Veränderungen bodenphysikalischer Parameter verbunden. Diese Parameter haben wesentlichen Einfluss auf die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens und auf die Dynamik des Bodenwasserhaushaltes. Damit leisten sie eine erhebliche Pufferarbeit bezüglich des Faktors Wasser.

### **Material und Methoden**

Im Jahr 2011 wurde von April bis Oktober im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow zweimal wöchentlich der volumetrische Bodenwassergehalt gemessen. Der Versuch ist als einfaktorielle Blockanlage mit acht Prüfgliedern in vierfacher Wiederholung angelegt. Für die Untersuchungen wurden 5 Prüfglieder ausgewählt (Ohne Düngung; Stallmist; NPK, Stallmist und Kalk; NPK und Kalk; NPK). Der am Standort vorherrschende Bodentyp ist eine Fahlerde-Braunerde. Die Bodenart in der Krume ist leicht bis mittel schluffiger Sand und im Unterboden ist vorherrschend sandiger Lehm anzutreffen. Die für die Bodenwassergehaltsbestimmung eingesetzte FDR-Sonde (frequency domain reflectometry; Modell PR2 von Delta-T devices, Cambridge) erfasst die Daten gleichzeitig in sechs verschiedenen Bodentiefen (10, 20, 30, 40, 60 und 100 cm). Mit der gleichen zeitlichen Auflösung wurden das Entwicklungsstadium (BBCH, 2001) und die Bestandeshöhe des Silomaises erfasst. Abschließend wurden der Ertrag und ausgewählte Qualitätsparameter ermittelt.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Das Jahr 2011 war geprägt durch eine ausgedehnte Vorsommertrockenheit im April, Mai bis Ende Juni und durch die seit Ende Juni stark zugenommenen Niederschläge, die besonders im Juli eine deutlich überdurchschnittliche Größenordnung annahmen. Auch im August und September lagen die Niederschlagsmengen noch über dem langjährigen Mittel. Diese Variabilität hatte einen besonders dynamischen Verlauf der Entwicklung des Bodenwassergehaltes zur Folge.

Die vor Beginn der Messung durchgeführten bodenchemischen und -physikalischen Untersuchungen zeigten, dass sich nach 75 Jahren differenzierter organisch-mineralischer Düngung erheblich voneinander unterscheidende Bodenzustände etabliert hatten. Als zentrales Merkmal zeigte der Gehalt an organischem Kohlenstoff die enorme Spannweite von minimal 305 mg 100 g<sup>-1</sup> (ohne Düngung: Kontrolle) bis maximal 806 mg 100 g<sup>-1</sup> (NPK, Stallmist und Kalk). Infolge

dessen konnten beispielsweise auch bei der Trockenrohichte, der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit, dem Gesamtporenvolumen sowie den Porengrößenklassen signifikante Unterschiede festgestellt werden. In der ersten durch Trockenheit geprägten Phase des Untersuchungszeitraumes (April und Mai) nahmen in allen Prüfgliedern die Wassergehalte ab. Zwischen den Prüfgliedern bestanden insbesondere in den für die Durchwurzelung wichtigen Bodentiefen um 20 cm deutliche Differenzen. Infolge der Stallmistdüngung lagen hier die Gehalte im Durchschnitt 1,7 Vol. % über denen der Kontrolle, welche bei durchschnittlich 10,7 Vol. % lagen. Die organisch und mineralisch versorgte Variante lag mit 13,2 Vol. % 2,5 Vol. % über den Gehalten der Kontrolle. Auch in den beiden rein mineralisch gedüngten Varianten (NPK und Kalk; NPK) konnten im Vergleich zur Kontrolle 1,5 Vol. % bzw. 0,8 Vol. % höhere Bodenwassergehalte festgestellt werden. Diese Unterschiede traten ebenfalls mit einer leicht abweichenden Größenordnung auch in 30 cm Bodentiefe auf. Die darunter liegenden Tiefen zeigten wesentlich geringere Unterschiede bzw. teils entgegengesetzte Differenzen, was hauptsächlich durch den geringer werdenden Einfluss der Witterung, der abnehmenden Durchwurzelung und der sich verändernden Bodentextur mit zunehmender Tiefe erklärbar ist. Auch die geringere Wasserspeicherung in der Krume und die entsprechend schnellere Ableitung des Wassers in tiefere Bodenschichten hatten einen Einfluss. Der im Juni mit dem Schossen beginnende Mais (ab einer Bestandeshöhe von etwa 60 cm) führte in der Variante mit dem intensivsten Pflanzenwachstum (NPK, Stallmist und Kalk) zu einem erhöhten Wasserverbrauch und damit zu einer deutlich überproportionalen Abnahme des Wassergehaltes.

Durch den im Vergleich zum langjährigen Mittel 124,5 mm höheren Niederschlag von 181,1 mm im Juli wurde der Boden in dieser Zeit, sowie auch in den folgenden Monaten bis Oktober, mehrfach bis auf Feldkapazität (17,2 bis 20,0 Vol. %) gesättigt. Dadurch trat zu keiner Zeit Wassermangel auf und der Mais wurde auch in der kritischen Phase im Juli und August, in der etwa die Hälfte der Trockensubstanz gebildet wird (Zscheischler et al., 1990), ausreichend mit Wasser versorgt. Unabhängig von der optimalen Wasserversorgung lag der Gehalt in der NPK, Stallmist und Kalk Variante in dieser Phase etwa 1 % unter dem der Kontrolle. Nach der Ernte und dem damit verbundenen Wegfall des Wasserverbrauches der Pflanzen konnte im Vergleich zur Kontrolle wieder ein um 1,8 % höherer Bodenwassergehalt festgestellt werden.

Als Resultat der Boden- und Witterungsbedingungen in der Vegetation des Maises bildete dieser deutlich differenzierte Biomassen. Während trotz 75 Jahren ohne Düngung immer noch 41,7 dt ha<sup>-1</sup> TM aufwuchsen, zeigte die Variante NPK, Stallmist und Kalk einen überdurchschnittlich hohen Ertrag von 306,6 dt ha<sup>-1</sup> TM. Nach reiner Stallmistdüngung wurden 175,3 dt ha<sup>-1</sup> TM und nach vollständiger Mineraldüngung (NPK und Kalk) 204,6 dt ha<sup>-1</sup> TM geerntet. Infolge des Kalkmangels musste ein fast 25 dt ha<sup>-1</sup> TM geringer Ertrag in Kauf genommen werden.

## Literatur

BBCH Arbeitskreis (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. 2. Aufl. Hrsg. BBA  
Zscheischler, J.; Estler, M.; Staudacher, W.; Groß, F.; Burgstaller, G.; Strey, H.; Rechmann, T. (1990):  
Handbuch Mais. 4. Auflage. Frankfurt am Main, DLG Verlag

## **Einfluss von langjähriger Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug auf den Humusvorrat in der Ökologischen Fruchtfolge Güterfelde**

Jörg Zimmer<sup>1</sup>, Bärbel Dittmann<sup>1</sup>, Thomas Bergner<sup>1</sup>, Bärbel Kroschewski<sup>2</sup>  
und Walter Schmidt<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Stahnsdorf, E-Mail: Joerg.Zimmer@LELF.Brandenburg.de; <sup>2</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin; <sup>3</sup>Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Leipzig

### **Einleitung**

In der Literatur sind die Angaben zu den Auswirkungen pflugloser Bodenbearbeitung auf den Humusvorrat in der Ackerkrume widersprüchlich (Schmidt & Christen, 2010). Kaum verfügbar sind standortbezogene Untersuchungen für die Bewirtschaftung der diluvialen Böden Nordostdeutschlands, insbesondere für den ökologischen Landbau. Dies war der Anlass für umfangreiche Bodenuntersuchungen im Bodenbearbeitungs- und Düngungsversuch Ökologische Fruchtfolge Güterfelde (1994-2009).

### **Material und Methoden**

Versuchsstandort: Güterfelde, Brandenburg (Su2, AZ 23-31, 544 mm, 9,2 °C);

Versuchsanlage: 7-feldriger, 2-faktorieller Dauerfeldversuch mit 4 Wiederholungen;

Fruchtfolge: KG-KAR-WR-LUP-TRI-SM-WR+KG (Zwischenfruchtanbau vor jeder Sommerung; Jede Fruchtart steht jährlich im Feld, d.h. immer gleiche Abfolge der Fruchtarten auf allen Feldern, jedoch zeitlich versetzt)

Prüffaktor A: Bodenbearbeitung wendend mit Pflug (25-30 cm) und nicht wendend mit Scheibenegge, Schwergrubber (12-15 cm);

Prüffaktor B: mit Stalldungeneinsatz (je 200 dt FM ha<sup>-1</sup> zu Kartoffel und Silomais, je 100 dt FM ha<sup>-1</sup> zu Winterroggen und Triticale) und ohne Stalldungeneinsatz.

Nach 16 Versuchsjahren wurden im Zeitraum 2009/2010 von den 112 Prüfparzellen des Versuches Bodenproben zur Bestimmung des C<sub>t</sub>- und N<sub>t</sub>-Gehaltes (VDLUFAMethodenstandard) und Stechzylinderproben (10-12 je Beprobung) aus der ungestörten natürlichen Bodenlagerung zur Bestimmung der Bodenlagerungsdichte entnommen. Jede Prüfparzelle des Versuchs wurde separat im oberen (0-15 bzw. 9-14 cm) und im unteren (15-30 bzw. 18-23 cm) Bereich der Ackerkrume beprobt. Anhand der bestimmten C<sub>t</sub>- und N<sub>t</sub>-Gehalte und der ermittelten Bodenlagerungsdichte (Mittelwert je Beprobung) erfolgte die Berechnung der C- und N-Vorräte.

Die statistische Auswertung erfolgte mittels Varianzanalyse. Es wurde das Modell einer vollständigen Randomisation unterstellt, da die Versuchsanlage nicht korrekt nach biometrischen Grundsätzen geplant wurde. Aufgrund der Lage der Bodenbearbeitungsvarianten als separate Streifen über die gesamte Versuchsfläche kann deren Wirkung von möglicherweise vorhandenen Bodenunterschieden nicht getrennt werden. Da mehrere im Versuchsverlauf durchgeführte umfangreiche Bodenuntersuchungen der Ackerkrume keine Bodensubstratunterschiede zwischen den einzelnen Versuchspartellen ergaben, scheint diese vereinfachende Vorgehensweise gerechtfertigt. Es lag Normalverteilung der Residuen vor. Für die Kombinationen der sieben Versuchsfelder und der beiden Prüffaktoren konnte Varianzhomogenität angenommen werden, gleichfalls eine einheitliche Korrelation der C- und N-Vorräte je Versuchspartelle zwischen den beiden Ackerkrumentiefen.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Signifikanzprüfung der fixen Versuchseffekte ergab eine Interaktion zwischen den zum Untersuchungstermin mit den verschiedenen Fruchtarten angebaute Versuchsfeldern (1-7) und der Ackerkrumentiefe (0-15 und 15-30 cm). Der Vergleich der C- und N-Vorräte erfolgte daher für die Versuchsfelder separat. Für den Gesamtversuch zusammengefasst sind die Ergebnisse in der Tabelle dargestellt.

**Tab. :** Auswirkungen von Bodenbearbeitung mit Pflug und pflugloser Bodenbearbeitung jeweils mit und ohne Stallungeinsatz auf den mittleren C- und N-Vorrat in der Ackerkrume (Öko-FF Güterfelde, 2009/10)<sup>1</sup>

Merkmal	Ackerkrumentiefe [cm]	Kombination Bodenbearbeitung und Stallungeinsatz					
		mit Pflug   pfluglos ohne Stallung			Sign. <sup>2</sup>	mit Pflug   pfluglos mit Stallung	
C-Vorrat [t C <sub>t</sub> ha <sup>-1</sup> ]	0-15	19,9	23,6	6	22,9	25,7	3
	15-30	17,8	17,7	1	20,4	19,6	0
	0-30	37,7	41,3	2	43,3	45,4	0
N-Vorrat [t N <sub>t</sub> ha <sup>-1</sup> ]	0-15	1,9	2,3	5	2,2	2,5	2
	15-30	1,7	1,8	1	2,0	2,0	0
	0-30	3,7	4,1	2	4,2	4,5	2

<sup>1</sup> es werden die Gesamtmittelwerte über alle Versuchsfelder mitgeteilt (n=28)

<sup>2</sup> Anzahl Versuchsfelder, deren Bodenbearbeitungsvarianten sich im LSD-Test signifikant unterscheiden ( $\alpha \leq 0,05$ )

In der Ackerkrume (0-30 cm) führte langjährig pfluglose Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflugeinsatz zu 5-10 % höheren C- (2,1-3,6 t C<sub>t</sub> ha<sup>-1</sup>) und 8-10 % höheren N-Vorräten (0,3-0,4 t N<sub>t</sub> ha<sup>-1</sup>). Auf Grund der Merkmalsstreuung ( $s=5,0-5,8$  t C<sub>t</sub> ha<sup>-1</sup> bzw. 0,3-0,5 t N<sub>t</sub> ha<sup>-1</sup>) sind diese Unterschiede nur bei 2 der 7 Versuchsfelder signifikant. Auffällig ist, dass diese Effekte auf den oberen Ackerkrumenbereich (0-15 cm) beschränkt bleiben. Hier waren die Unterschiede ohne Stallungeinsatz bei 5 bzw. 6 Versuchsfeldern signifikant, mit Stallungeinsatz bei 2 bzw. 3 Versuchsfeldern. Positive Ertragswirkungen blieben bisher aus (Dittmann & Zimmer, 2010). Beides deutet darauf hin, dass auch nach 16 Versuchsjahren die Einstellung des standort-, fruchtfolge- und bodenbearbeitungsspezifischen Humusversorgungszustandes, insbesondere bei Stallungeinsatz, noch nicht abgeschlossen ist. Weitere Versuchsjahre wären daher erforderlich, statt den Versuch im Jahr 2009 einzustellen.

Auch wenn mit den vorliegenden Ergebnissen der abschließende Nachweis, ob langjährig pfluglose Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflugeinsatz zu einer Humusmehrung in der Ackerkrume führt, nicht erbracht werden kann, weisen die tendenziell höheren Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte bei pflugloser Bodenbearbeitung auf wesentliche Nachteile des Pflugeinsatzes hin. Unter Annahme eines standorttypischen Dauerhumusvorrats von 20 t C ha<sup>-1</sup> sind mit der Ökologischen Fruchtfolge Güterfelde bodenbearbeitungsbedingte Verluste an leicht abbaubarer organischer Bodensubstanz infolge Pflugeinsatz statt pflugloser Bodenbearbeitung von bis zu 17 % und jährliche Stickstoffverluste von bis zu 24 kg ha<sup>-1</sup> quantifizierbar. Pflugeinsatz als aktueller Bodenbearbeitungsstandard im Ökologischen Landbau wäre folglich neu zu diskutieren.

## Literatur

- Schmidt, H. und C. Christen 2010: Literaturübersicht zu Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung. IN: H. Schmidt (Hrsg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Verlag Dr. Köster. Berlin. 2010: 203-226.  
 Dittmann, B. und J. Zimmer 2010: Ökologische Fruchtfolge Güterfelde. IN: H. Schmidt (Hrsg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Verlag Dr. Köster. Berlin. 2010: 227-231.

## **Einfluss von langjähriger Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug auf die Bodenstruktur in der Ökologischen Fruchtfolge Güterfelde**

Walter Schmidt<sup>1</sup>, Helmut Götze<sup>1</sup>, Jörg Zimmer<sup>2</sup>, Bärbel Dittmann<sup>2</sup>, Thomas Bergner<sup>2</sup> und Bärbel Kroschewski<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Leipzig, E-Mail: Walter.Schmidt@SMUL.Sachsen.de; <sup>2</sup>Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Stahnsdorf; <sup>3</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.

### **Einleitung**

Die Angaben zu den Auswirkungen pflugloser Bodenbearbeitung auf die Bodenstruktur in der Ackerkrume sandreicher Böden sind widersprüchlich. Kaum verfügbar sind Standort bezogene Untersuchungen für die Bewirtschaftung der diluvialen Böden Nordostdeutschlands, insbesondere für den ökologischen Landbau. Dies war der Anlass für umfangreiche chemische und bodenphysikalische Bodenuntersuchungen im Bodenbearbeitungs- und Düngungsversuch Ökologische Fruchtfolge Güterfelde (1994-2009).

### **Material und Methoden**

Versuchsstandort: Güterfelde, Brandenburg (Su2, AZ 23-31, 544 mm, 9,2 °C);  
Versuchsanlage: 7-feldriger, 2-faktorieller Dauerfeldversuch mit 4 Wiederholungen;  
Fruchtfolge: KG-KAR-WR-LUP-TRI-SM-WR+KG (Zwischenfruchtanbau vor jeder Sommerung; jede Fruchtart steht jährlich im Feld, d. h. immer gleiche Abfolge der Fruchtarten auf allen Feldern, jedoch zeitlich versetzt);  
Prüffaktor A: Bodenbearbeitung wendend mit Pflug (25-30 cm) und nicht wendend mit Scheibenegge, Schwergrubber (12-15 cm);  
Prüffaktor B: mit Stalldungeinsatz (je 200 dt FM ha<sup>-1</sup> zu Kartoffel und Silomais, je 100 dt FM ha<sup>-1</sup> zu Winterroggen und Triticale) und ohne Stalldungeinsatz.

Nach Versuchseinstellung mit der Ernte 2009 wurden im Jahr 2010 von zwei seit der Ernte 2009 unberührten Versuchsfeldern (Klee gras- und Triticaleanbau) Stechzylinderproben (12 je Beprobung) zur Bestimmung der Bodenlagerungsdichte (TRD) und des Grob-, Mittel- sowie Feinporenvolumens von drei ausgewählten Bewirtschaftungsvarianten (Bodenbearbeitung mit Pflug ohne Stalldungeinsatz sowie pfluglose Bodenbearbeitung mit und ohne Stalldungeinsatz) entnommen. Jede Prüfparzelle des Versuchs wurde separat im oberen (9-14 cm) und unteren (18-23 cm) Bereich der Ackerkrume beprobt. Das Gesamtporenvolumen (GPV) und die Porenverteilung wurde durch Einsetzen der Stechzylinder in eine Sandbox sowie mit Hilfe einer Drucktopfanlage (pF-Werte 2,5 und 4,2) ermittelt. Aus den erzielten Messergebnissen wurden Luftkapazität (LK) sowie die nutzbare Feldkapazität (nFK) bestimmt. Die TRD wurde durch Rückwiegen der im Trockenschrank getrockneten Stechzylinder ermittelt.

Für die statistische Auswertung wurden die Parzellenmittelwerte aus den 12 Einzelwerten je Bodentiefe verwendet. Die Auswertung erfolgte mittels 2-faktorieller ANOVA (Bewirtschaftung, Ackerkrume) je Versuchsfeld mit anschließendem LSD-Test. Es wurde das Modell einer vollständigen Randomisation unterstellt (vgl. Zimmer et al. 2011).

## Ergebnisse und Diskussion

Der Vergleich der Bewirtschaftungsvarianten erfolgte aufgrund von Interaktionen separat für jede Ackerkrumentiefe und je Versuchsfeld.

**Tabelle:** Auswirkungen von Bodenbearbeitung mit Pflug (ohne Stallung) und pflugloser Bodenbearbeitung (mit und ohne Stallung) auf ausgewählte Bodenstrukturmerkmale in der Ackerkrume (Öko-FF Güterfelde, 2009/10)<sup>1</sup>

Merkmal	Ackerkrumentiefe [cm]	Kombination Bodenbearbeitung und Stallungeinsatz					
		mit Pflug		pfluglos		pfluglos mit Stallung	
		ohne Stallung					
		Feld 2 <sup>2</sup>	Feld 6 <sup>3</sup>	Feld 2 <sup>2</sup>	Feld 6 <sup>3</sup>	Feld 2 <sup>2</sup>	Feld 6 <sup>3</sup>
TRD (g cm <sup>-3</sup> )	0-15	1,46 <sup>a</sup>	1,50 <sup>b</sup>	1,46 <sup>a</sup>	1,42 <sup>a</sup>	1,49 <sup>a</sup>	1,40 <sup>a</sup>
	15-30	1,44 <sup>a</sup>	1,48 <sup>a</sup>	1,59 <sup>b</sup>	1,64 <sup>b</sup>	1,60 <sup>b</sup>	1,62 <sup>b</sup>
GPV (Vol.-%)	0-15	45,0 <sup>a</sup>	43,5 <sup>a</sup>	44,8 <sup>a</sup>	46,3 <sup>b</sup>	43,8 <sup>a</sup>	47,0 <sup>b</sup>
	15-30	45,7 <sup>b</sup>	44,2 <sup>b</sup>	40,2 <sup>a</sup>	38,3 <sup>a</sup>	39,6 <sup>a</sup>	39,0 <sup>a</sup>
LK (Vol.-%)	0-15	25,8 <sup>b</sup>	28,1 <sup>a</sup>	25,6 <sup>b</sup>	29,3 <sup>a</sup>	22,6 <sup>a</sup>	30,1 <sup>a</sup>
	15-30	27,6 <sup>b</sup>	28,5 <sup>b</sup>	21,6 <sup>a</sup>	20,7 <sup>a</sup>	20,7 <sup>a</sup>	21,5 <sup>a</sup>
nFK (Vol.-%)	0-15	13,9 <sup>a</sup>	12,9 <sup>a</sup>	13,7 <sup>a</sup>	13,9 <sup>a</sup>	16,3 <sup>b</sup>	13,4 <sup>a</sup>
	15-30	14,2 <sup>a</sup>	13,2 <sup>a</sup>	13,9 <sup>a</sup>	14,9 <sup>b</sup>	13,3 <sup>a</sup>	14,6 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> ANOVA der Parzellenmittelwerte; Bewirtschaftungsvarianten je Feld und Ackerkrumentiefe mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich im LSD-Test nicht signifikant ( $\alpha \leq 0,05$ ), <sup>2</sup> Klee gras (2009), <sup>3</sup> Triticale (2009)

Beim Vergleich der gepflügten mit der gegrubberten Oberkrume (0-15 cm Bodentiefe (BT)) zeigen sich hinsichtlich TRD, GPV und LK keine eindeutigen Unterschiede. Die langjährig pfluglose Bearbeitung führte zu einem signifikanten Anstieg der TRD in der Unterkrume (BT 15-30 cm) im Vergleich zur pfluglos bestellten Oberkrume (BT 0-15 cm) und zur Pflugvariante. Tendenzielle Unterschiede sind beim GPV und bei der LK der Unterkrume (BT 15-30 cm) der pfluglos bestellten Varianten erkennbar. Die Stallunggabe bleibt nahezu ohne Effekte. Trotz der sehr umfangreichen Beprobung und Laboranalysen kann auf Grund der hohen Einzelwertstreuung, mit Ausnahme der TRD, abschließend keine eindeutige Aussage zu den Effekten der dauerhaft pfluglosen Bearbeitung auf die Bodenstruktur (und den damit verbundenen Merkmalen wie z. B. der nFK) im Vergleich zum Pflugeinsatz gemacht werden. Zu diskutieren ist, ob diese Streuung bedingt ist durch den Feld- bzw. Fruchtarteneinfluss bzw. durch die natürliche Standortheterogenität oder aber einer Kombination beider Einflussgrößen. Die Ergebnisse werden durch die fehlenden Ertragsunterschiede bei den im Versuch in unterschiedlicher Weise angebauten sieben Fruchtarten bestätigt (Dittmann und Zimmer, 2010).

## Literatur

Dittmann, B. und J. Zimmer 2010: Ökologische Fruchtfolge Güterfelde. IN: H. Schmidt (Hrsg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Verlag Dr. Köster. Berlin. 2010: 227-231.  
Zimmer, J., Dittmann, B., Bergner, Th., Kroschewski, B. und W. Schmidt 2011: Einfluss von langjähriger Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug auf den Humusvorrat in der Ökologischen Fruchtfolge Güterfelde. Siehe vorliegender Tagungsband.

## Reduzierte Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau: Auswirkungen auf organischem Kohlenstoff und den Nährstoffhaushalt im Boden

Sabine Zikeli<sup>1</sup>, Sabine Gruber<sup>2</sup>, Felix Teufel<sup>2</sup> und Wilhelm Claupein<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Koordinationsstelle für Ökologischen Landbau und Verbraucherschutz, Universität Hohenheim, Stuttgart; <sup>2</sup>Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart; E-Mail: sabine.zikeli@uni-hohenheim.de

### Einleitung

Im Ökologischen Landbau wird die Anwendung von verschiedenen Verfahren zur reduzierten Bodenbearbeitung stark diskutiert. Hierbei spielt zum einen der Anspruch des Ökologischen Landbaus eine große Rolle, eine möglichst „bodenschonende“, d.h. auf die Förderung des Bodenlebens ausgerichtete Arbeitsweise zu praktizieren. Zum anderen bietet die reduzierte Bodenbearbeitung aus Sicht des Boden- und Klimaschutzes viele Vorteile: Verringerung der Wind- und Wassererosion, Erhöhung der Infiltration, Reduzierung des Ausstoßes von klimarelevanten Gasen durch einen niedrigeren Verbrauch an fossilen Energieträgern bei Pflugverzicht sowie ein gesteigertes Potential zur Kohlenstoffsequestrierung in Böden. Diesen wünschenswerten Auswirkungen stehen jedoch häufig Befürchtungen gegenüber, höherer Beikrautbesatz und geringere N-Verfügbarkeit könnten zu Ernteverlusten führen. Inwieweit tatsächlich durch reduzierte Bodenbearbeitung eine Sequestrierung von Kohlenstoff von Boden stattfindet, ist bisher unklar (Baker et al., 2007). Im konventionellen Landbau wird häufig eine Anreicherung von Kohlenstoff im Oberboden festgestellt, während die Gehalte an Kohlenstoff in den unteren Horizonten sinken (Triplett & Dick, 2008). Ähnliche Ergebnisse wurden für die Bodentiefen 0-20 cm unter ökologischer Bewirtschaftung von Gadermaier et al (2011) ermittelt. Im Rahmen eines langjährigen Dauerversuchs wurde daher geprüft, ob verschiedene Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau zu einer Kohlenstoffanreicherung in der Bodentiefe 0-60 cm führen und somit zur Kohlenstoffsequestrierung beitragen. Außerdem wurden die Konzentrationen der Nährstoffe N, P und K in den unterschiedlichen Profiltiefen ermittelt.

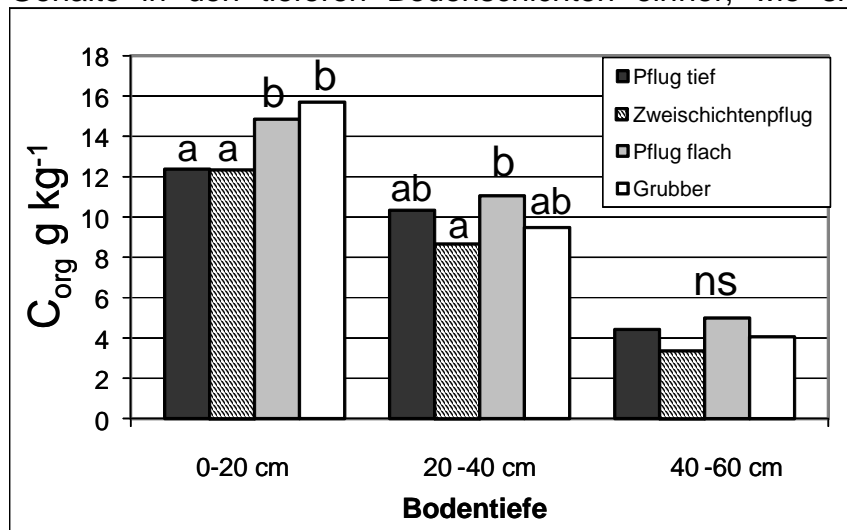
### Material und Methoden

Der Dauerversuch zur reduzierten Bodenbearbeitung wurde im Jahr 1999 auf der seit 1994 ökologisch bewirtschafteten Versuchsstation der Universität Hohenheim (435 m ü. NN, 700 mm durchschnittlicher Jahresniederschlag, 8,8 °C Jahresdurchschnittstemperatur) angelegt. Der Versuch wurde als Spaltanlage mit den Faktoren Grundbodenbearbeitung (4 Varianten: Pflug 25 cm tief, Zweischichtenpflug 15 + 10 cm, Pflug 15 cm, Grubber 15 cm) und dem Faktor Stoppelbearbeitung (mit und ohne Schälppflug) angelegt. Die achtjährige Fruchtfolge umfasst folgende Kulturarten: Zweijähriges Klee gras, Winterweizen (*Triticum aestivum* L.), Hafer (*Avena sativa*, L), Ackerbohnen (*Vicia faba*, L.), Dinkel (*Triticum spelta*, L.), Kartoffeln (*Solanum tuberosum*, L.) oder Mais (*Zea mays* L.) und Triticale (*Triticosecale*, Wittm.). Gedüngt wurden vor Kartoffeln und Mais je 2,4 t ha<sup>-1</sup> sowie vor Hafer mit 1,8 t ha<sup>-1</sup> mit kompostiertem Schafmist. Im Jahr 2011 wurden folgende Bodenparameter in den Tiefen 0–20 cm, 20–40 cm und 40–60 cm in allen Bodenbearbeitungsvarianten bestimmt: Gesamtkohlenstoff (C<sub>t</sub>), Gesamtstickstoff (N<sub>t</sub>), organischer Kohlenstoff

( $C_{org}$ ), heißwasserlöslicher Kohlenstoff ( $C_{hwl}$ ), pflanzenverfügbares P und K (CAL) sowie die Lagerungsdichte (drei Stechzylinder je Bodentiefe).

### Ergebnisse und Diskussion

Bei flacher Grundbodenbearbeitung („Pflug flach“, Grubber; ohne Stoppelbearbeitung) wurden mit 14,9 bzw. 15,7 g kg<sup>-1</sup> signifikant höhere Gehalte an organischer Substanz in der Bodentiefe von 0–20 cm festgestellt als bei tiefer Bodenbearbeitung mit 12,3 g kg<sup>-1</sup>  $C_{org}$  (Zweischichtenpflug) und 12,4 g kg<sup>-1</sup> (Pflug tief, Abb.1). Bei den Gehalten an heißwasserlöslichem Kohlenstoff war die Tendenz ähnlich (nicht dargestellt). Mit steigenden Kohlenstoffgehalten im Oberboden bei flacher Grundbodenbearbeitung ging jedoch keine entsprechende Verringerung der  $C_{org}$ -Gehalte in den tieferen Bodenschichten einher, wie sie häufig in der Literatur



**Abb. 1:** Gehalte an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) in den Bodenbearbeitungsvarianten (ohne Stoppelbearbeitung) in den Bodentiefen von 0–60 cm des Dauerversuchs nach 11 Versuchsjahren; unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede, Signifikanzen gelten innerhalb der Tiefenstufen für  $\alpha=0,05$ ; ns = nicht signifikant

beschrieben ist. Der Gesamt-N-Gehalt war im Oberboden bei den flachen Bearbeitungsvarianten signifikant erhöht. Ebenso zeigten die Gehalte an pflanzenverfügbarem P eine leichte Anreicherung im Oberboden in den Varianten mit flacher Bodenbearbeitung (nicht dargestellt). Die Ergebnisse bestätigen das Potential zur CO<sub>2</sub>-Speicherung durch reduzierte Bodenbearbeitung auch im Ökologischen Landbau. Zudem zeigte sich eine veränderte Verteilung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe in den unterschiedlichen Tiefenstufen je nach Bodenbearbeitungsvariante. Es wird deutlich, dass sich die Prozesse im Boden, die sich mit einer verringerten Bearbeitungsintensität verändern, langsam vollziehen. Möglicherweise hatte im vorliegenden Versuch die zweijährige Bodenruhe unter Klee gras innerhalb der Fruchtfolge (insgesamt vier Jahre im Versuch) dazu geführt, dass die Ergebnisse in den 11 Jahren nicht stärker differenzierten. Dazu mag auch die jährliche mechanische Beikrautregulierung in den Kulturen beigetragen haben.

### Literatur

- Baker, J.M., T.E. Ochsner, R.T. Venterea, und T.J. Griffis, 2007: Tillage and soil carbon sequestration – what do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:1-5
- Gandermaier, F., A. Berner, Fließbach, J. K. Friedel, und P. Mäder 2011: Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming, *Renewable Agriculture and Food Systems* 27(1):68-80, doi:10.1017/S1742170510000554.
- Triplett, G.B. und W. A. Dick 2008: No-Tillage crop production: A revolution in Agriculture. *Agronomy Journal* 100:153-265, doi:10.2134/agronj2007.0005c.

beschrieben ist. Der Gesamt-N-Gehalt war im Oberboden bei den flachen Bearbeitungsvarianten signifikant erhöht. Ebenso zeigten die Gehalte an pflanzenverfügbarem P eine leichte Anreicherung im Oberboden in den Varianten mit flacher Bodenbearbeitung (nicht dargestellt). Die Ergebnisse bestätigen

das Potential zur CO<sub>2</sub>-Speicherung durch reduzierte Bodenbearbeitung auch im Ökologischen Landbau. Zudem zeigte sich eine veränderte Verteilung der pflanzenverfügbaren



## **Auswirkung differenzierter mechanischer Bodenbelastungen auf ausgewählte Eigenschaften des Oberbodens und den Ertrag von Erbse in Reinsaat und Gemenge**

M. Wild<sup>1</sup>, R. Brandhuber<sup>1</sup>, M. Demmel<sup>1</sup>, A. Gronle<sup>2</sup>, H. Böhm<sup>2</sup>, G. Lux<sup>3</sup>,  
K. Schmidtke<sup>3</sup> und C. Bruns<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttingerstr. 38, 85354 Freising, <sup>2</sup>von Thünen Institut, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, <sup>3</sup>Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Pillnitzer Platz 2, 01326 Dresden, E-Mail: melanie.wild@lfl.bayern.de

### **Einleitung**

Im Ökologischen Landbau hängt die Bodenfruchtbarkeit – abgesehen von den kaum zu beeinflussenden standörtlichen Gegebenheiten – sehr von der Leistungsfähigkeit der Leguminosen ab. Vor allem durch ihre Fähigkeit, Luftstickstoff zu binden und diesen für ihr eigenes Wachstum sowie für die Folgekulturen verfügbar zu machen, bilden Leguminosen die Grundlage der Bodenfruchtbarkeit. Dies bedeutet, dass Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit der Leguminosen nicht nur deren eigenen Ertrag sondern auch die Leistungsfähigkeit der gesamten Fruchtfolge begrenzen. Körnerleguminosen reagieren allerdings sehr empfindlich auf Beeinträchtigungen, wie das Vorhandensein von boden- oder samenbürtigen Pathogenen, Verdichtungen im Wurzelraum und eine geringe Verfügbarkeit von Nährstoffen wie Phosphor und Kalium. Die Bodenbearbeitung im ökolog. Landbau ist vergleichsweise intensiv, das Risiko für Bodenverdichtungen daher hoch. Ziel ist es, den Einfluss differenzierter Bodenbelastung auf bodenphysikalische Parameter und den Ertrag von Erbsen zu analysieren. Zusätzlich soll geklärt werden, ob ein Anbau von Erbsen im Gemenge mit Hafer Vorteile gegenüber einer Reinsaat bringt. Dazu wurden an vier Standorten in Deutschland im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geförderten Verbundprojektes „Belastungsversuche“ angelegt.

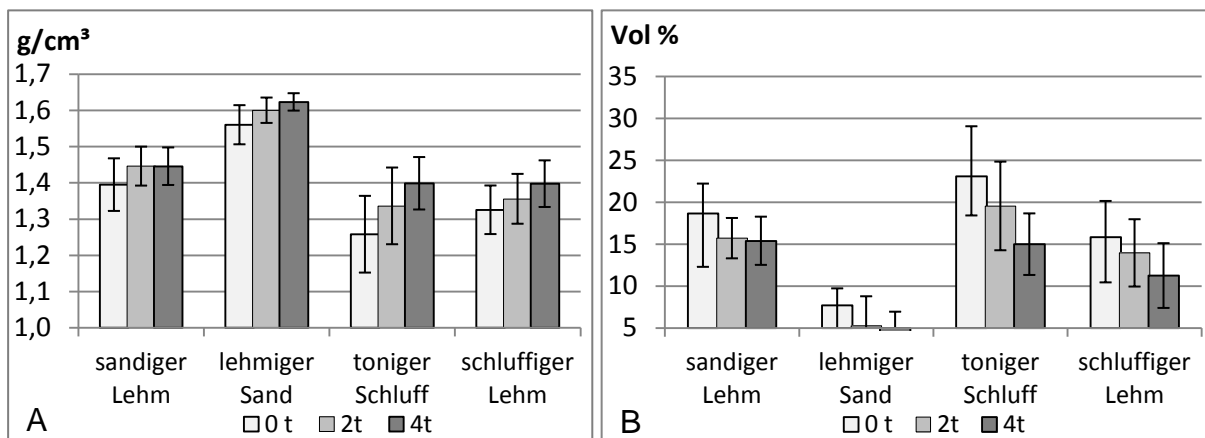
### **Material und Methoden**

An vier Standorten in Nord-, Ost-, Mittel-, und Süddeutschland wurden zwischen 2009 und 2011 nach einer tiefwendenden Grundbodenbearbeitung im Herbst (Pflug 20 – 28 cm) neun zweifaktorielle randomisierte Blockanlagen auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen angelegt. Geprüft wurden die Versuchsfaktoren Fruchtart und Bodenbelastung in 4 Wiederholungen. Die Parzellen hatten eine Mindestgröße von 1,50 m x 13 m. Mit einem speziell angefertigten „Belastungswagen“ wurde der Boden im Frühjahr in tragfähigem Zustand mit 2,6 t und 4,6 t Radlast mit einem Radialreifen (650/65 R 38) einfach überrollt. Der Reifenluftdruck wurde nach Reifenluftdrucktabelle des Herstellers (Michelin) auf Feldarbeit eingestellt: 0,6 bar bei 2,6 t und 1,6 bar bei 4,6 t Radlast. Zusätzlich gab es Kontrollparzellen, die unbelastet blieben (0 t). Nach der Überrollung erfolgte die Saatbettbereitung mit der Kreiselegge (8 cm Arbeitstiefe) und die Aussaat von Erbse ('Santana'), Hafer ('Dominik') und Erbse-Hafer-Gemenge. Die Saatstärke betrug bei Erbse 80, bei Hafer 300 und im Gemenge 80 + 60 keimfähige Körner m<sup>-2</sup>. Die gewählten Radlasten und Reifeninnendrucke entsprachen guter fachlicher Praxis. Zur Analyse bodenphysikalischer Parameter wurden aus jeder Parzelle zwei ungestörte Proben aus 10-15 cm Tiefe (unterhalb der Saatbettbearbeitung) und je

eine gestörte Probe entnommen. Die Analyse der Trockenrohddichte erfolgte nach DIN ISO 11272. Die Luftkapazität wurde via der Reindichte mit einem Helium-Pyknometer (AccyPyk), der Trockenrohddichte und des Wassergehalts bei pF 1,8 (pF-Laborstation mit Saugplattenmodul nach DIN ISO 11274 ermittelt. Bodenart: Standort 1: mittel sandiger Lehm (Ls 3), Standort 2: schwach lehmiger Sand (Sl 2), Standort 3: mittel - stark toniger Schluff (Ut 3/4), Standort 4: schluffiger Lehm (Lu)

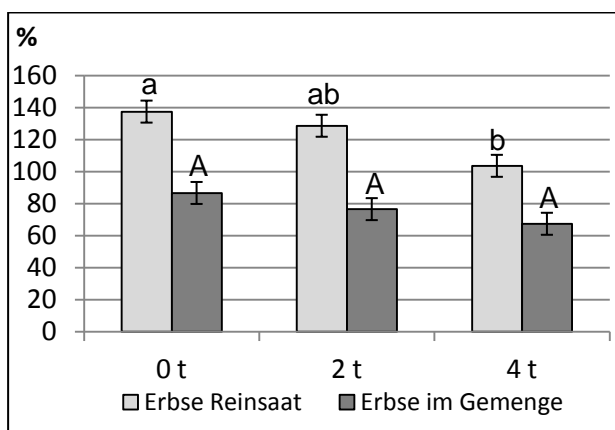
## Ergebnisse und Diskussion

Ergebnisse aus den ersten 3 Jahren zeigen, dass mit steigender Radlast ein deutlichen Anstieg der Trockenrohddichte und eine Abnahme der Luftkapazität im Oberboden verbunden sind (Untersuchung zwei bis vier Wochen nach der Saat). Auf dem Standort mit lehmigem Sand zeigte sich erwartungsgemäß die höchste Trockenrohddichte (Abb. 1).



**Abb. 7:** Trockenrohddichte (A) und Luftkapazität (B) der vier Standorte in einer Tiefe von 10 - 15 cm im unbelasteten Zustand (0 t) und nach Überrollung mit 2 t und 4 t Radlast. Beispielhaft im Jahr 2010.

Die Erbsen in Reinsaat reagierten mit deutlichen Ertragseinbußen auf die Belastung: 6% Minderertrag bei 2 t und 19% bei 4 t (Abb. 2). Im Anbau mit Hafer zeigten sie eine deutlich abgeschwächte und statistisch nicht signifikante Reaktion auf die Belastung. Das Ertragsniveau der Erbse im Gemengeanbau war niedriger als in Reinsaat, wobei der Gesamtertrag (in dt ha<sup>-1</sup>) im Gemenge in allen Varianten deutlich über dem der Reinsaat lag (ohne Abbildung).



**Abb. 8:** Relativer Kornerntrag von Erbse in Reinsaat und im Gemenge im unbelasteten Zustand (0 t) und nach Überrollung mit 2 t und 4 t Radlast. Bezugsgröße ist der mittlere Erbsenertrag der Jahre 2009-2011. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey, p= 0.05).

## Parametrisierung eines Phänologiemodells für Winterraps

Ulf Böttcher<sup>1</sup>, Enrico Rampin<sup>2</sup>, Francis Flenet<sup>3</sup> und Henning Kage<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, CAU Kiel, <sup>2</sup>Department of Environmental Agronomy and Crop Sciences, University of Padova / Italien <sup>3</sup>CETIOM, Thiverval-Grignon, Frankreich. E-Mail: boettcher@pflanzenbau.uni-kiel.de

### Einleitung

Eine detaillierte Beschreibung und Prognose der phänologischen Entwicklung ist für viele Zwecke erforderlich. Pflanzenbauliche Maßnahmen werden häufig anhand von Entwicklungsstadien terminiert. Darüber hinaus ist es für die Analyse externer Einflüsse auf die Ertragsbildung hilfreich, oft nicht vorhandene Bonituren von Entwicklungsstadien durch modellbasierte Schätzungen zu ersetzen.

### Material und Methoden

Das phänologische Modell BRASNAP-PH (Habekotté 1997) wurde in die objektorientierte Modellierungsumgebung HUME (Kage und Stützel 1999) implementiert, die es erlaubt, große Datensätze zur Parameterschätzung zu verwenden. Das Modell wurde erweitert und modifiziert, um die Entwicklung in BBCH-Stadien zu berechnen.

Hauptinflussfaktor für die Entwicklung ist die Tagesdurchschnittstemperatur oberhalb einer Basistemperatur, die für Winterraps mit 3°C angenommen wurde. In der Phase zwischen Auflaufen und dem Ende des Streckungswachstums (BBCH 10 bis BBCH 39) wird sie zusätzlich durch Vernalisation und Photoperiode beeinflusst.

Das Modell wurde anhand eines großen Datensatzes mit Entwicklungsbonituren aus verschiedenen Erhebungen in Deutschland, Frankreich und Italien parametrisiert. Dabei decken die Daten alle Rapsanbauregionen Deutschlands und Frankreichs sowie einen Standort in Norditalien ab und wurden in den Jahren 1993 bis 2010 erhoben.

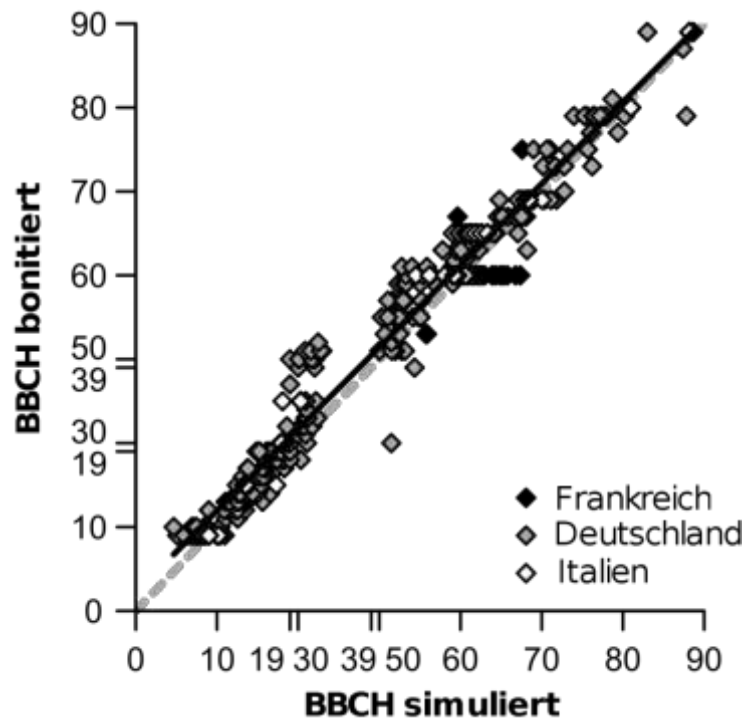
Die Parametrisierung erfolgte schrittweise beginnend mit den Parametern, die zu Beginn der Entwicklung wirken, und den Daten, die in diesen Entwicklungsabschnitt fallen, und darauf aufbauend mit den Parametern für die weiteren Entwicklungsabschnitte. Der Gesamtdatensatz wurde in einen Teil für die Modellkalibrierung und einen unabhängigen Teil für die Validierung unterteilt. Die Parametrisierung erfolgte für alle Standorte und alle im Datensatz enthaltenen Sorten einheitlich.

### Ergebnisse und Diskussion

Mit der vorgestellten Methode lässt sich eine robuste Modellparametrisierung anhand eines großen Datensatzes erreichen, bei dem die Anforderungen an die Qualität der einzelnen Daten geringer sind. Demzufolge konnten Daten aus routinemäßig durchgeführten Bonituren verwendet werden.

Die Vorhersagegüte des Modells für den Validierungsdatsatz erreicht einen mittleren Fehler (RMSE) von 2,8 BBCH-Stadien, für die Vorhersage eines bonitierten EC-Stadiums ergibt sich ein RMSE von 21,2 Tagen. Die Regression von simulierten zu bonitierten BBCH-Stadien liegt sehr nahe der 1:1-Linie mit einem  $r^2$  von 0,97 (Abb. 1) Die größten Abweichungen treten dabei in der Phase der Blattentwicklung (BBCH 10-19) auf, in allen übrigen Phasen ist die mittlere Abweichung kleiner als 9,5 Tage (Tab. 1).

Die phänologische Entwicklung wird vom Modell mit einheitlichen Parameterwerten in allen drei Ländern gleichermaßen gut simuliert. Die Unterschiede in der Entwicklungsgeschwindigkeit zwischen Standorten, Jahren und Aussaatzeiten können alleine durch die unterschiedlichen Temperaturen und durch die unterschiedliche Tageslänge aufgrund der jeweiligen geographischen Breite erklärt werden. Damit ist das Modell gut geeignet, um pflanzenbauliche Maßnahmen zu terminieren oder auch ohne Entwicklungsbonituren für Winterraps-Versuche zu analysieren, in welchen Entwicklungsphasen welche Witterungseinflüsse gewirkt haben.



**Abb. 1:** Simulierte gegen bonitierte BBCH-Stadien für den Validationsdatensatz. Durchgezogene Linie = lineare Regression, gestrichelt = 1:1-Linie.

**Tab. 1:** Vorhersagegüte des Modells (Validierung) für einzelne Entwicklungsphasen

Entwicklungsphase (BBCH-Stadien) <sup>b</sup>	<i>n</i>	RMSE <sub>BBCH</sub>	RMSE <sub>Tag</sub>
Aussaat - Auflaufen (00-09)	86	0,98	2,55
Blattentwicklung (10-19)	179	2,40	23,33
Längenwachstum (30-39)	73	3,54	9,47
Blütenbildung (50-59)	110	4,14	8,00
Blüte (60-69)	350	2,87	6,38
Schotenbildung / Reife (70-89)	103	3,17	6,59
Gesamt (00-89)	901	2,84	21,19

## Literatur

Habekotté, B., 1997: A model of the phenological development of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Res.* 54, 127-136.

Kage, H., Stützel, H., 1999. HUME: An object oriented component library for generic modular modelling of dynamic systems. In: Donatelli, M., Stockle, C., Villalobos, F., Villar Mir, M. (Eds.), *Modelling Cropping Systems*. European Society of Agronomy, Lleida, pp. 299-300.

## Verwendung von Daten der Bodenschätzung, der Ertragskartierung und Luftbildern für die Erzeugung von Standortkarten im GPS-gestützten Ackerbau

Eike Stefan Dobers<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ag-GeoData – Landwirtschaftliche Standorterkundung und Geodaten-Management, Göttingen;  
E-Mail: stefan.dobers@ag-geodata.de

### Einleitung

Die Standort-spezifische Bewirtschaftung von heterogenen Ackerflächen (*site-specific crop production*) erfordert Kartengrundlagen, welche in Verbindung mit GPS-Empfängern eine Variation der Anbauintensität ermöglichen, wenn nicht im Online-Verfahren mit Sensoren gearbeitet werden soll. Verlässliche Standortkarten besitzen weiterhin eine zentrale Stellung für den weiteren Erfolg des GPS-Ackerbaus, da bislang in der Praxis nur für wenige ackerbauliche Maßnahmen geeignete Sensoren zur Verfügung stehen.

Für die Erzeugung von Standortkarten stehen verschiedene Datenquellen zur Verfügung, die jedoch spezifisch interpretiert und hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit bewertet werden müssen, bevor sie weiter verarbeitet werden können. Wichtige Informationen hinsichtlich der Produktivität eines Standortes können aus den Karten der Bodenschätzung, aufbereiteten Ertragskarten und gezielt erstellten Luftbildern gewonnen werden.

### Material und Methoden

Für ein ca. 14 ha großes Feld in der Sandlöss-Region des Fläming (Brandenburg) standen Daten der Bodenschätzung, Ertragskarten der Jahre 2005, 2007, 2008, 2009 und 2010 sowie ein Farbluftbild zur Verfügung. Die einzelnen Datenquellen wurden jeweils bezogen auf den Feldmittelwert in 8 Klassen der Produktivität eingeteilt und hinsichtlich der räumlichen Aussagegüte mit den sogenannten *masses of belief (mob)* beurteilt. Mit dem *transferable belief model (TBM, Smets, Kennes 1994)*, das eine Interpretation der *Dempster-Shafer* Theorie darstellt, werden die Datenquellen kombiniert und die *mob* aktualisiert. Für die Datenkombination mit dem *TBM* ist es nicht notwendig, eine eindeutige Zuordnung für die einzelnen Datenquellen zu definieren, so dass sowohl räumliche Unschärfe (z.B. Grenzverlauf der Bodenschätzung, Unreinheit von Kartiereinheiten) als auch inhaltliche Mehrdeutigkeit (z.B. Luftbildinterpretation) oder partielles Unwissen modelliert werden können (Tab. 1).

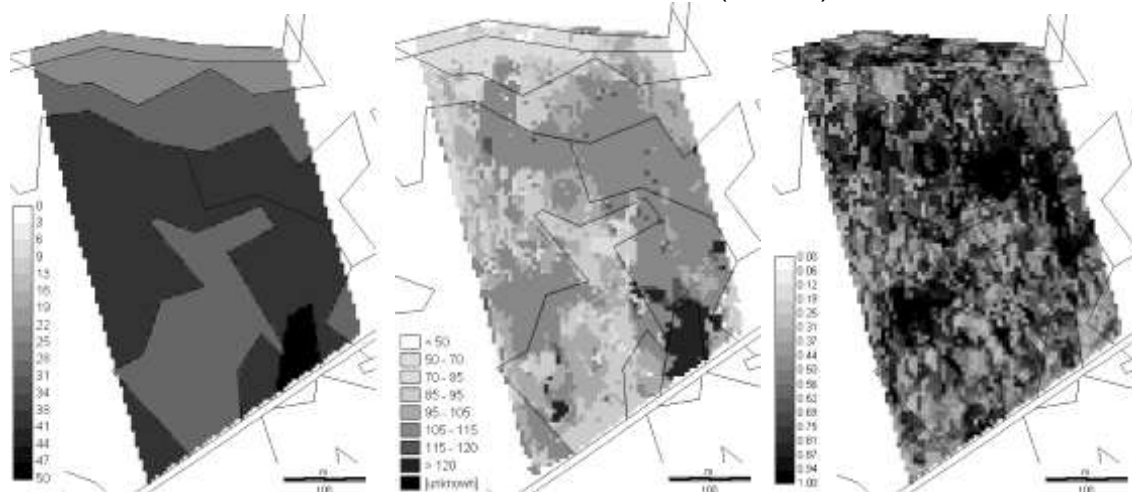
**Tab. 1:** Übersetzung verschiedener Datenquellen in Produktivitätsklassen

Datenquelle	Klasse der Produktivität							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Relativertrag [%]	<50	≥ 50 < 70	≥ 70 < 85	≥ 85 < 95	≥ 95 < 105	≥ 105 < 115	≥ 115 < 120	≥ 120
Ackerzahl [Pkte]		22-22		30/31		39		50
Luftbildfarbe	----- grau -----		----- gelb -----		----- grün -----			
	----- braun -----			---- hellgrün ----				
	----- gelb-braun -----				- dunkelgrün -			

Die einzelnen Layer werden zusätzlich hinsichtlich ihrer globalen Zuverlässigkeit bewertet. In dieser Untersuchung wurde die Bodenschätzung mit 70% Zuverlässigkeit (Alter, Methodik), die Ertragsdaten und das Luftbild jedoch mit 90% (direkte Produktivitätsaussage, größere Aktualität) eingestuft.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Verknüpfung der Ackerzahlen mit Ertragsdaten mehrerer Jahre und einer Luftbild-Interpretation erzeugt eine räumlich feiner differenzierte Karte der Produktivität sowie die aktualisierten Werte der *mob* (Abb. 1).



**Abb. 1:** Karten der Ackerzahl (links) und der Produktivitätsklasse (Mitte) bzw. aktualisierten *masses of belief* dieser Klassen (rechts) nach der *TBM*-Kombination von Ackerzahl, 5 Ertragskarten und Luftbildinterpretation

Durch die Kombination unterschiedlicher Datenquellen ist es möglich, einen Teil der Ertragsvariation auf dem untersuchten Feld abzubilden (Tab. 2). Werden nur die Orte mit hohen aktualisierten *mob* analysiert, erreichen die Bestimmtheitsmaße Werte von über 60-70%. Allerdings treten nur auf 20-30% der Fläche solche hohen *mob* auf.

**Tab. 2:** Anteil der erklärten Ertragsvariabilität verschiedener Jahre durch unterschiedliche Datenquellen ( $R^2$ )

Datenquellen	2005	2007	2008	2009	2010
Ackerzahl	35.8	0.0	30.5	36.0	16.4
Ackerzahl, Ertragskarte 2005	58.4*	0.0	42.7	38.3	13.2
Ackerzahl, Ertragskarte 2005-2010	43.9*	7.6*	31.9*	50.6*	22.9*
Ackerzahl, Ertragskarten 2005-2010, Luftbild-Interpretation	48.0*	5.6*	42.4*	43.2*	25.6*

\* Ertragskarte verwendet für Kombination mit *TBM*

Die erzeugten Karten können in Arealen mit hohen *mob* als Grundlage für eine Ertrags-orientierte Bewirtschaftungsintensität (N-Düngung, Lager-Vermeidung, etc.) dienen. Areale mit konfligierenden Datenquellen und daher geringen *mob* bedürfen weiterer Erhebungen. Auf diese Weise können Ressourcen (z.B. Bodenbeprobung) effizient eingesetzt werden, um iterativ möglichst verlässliche Karten zu erzeugen.

### Literatur

Smets, P., Kennes, R., (1994): The transferable belief model. Artificial Intelligence 66: 191-234.

## Ein neuer Ansatz zur Berechnung des Stomatawiderstandes für die dynamische Modellierung der Bestandestemperatur von Winterweizen

Dorothee Neukam<sup>1</sup>, Ulf Böttcher und Henning Kage

<sup>1</sup>Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. E-Mail: neukam@pflanzenbau.uni-kiel.de

### Einleitung

Die Messung der Bestandestemperatur zusammen mit mikrometeorologischen Messgrößen kann genutzt werden, Trockenstress bzw. die aktuelle Transpirationsrate in ihrer zeitlichen und räumlichen Variabilität abzuschätzen.

Um aus dieser Information Rückschlüsse auf den Bodenwasserhaushalt zu ziehen, soll der Verlauf der Bestandestemperatur und damit die aktuelle Transpirationsrate innerhalb eines gekoppelten Bodenwasser- und Pflanzenwachstumsmodells in Stundenschritten simuliert werden. Für die direkte Berechnung dieser Größen aus der Energiebilanz ist die zeitlich hochaufgelöste Berechnung des Stomatawiderstandes für Wasserdampf von zentraler Bedeutung. Hierfür wurde aus Messdaten eine Funktion für den Stomatawiderstand abgeleitet und ins Modell implementiert.

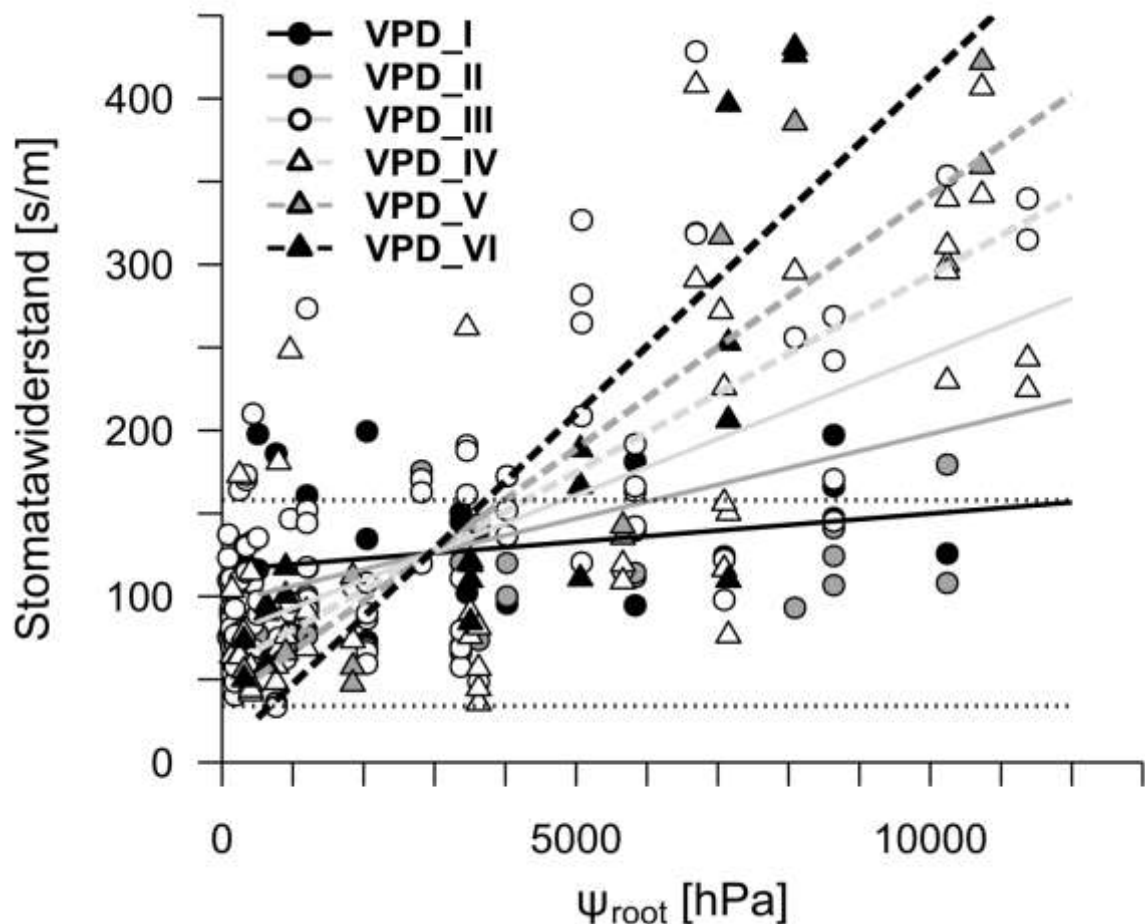
### Material und Methoden

Zur Entwicklung und Parametrisierung des Modells wurde 2010/11 in der Rollhasenanlage des Versuchsgutes Hohenschulen (Schleswig-Holstein) ein Parzellenversuch (einfaktorielle Blockanlage, 4 Wiederholungen, Bewässerung ab Anfang April, Sorte Dekan) mit 3 Bewässerungsstufen angelegt: (keine Bewässerung, Bewässerung bis 80% nFK und Bewässerung bis 100% nFK). Es erfolgten wöchentliche Messungen der Bodenwassergehalte (TDR), GAI (LAI2000) und Bestandeshöhe. In je einer Parzelle pro Bewässerungsstufe wurde die Bestandestemperatur ( $T_{crop}$ ), Lufttemperatur ( $T_{air}$ ), relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Nettostrahlung gemessen und über eine Stunde gemittelt. Zur Charakterisierung der Wasserverfügbarkeit wurde mit Hilfe von Modellrechnungen ein effektives Bodenwasserpotenzial im Wurzelraum ( $\psi_{root}$ ) aus den gemessenen Wassergehalten, den Bodenarten und der simulierten Wurzelverteilung abgeleitet. Von Mai bis Juli wurden an je 4 voll entfaltenen Blättern je Bewässerungsstufe Tagesgänge der Stomataleitfähigkeit ( $g_s$ ) für Wasserdampf gemessen (LI6400). Die Einzelmesswerte wurden in Widerstandswerte [s/m] umgerechnet (McDermitt 1990) und der Stomatawiderstand ( $r_s$ ) als Mittelwert der 4 Blätter berechnet. Mit der nls() Funktion des Statistikprogramms R wurde eine Maximumsfunktion an die Daten angepasst.

### Ergebnisse und Diskussion

$r_s$  wird als Maximumsfunktion ( $r_s = \max(34 + a \cdot (25 - T_{air})^2, b - c \cdot VPD \cdot (d - \psi_{root}))$ ), mit VPD = Sättigungsdefizit und a, b, c, d = Fitparameter) berechnet, die entsprechend den Witterungs- und Bodenbedingungen entweder vom Trockenstresseinfluss oder dem Sicherstellen der potenziellen Photosyntheserate dominiert wird. Bei guter Wasserversorgung nimmt  $r_s$  in Richtung des Temperaturoptimums und der damit verbundenen potenziellen Photosyntheserate ab. Unter Wassermangel nimmt er mit

zunehmendem VPD und zunehmendem  $\psi_{\text{root}}$  zu (Abb.1). Beim Vergleich der gemessenen und berechneten  $r_s$ -Werte beträgt der RMSE 60 s/m und  $r^2$  0.57. Der Einbau dieser Beziehung in das Modell ermöglicht eine verbesserte Abbildung der zeitlichen Dynamik des Stomatawiderstandes und damit auch der aktuellen Transpirationsrate und der Bestandestemperatur sowohl im Tagesverlauf als auch über die Vegetationsperiode betrachtet.



**Abb.1:** Beziehung zwischen Stomatawiderstand ( $r_s$ ) und Bodenwasserpotenzial ( $\psi_{\text{root}}$ ) für 6 Sättigungsdefizitklassen (VPD\_I = [0 ; 4] hPa, VPD\_II = (4 ; 8] hPa, VPD\_III = (8 ; 12] hPa, VPD\_IV = (12 ; 16] hPa, VPD\_V = (16 ; 20] hPa, VPD\_VI > 20 hPa). Punkte sind Messwerte, Geraden sind berechnet für Mittelwerte der VPD-Klassen in Abhängigkeit von  $\psi_{\text{root}}$ . Horizontale Linien markieren maximalen und minimalen  $r_s$  ohne Trockenstresseinfluss in Abhängigkeit von gemessenen Lufttemperaturen ( $T_{\text{air}}$ ).

### Literatur

McDermitt, D.K. (1990) Sources of Error in the Estimation of Stomatal Conductance and Transpiration from Porometer Data, HortScience 25(12), 1538 – 1548.



## Simulation der Biomasseproduktion unterschiedlicher Anbausysteme für Energiepflanzen mit dem Modell HERMES

Burga Thies<sup>1</sup>, Kurt-Christian Kersebaum<sup>2</sup>, Rüdiger Graß<sup>1</sup> und Michael Wachendorf<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Witzenhausen

<sup>2</sup>ZALF Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V., Institut für Landschaftssystemanalyse, Müncheberg. E-Mail: b.thies@uni-kassel.de

### Einleitung

Für eine Bewertung landwirtschaftlicher Biomasseanbau- und Nutzungssysteme unter zukünftigen Klimabedingungen ist der Einsatz von Pflanzenwachstumsmodellen unerlässlich. Im Rahmen des Forschungsprojektes KLIMZUG-Nordhessen werden Anpassungsstrategien im Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen, hinsichtlich der zu erwartenden Klimaänderungen unter Einsatz des Simulationsmodells HERMES (Kersebaum, 2007) untersucht. Ziel dieser Studie ist es, anhand der Simulationsergebnisse das Zweikulturnutzungssystem (Graß und Scheffer, 2005) als Anpassungsstrategie im Vergleich zum herkömmlichen Maisanbau unter veränderten Klimabedingungen bewerten zu können.

### Material und Methoden

Die für eine Modellvalidierung benötigten Daten wurden in zweijährigen Feldversuchen (vollständig randomisierte Split-Plot-Anlage mit vier Wiederholungen) auf den Versuchsflächen der Universität Kassel erhoben. Neben der Standardkultur Silomais (SM) (*Zea mays* L., Sorte Atletico) wurden Sonnenblume (SB) (*Helianthus annuus* L., Sorte Methasol), Hirse (SH) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, Sorte Róna1) und Sudan gras (SU) (*Sorghum bicolor* L. Moench  $\times$  *Sorghum sudanese*, Sorte Susu) sowohl im herkömmlichen Anbausystem als Hauptkultur, als auch im Zweikulturnutzungssystem, das den Anbau einer Winterkultur, hier Winterroggen (WR) (*Secale cereale* L., Sorte Vitallo), und einer nachfolgenden Sommerkultur innerhalb eines Jahres umfasst, geprüft. Die Ertragsentwicklung wurde durch die Ermittlung des Trockenmasse(TM)-Ertrages mittels 14-tägiger Zeiternten erfasst. Nach erfolgter Modellvalidierung wurden unter Eingabe von Klimamodell- und Emissions-Szenario: SRES-A1B, globales Klimamodell: ECHAM5/MPI-OM, Downscaling-Methode: WETTREG 2010, Kreienkamp et al. 2010) Simulationen bis zum Jahr 2100 durchgeführt. WETTREG liefert in 10 Simulationsläufen (Lauf 0 bis Lauf 9) täglich simulierte Klimamodell- und Emissionsdaten auf Basis der DWD-Wetterstation Göttingen. Zusätzlich wurden die prognostizierten Änderungen der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre bis zum Jahr 2100 (SRES-A1B) in das Modell HERMES eingegeben.

Zur Überprüfung der WETTREG-Klimamodell- und Emissionsdaten wurde zunächst eine Vergleichsanalyse der HERMES-Simulationen mit den historischen Wetterdaten und den WETTREG-Daten von 1961 bis 2010 durchgeführt. Anschließend erfolgte eine Auswertung der Simulation der Trockenmasseerträge.

### Ergebnisse und Diskussion

Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit den gemessenen TM-Erträgen durch eine lineare Regression zeigte für alle Kulturen sehr hohe Bestimmtheitsmaße ( $R^2$ ) von 0,81 bis 0,98. Die Enderträge wurden mit einem mittleren Fehler von 0,86 t ha<sup>-1</sup> gut simuliert. Demnach kann das Modell HERMES für Simulationen mit Klimamodell- und Emissionsdaten an diesem Standort eingesetzt werden.

Der Vergleich der Ertragssimulationen von Wetterdaten und Klimamodelldaten (1961 bis 2010) zeigt eine höhere jährliche Variabilität im TM-Ertrag der historischen Wetterdaten, dennoch werden die Erträge auf dem gleichen Niveau simuliert. Für die Betrachtung der zukünftigen Erträge (2011 bis 2100) ist davon auszugehen, dass hier nicht die volle Variabilität erreicht wird, Tendenzen aber plausibel wiedergegeben werden können.

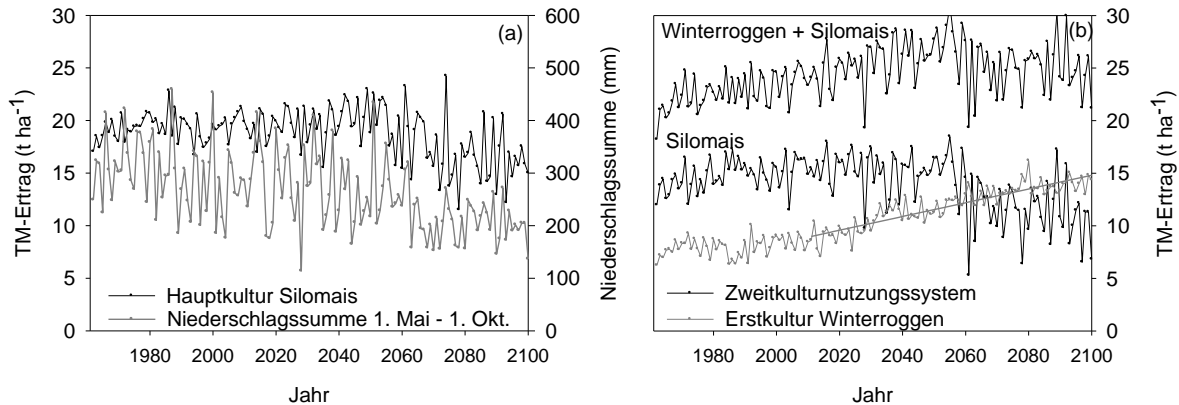


Abb. 1: Simulation der jährlichen TM-Erträge (exemplarisch für WETTREG Lauf 1) für Silomais in Hauptkulturnutzung sowie die simulierte Niederschlagssumme im Zeitraum 1. Mai bis 1. Oktober (a) und die Simulationen für das Zweikulturnutzungssystem (b) mit Winterroggen als Erst- bzw. Silomais als Zweitkultur und dem gesamten Jahresertrag.

Die Simulationen der TM-Erträge für die beiden geprüften Anbausysteme zeigen für Silomais (Abb. 1), aber auch für die Kulturarten Hirse, Sudangras und Sonnenblume (nicht dargestellt) einen deutlichen Rückgang der Erträge ab ca. 2050. Die Erstkultur Winterroggen weist hingegen einen deutlichen positiven linearen Trend auf (Änderung des TM-Ertrages, lineare Regression 2011 - 2100:  $+ 5,8 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $R^2 = 0,80$ ).

Der Winterroggen kann als Erstkultur die Winterfeuchte gut ausnutzen und profitiert zusätzlich von dem prognostizierten früheren Beginn der Vegetationsperiode durch höhere Temperaturen im Frühjahr. Außerdem hat der Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre einen positiven Düngereffekt auf den Winterroggen als  $\text{C}_3$ -Pflanze. Die TM-Erträge des Silomais werden unter anderem durch den Rückgang der Niederschläge ab ca. 2050 beeinflusst (Abb. 1).

Ein Vergleich der beiden geprüften Anbausysteme zeigt demnach, dass die Erstkultur Winterroggen im Zweikulturnutzungssystem den Ertragsrückgang der Zweitkultur kompensiert und somit ein höherer Gesamtjahresertrag als bei Mais in Hauptkulturnutzung erreicht werden kann. Durch den Anbau von zwei Kulturarten in einem Jahr wird also eine deutliche Risikominimierung im Hinblick auf zu erwartende Klimaänderungen erreicht.

## Literatur

- Graß R. und Scheffer K. (2005): Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. *Natur und Landschaft* 9/10, S. 435-439.
- Kersebaum K.C. 2007: Modelling nitrogen dynamics in soil-crop systems with HERMES. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 77, 39-52.
- 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.

## Wirkungen einer Ausbringung von 230 kg/ha N aus Gülle auf die NO<sub>3</sub>-Konzentration im Bodenwasser unter Dauergrünland

Kivelitz, H., Gröblichhoff, F.-F., Laser, H. und N. Lütke Entrup

Fachhochschule Südwestfalen, FB Agrarwirtschaft, Soest. groeblichhoff.franz-ferdinand@fh-swf.de

### Einleitung

Gemäß der Düngeverordnung 2006 dürfen auf Grünland im Regelfall nicht mehr als 170 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> aus wirtschaftseigenen Düngemitteln ausgebracht werden, jedoch ist auf Antrag eine Erhöhung der Gabe auf 230 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Mithilfe von Freilandversuchen sollte geprüft werden, ob und gegebenenfalls zu welchen Jahreszeiten, höhere Nitratauswaschungsverluste zu erwarten sind, wenn auf intensiv bewirtschaftetem Grünland 230 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> aus Rindergülle appliziert wird.

### Material und Methoden

Auf zwei Standorten im Hochsauerlandkreis (Meschede und Medebach) wurden 2008 identische Versuchsanlagen mit Parzellengrößen von 5\*5 m angelegt. Um unterschiedliche Kombinationen von organischer und mineralischer Düngung abbilden zu können, wurden die Düngegaben (Tab. 1) auf die vier Schnitttermine verteilt.

**Tabelle 1:** Düngevarianten der Sickerwasseruntersuchung

Variante	1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt		4. Schnitt		Summe kg/ha ges-N
	kg/ha ges-N	kg/ha ges-N	kg/ha ges-N	kg/ha ges-N	kg/ha ges-N	kg/ha ges-N	kg/ha ges-N	kg/ha ges-N	
	Gülle	KAS	Gülle	KAS	Gülle	KAS	Gülle	KAS	
0 N									0
240 N mineralisch		80		70		50		40	240
170 N aus Gülle + mineral. Ergänzung	70	30	50	35	50	15		40	290/240*
230 N aus Gülle + mineral. Ergänzung	90	15	70	20	70			40	305/240*

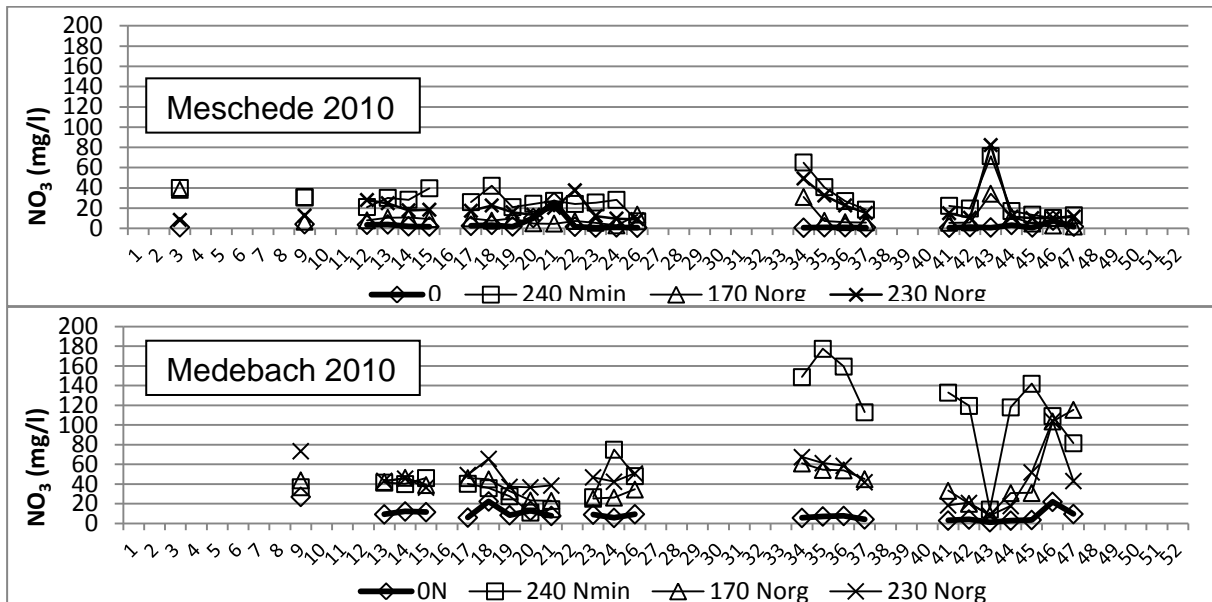
\* ausgebrachter / anrechenbarer N

Zur Gewinnung der Bodenwasserproben wurden stationäre, vakuumgeregelter Saugkerzenanlagen mit 6 Saugkerzen mit P80-Keramikköpfen je Parzelle installiert. Die Saugkerzen wurden 1,5 m vom Parzellenrand im Abstand von jeweils 1,0 m in einer Tiefe von 60 cm platziert. Diese Tiefe stellte auf dem Standort Medebach auch die maximale Durchwurzelungstiefe dar. Um eine Gewinnung von nicht der Versickerung unterliegendem Haftwasser aus Mittelporen gering zu halten, wurde der Saugdruck auf 0,2-0,25 bar festgelegt, dadurch wurde im Sommer kein Bodenwasser gewonnen.

### Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung im Verlauf des Untersuchungsjahres 2010. Kritisch hohe Konzentration >50 ml l<sup>-1</sup> wurden dabei überwiegend in Phasen mit geringer Bodenfeuchte, vor allem im Hochsommer festgestellt. Die höchsten Werte wurden bei der ausschließlich mineralisch gedüngten Variante 2 festgestellt. Im Frühjahr waren die Konzentrationen unabhängig von der Düngevariante meist niedrig. Unterschiede

zwischen der Regelausbringungsmenge von 170 kg und der höheren Gabe von 230 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> aus Rindergülle ließen sich ansonsten nicht feststellen oder waren schwach ausgeprägt. Unter den Bedingungen des Spätherbstes ergaben sich in Medebach vereinzelt Nitrat-Werte über 50 mg l<sup>-1</sup> im Bodenwasser. Hier lagen die Werte der 230 kg Gülle-N-Variante jedoch auch dann nicht über denen der Varianten 2 und 3.



**Abb. 1:** Nitratkonzentration im Bodenwasser (mg/l) der Düngungsvarianten in Abhängigkeit vom Standort (x-Achse = Kalenderwoche der jeweiligen Messung)

Dieser Zusammenhang (Tab. 2) wird durch die relative N-Ausnutzung deutlich. Zwischen 65 und 144 kg N wurden auch bei unterlassener Düngung noch über den Aufwuchs entzogen. Die relative Effizienz der N-Gabe von jeweils 240 kg N ha<sup>-1</sup> zeigt, dass die N-Ausnutzung mit zunehmenden Anteilen an mineralischem N nicht zwingend steigt.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass die gegenüber Variante 3 um 60 kg N erhöhte Güllegabe in Variante 4 (230 kg N aus Rindergülle) ähnlich gut von den Pflanzen aufgenommen wird wie die mineralische Ergänzung in Variante 3. Daraus folgt, dass bei intensiver Bewirtschaftungsweise durch eine Erhöhung der N-Gabe auf 230 kg N aus Rindergülle im Vergleich zur Regelausbringungsmenge von 170 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> erheblichen Mengen an mineralischem N eingespart werden können, ohne dass sich dabei das Auswaschungsrisiko erhöht. Um die langfristigen Effekte zu klären wird das Experiment bis mindestens Ende 2013 fortgeführt.

**Tabelle 2:** N-Ausnutzung der anrechenbaren organischen und mineralischen N-Gaben auf beiden Versuchsstandorten, gemessen an den N-Entzügen

Variante	Meschede 2010				Medebach 2010			
	0	240 min-N	170 org-N	230 org-N	0	240 min-N	170 org-N	230 org-N
N-Entzug kg/ha	65,5	175,7	177,2	171,9	144,5	265,2	287,3	286,7
N-Düngung (anrechenbar)	0,0	240	239	241	0,0	240,0	239,0	241,0
N-Bilanz	-65,5	64,3	61,8	69,1	-144,5	-25,2	-48,3	-45,7
rel. N-Ausnutzung (%)	-	73,2	74,1	71,3	-	110,5	120,2	118,9

## Wirkung von reduzierter Bodenbearbeitung und Gründüngung auf die N-Verfügbarkeit unter der folgenden Hauptfrucht im Ökologischen Landbau

Thorsten Haase<sup>1</sup>, Meike Grosse, Eberhard Kölsch und Jürgen Heß

<sup>1</sup> Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau/Universität Kassel, D-37213 Witzenhausen.  
E-Mail: thaase@uni-kassel.de

### Einleitung

Im Vergleich zum Pflug schont reduzierte Bodenbearbeitung die Bodenstruktur und erhöht die Bodenfruchtbarkeit: Der Boden wird tragfähiger, der Humusgehalt und die biologische Aktivität nehmen zu und die Nährstoffaustauschkapazität verbessert sich. Aufgrund des reduzierten Einsatzes von Maschinen verringert sich der Dieserverbrauch und die Bewirtschaftung wird klimafreundlicher. Im Ökologischen Landbau galt die reduzierte Bodenbearbeitung bislang als kaum praxistauglich, da sie z.B. die Ausbreitung von Wurzelunkräutern fördern kann. Zudem könnte die Bereitstellung von Stickstoff aus dem Boden oder einer Gründüngung im Frühjahr unzureichend sein. Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Quantifizierung der Wirkung von unterschiedlichen Gründüngungsarten (legume und nicht-legume Zwischenfrüchte) und reduzierter Bodenbearbeitung auf die N-Aufnahme der Gründüngung und die N-Verfügbarkeit zur Hauptfrucht Hafer.

### Material und Methoden

Drei Feldversuche (2-faktorielle Spaltanlage) wurden angelegt: zwei auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen, dem ökologischen Versuchsbetrieb der Universität Kassel (DFH 1 (Haase et al., 2012) und DFH2), ein dritter auf dem seit 1987 ökologisch bewirtschafteten Betrieb Meyerhof Schreiber zu Belm, Osnabrück (OS) (Tab. 1). Aussaatstärke war 20 (SA; TP; 10/10 SA+TP), 105 (VS), 40 (LP) und 12 (PT) kg/ha.

**Tab. 1:** Versuchsaufbau: Vorfrucht (VF), Bodenbearbeitung (BB) und Gründüngung (GRD) in den drei Feldversuchen im Versuchsjahr 2011/12

	DFH1	DFH2	OS
<b>BB / VF</b>	Triticale	Winterweizen	Sommerweizen
KON-1	PF (VVF-GTR)	PF	PF
KON-2	PF (VVF-LUZ)	-	-
RED-1	GR (SH)	GR	GR
RED-2	-	MS	FR
DS	-	DS	-
<b>GRD</b>	SA; TR; SA+TR; VS; BR	SA, TR, VS, BR	SA, TR, VS, BR

VVF=Vor-Vorfrucht; GTR=Getreide; LUZ=dreijähriges Luzernegras; GR=Grubber; PF=Pflug; SH=Stoppelhobel; MS=Mulchsaat; DS=Direktsaat; FR=Fräse; SA=*Sinapis alba*; TR=*Trifolium resupinatum*; VS=*Vicia sativa*; PT=*Phacelia tanacetifolia*; LP=*Lolium perenne*; BR=Brache.

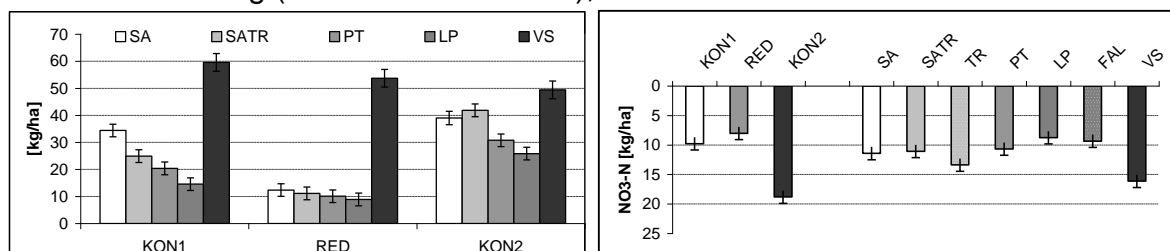
Bei allen drei Versuchen handelt es sich um eine zweifaktorielle (Gründüngung und Bodenbearbeitung) Spaltanlage in vierfacher Feldwiederholung (Tab. 1). Die Aussaat der Gründüngungsarten erfolgte am 30./31.08 (DFH1), 26.08. (DFH2) bzw. 25.08.2011 (OS). Die Aussaat der Hauptfrucht Hafer (*Avena sativa* L., cv. Scorpion;

400 kf. Körner/m<sup>2</sup>) erfolgte nach Bodenbearbeitung (Einarbeitung der Gründüngung), am 17.04. (DFH1), 10.04. (DFH2) bzw. 02.04.2012 (OS). Erhoben wurden die N-Aufnahme des Aufwuchses vor Winter in Abhängigkeit von Gründüngungsart und Bodenbearbeitung sowie der pflanzenverfügbare Stickstoff (NO<sub>3</sub>-N) im Boden im Frühjahr und im Frühsommer. Die Auswertung erfolgte mit SAS 9.2 (Mixed Model).

## Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 1a ist die N-Aufnahme der Arten am 17.11.2011 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung dargestellt (Versuch: DFH1). Die Wirkung der Faktoren Hauptfaktoren sowie ihre Wechselwirkung waren statistisch signifikant ( $p < 0,0001$ ). Die Bracheparzellen (abgeflamnte Kontrolle) aber auch der Perserklee in Reinsaat waren wegen des vernachlässigbar geringen Aufwuchses nicht beprobt worden. Der Gehalt des Bodens (0-90 cm) an pflanzenverfügbarem Nitrat-N unter der Hauptfrucht Hafer wurde zum 15.05.2012 signifikant sowohl durch die Art der Gründüngung als auch durch die Bodenbearbeitung beeinflusst (Abb. 1b). Die konventionelle Bodenbearbeitung nach Vor-Vorfrucht Luzerne (2008-2010; KON2) ergab die höchste NO<sub>3</sub>-N-Bereitstellung verglichen mit dem Stoppelhobel-System (RED) und der konventionellen Bodenbearbeitung nach mehrjährigem Druschfruchtanbau (KON1). Im Vergleich zur Brache (FAL) und Weidelgras (LP) wurden unter Perserklee (TR) und Sommerwicke (VS) signifikant höhere Werte gemessen. Sommerwicke unterschied sich auch von allen anderen geprüften Arten statistisch.

**Abb. 1: (a)** N-Aufnahme [kg/ha] der Gründüngung am 17.11.2011 und **(b)** NO<sub>3</sub>-N ([kg/ha]; 0-90 cm) am 15.05.2012 in Abhängigkeit von Gründüngungsart und Bodenbearbeitung (Abk. s. Tab 1: DFH1); Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler.



Im Versuch DFH2 hatte die Gründüngung signifikanten Einfluss auf die Nitrat-N-Verfügbarkeit vor Bodenbearbeitung am 26.03.2012 mit den höchsten Werten im 0-90 cm Profil wiederum nach Sommerwicke (19,1 kg NO<sub>3</sub>-N/ha). Perserklee aber auch die Brache (beide 11 kg NO<sub>3</sub>-N/ha) führten zu signifikant höheren Werten verglichen mit Gelbsenf (7,4). Die Nitrat-N-Verfügbarkeit in den oberen 0-60 cm nach differenzierter Bodenbearbeitung war am 02.05.2012 tendenziell höher als nach Grubber und signifikant höher als nach Mulch- bzw. Direktsaat. Sommerwicke wiederum bewirkte wiederum die höchste NO<sub>3</sub>-N-Verfügbarkeit.

## Literatur

Haase, T. und J. Heß 2012: Reduced tillage and its impact on Canada thistle (*Cirsium arvense*) and grain yield in a cereal-based stockless organic crop rotation. p. 114 in: MacKenzie, J. and Savard, M. (Eds.): Conference Proceedings: Canadian Organic Science Conference, February 21-23, 2012, Winnipeg, Manitoba.

Das Projekt ‚Reduced tillage and green manures for sustainable organic cropping systems – TILMAN-ORG‘ wird im Rahmen von FP7 ERA-Net (Projekt CORE Organic II) gefördert.

## Der Einfluss von Wiedervernässung auf die Spurgasemissionen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) eines nordostdeutschen Niedermoorgebietes

Mathias Hoffmann<sup>1</sup>, Nicole Jurisch<sup>2</sup>, Michael Giebels<sup>2</sup> und Jürgen Augustin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Bodenlandschaftsforschung/Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg; <sup>2</sup>Institut für Landschaftbiogeochemie/ Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg. E-Mail: mathiashoffmann1985@gmx.de

### Einleitung

Moore stellen in abhängig von ihrer Degradation und gegenwärtigen Nutzung eine wichtige Quelle klimarelevanter Spurengasemissionen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) dar. Obwohl Hoch- wie Niedermoore lediglich 3% der Landoberfläche einnehmen, lagern in ihnen ca. 26 bis 33% des weltweit in Böden gespeicherten organischen Kohlenstoffs [Updegraff, et.al. (2001): 311]. Durch Trockenlegung, intensiviert landwirtschaftliche Nutzung und Torfabbau, insbesondere seit Beginn der Industrialisierung, verloren nahezu 95% der deutschen Moore ihre natürliche Kohlenstoffspeicherfunktion.

### Material und Methoden

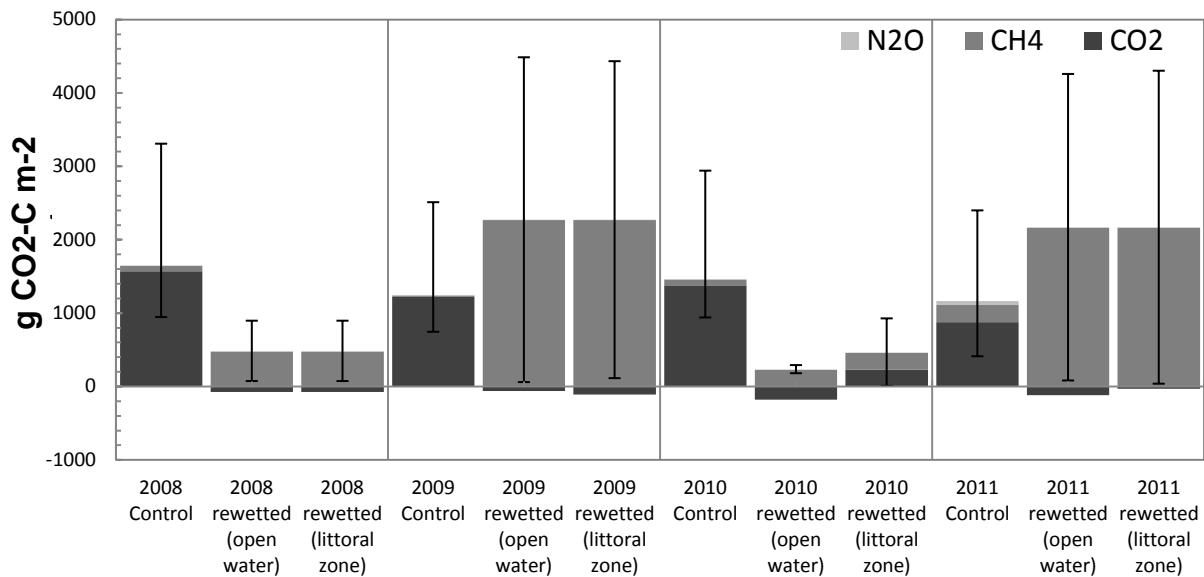
Zur Erfassung des Einflusses von Revitalisierungsmaßnahmen auf die Spurengasemissionen wurden im Rahmen dieses Projektes über einen Zeitraum von 4 Jahren kontinuierliche Gasflussmessungen an einem wiedervernässten und einem wechselfeuchten Referenzstandort durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet befand sich dabei im nordwestlichen Teil Deutschlands im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern im Bereich des Peeneflußtals. Bei den Messungen der Treibhausgase CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O wurde ein von *Livingston und Hutchinson (1995)* als „non-flow-through-non-steady-state“ definiertes, geschlossenes Haubenmessverfahren verwendet. CO<sub>2</sub>-Flussraten wurden mittels eines von *Drösler (2005)* entwickelten dynamischen Haubenmessverfahrens ermittelt. Die jährliche Bilanzierung von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O erfolgte durch lineare Interpolation zwischen den einzelnen Kampagnen. Entsprechende CO<sub>2</sub>-Flüsse wurden mittels eines multi-parametrischen Modellansatzes modelliert. Zur Absicherung gewonnener Ergebnisse wurde die CO<sub>2</sub>-modellierung [NEE, Reco und GPP] durch ein schrittweises Verfahren zur Unsicherheitsabschätzung ergänzt.

### Ergebnisse und Diskussion

Verglichen mit der Referenzvariante, welche über den gesamten Untersuchungszeitraum als signifikante CO<sub>2</sub>-Quelle fungierte, dokumentierte die wiedervernässte Untersuchungsfläche deutlich niedrigere CO<sub>2</sub>-Flussraten und agierte als CO<sub>2</sub>-Senke. Trotz erheblicher Unsicherheiten und starker Variabilität zeigten auch die N<sub>2</sub>O-Messungen eine ähnliche Tendenz. Darüber hinaus konnten signifikante Unterschiede bei der zeitlichen und räumlichen Dynamik als auch der Größenordnung emittierten Methans, in Abhängigkeit von vorherrschenden hydrologischen Bedingungen und dominanter Pflanzenbedeckung, belegt werden. Während die wiedervernässte Variante teils extreme CH<sub>4</sub>-Emissionen aufwies, lagen gemessene Methanflüsse auf der Kontrollvariante bei nahezu Null.

Bezüglich des verfolgten Ansatzes einer Reduzierung emittierter Treibhausgase durch Revitalisierungsmaßnahmen, zeigten sich nur bei einem oberflächennahen

Grundwasserstand und gemäßigten Witterungsverhältnissen Einsparungseffekte. Wetterextreme wie Überflutungen oder Trockenperioden führten zu einem gegenteiligen Ergebnis.



**Abb. 1:** Global warming potential (GWP) des wiedervernässten Standortes und Kontrollstandortes als akkumulierte jährliche CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O-Emissionen in g CO<sub>2</sub>-C-Äquivalenten m<sup>-2</sup> zwischen 2008 und 2011. Entsprechend des Bewuchses mit vaskulären Pflanzen wurde im Falle des wiedervernässte Standortes zwischen einer offenen Wasserfläche und der litoralen Zone unterschieden. Die Fehlerindikatoren geben die jeweiligen Messunsicherheiten an.

### Literatur

- Livingston, G. P. und Hutchinson, G. L. 1995: Enclosure-based measurements of trace gas exchange, application and source or error. In: Matson, P. A., Harriss, R. C. (eds.), Biogenic Trace Gases: measuring Emissions from Soil and Water: 14-50.
- Updegraff, K., Bridgham, S. D., Pastor, J., Weishampel, P. und Harth, C. 2001: Response of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions from peatlands to warming and water table manipulation. Ecological Applications 11/2: 311-326.
- Drösler, M. 2005: Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, southern Germany. Dissertation: 202.



## **Kohlenstoffdynamik und mikrobielle Umsatzprozesse von sächsischen Ackerböden bei differenzierter Bodenbearbeitung**

Fabian Kirsten<sup>1</sup>, Olaf Nitzsche<sup>2</sup>, Walter Schmidt<sup>3</sup> und Jürgen Heinrich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geographisches Institut der Universität Leipzig, Leipzig; <sup>2</sup>Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL), Leipzig; <sup>3</sup>Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) Sachsen. E-Mail: fabian.kirsten@smul.sachsen.de

### **Einleitung**

Die organische Substanz im Boden nimmt im Kohlenstoffkreislauf eine zentrale Rolle ein und hat sowohl für die landwirtschaftliche Produktion als auch für diverse Umweltaspekte eine hohe Relevanz. So ist sie nicht nur für die Bindung von Pflanzennährstoffen, Wasser sowie organischen und anorganischen Schadstoffen sehr wichtig, sie sorgt auch für einen vorbeugenden Erosionsschutz durch ihren positiven Einfluss auf die Bodenstruktur. Zudem ist in ihr ein großer Teil des terrestrischen Kohlenstoffes gespeichert, sodass ihre Stabilität einen unmittelbaren Einfluss auf die Freisetzung bzw. Bindung klimarelevanter Gase (C-Sequestrierung) hat.

In der Landwirtschaft kommt dem Erhalt der organischen Substanz im Boden eine wichtige Rolle zu, welche z.B. im Rahmen des Konzeptes der Guten Fachlichen Praxis (BBodSchG §17, Teil 2) anerkannt wird. Als eine der Möglichkeiten, auf die Umsatzprozesse sowie die Menge, den Gehalt und die Verteilung der organischen Substanz in Ackerböden starken Einfluss zu nehmen, gilt die Wahl der Bodenbearbeitungssysteme. Dabei wurden in den letzten Jahrzehnten als Alternative zum traditionellen Pflügen verschiedene nicht wendende bzw. lockernde Bodenbearbeitungs- sowie Direktsaatverfahren entwickelt.

Die in diesem Jahr angelaufene Forschungsarbeit geht der These nach, dass pfluglose Bearbeitungsverfahren mittel- und langfristig zu höheren Massen bzw. Gehalten an organischer Substanz im Boden führen als solche mit Pflugeinsatz und so zur klimarelevanten C-Sequestrierung beitragen können. Allerdings gibt es bislang kaum methodisch exakte Arbeiten, die die C-Masseänderung und C-Dynamik aufgrund einer langjährig geänderten Bodenbearbeitung für weit verbreitete, typischerweise ackerbaulich genutzte, mitteleuropäische Bodengesellschaften aus Löß erfasst.

### **Material und Methoden**

Für die Untersuchung der Veränderung der Masse und Stabilität der organischen Substanz stehen zwei seit 1992 konsequent differenziert bewirtschaftete Praxisversuchsflächen (Pflug, konservierende Bodenbearbeitung, Direktsaat) auf repräsentativen Ackerstandorten im Sächsischen Lößhügelland zur Verfügung, für die umfangreiche Voruntersuchungen existieren (Gut Lüttewitz der Südzucker AG sowie Methau/Hermsdorf). Der lange Bewirtschaftungszeitraum der Versuchsflächen wird auch bei dem langsam reagierenden Parameter Kohlenstoff zu aussagekräftigen und signifikanten Ergebnissen führen.

Durch die der Bodenprobenahme unmittelbar vorausgehende Bestimmung der Trockenrohichte (TRD) mit Stechzylindern werden die variantenspezifisch zu beprobenden Tiefenstufen ermittelt, um eine bodenmasseäquivalente Beprobung in fünf Tiefenstufen zu erreichen, welche dreimal im Jahr durchgeführt wird. Diese

Bodenmasseschichten umfassen in den obersten beiden Schichten jeweils 750 t/ha, in den beiden darunter liegenden Schichten je 1500t/ha und in der untersten Schicht 4500 t/ha. Dies entspricht bei den für die Krumenschichten ermittelten TRD-Werten von 1,3-1,6 g/cm<sup>3</sup> einer Beprobungstiefe von insgesamt zwischen 59 und 62 cm. Neben der Bestimmung der Gehalte an organischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) sowie Gesamtstickstoff (N<sub>t</sub>) und mineralisiertem Stickstoff (N<sub>min</sub>) werden für die C-Speicherung wichtige bodenphysikalische (Bodenart, Temperatur, Bodenfeuchte), bodenchemische (insb. pH-Wert) sowie bodenbiologische (Durchwurzelung) und mikrobielle (mikrobielle Biomasse und Atmung, Dehydrogenaseaktivität) Parameter erfasst. Als Vergleichs- bzw. Referenzfläche steht ein unmittelbar benachbarter Dauergrünlandbereich zur Verfügung.

Neben der Entwicklung der C-Masse unter Fortführung eines Bodenbearbeitungsverfahrens ist die Stabilität der organischen Substanz nach langjährig veränderter Bodenbearbeitung von entscheidender Bedeutung. Es ist vorgesehen, seit 20 Jahren in Direktsaat bzw. konservierend bearbeitete Ackerflächen im Projektzeitraum wieder mit dem Pflug zu bearbeiten und die Dynamik und das Ausmaß der daraus resultierenden C-Mineralisierung zu erfassen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die ermittelten Daten für die oben genannten bodenphysikalischen, bodenchemischen und bodenbiologischen Parameter aus der ersten Beprobung im April 2012 liegen zum Zeitpunkt der Einreichung dieses Textes noch nicht vollständig vor. Im Hinblick auf die Planung der zweiten Beprobungsphase im August 2012 sowie die Posterpräsentation Ende September 2012 in Berlin kann aber mit ersten Ergebnissen gerechnet werden.

### **Literatur**

- Nitzsche, O. (2007): Entwicklung der C-Masse und C-Verteilung in der Ackerkrume in Abhängigkeit einer langjährig differenzierten Bodenbearbeitung. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongressband 2006, 62: 128-135.
- Prechtel, A., v. Lützw, M., Schneider, B. U., Bens, O., Bannick, K. G., Kögel-Knabner, I. & R. F. Hüttl (2009): Organic Carbon in Soils of Germany: Status quo and the need for new data to evaluate the potentials and trends for soil carbon sequestration. J. Plant Nutr. Soil Sci. 000: 1-14.
- Schrumpf, M., Schulze, E.D., Kaiser, K. & J. Schumacher (2011): How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? Biogeosciences 8: 1193-1212.

## Einfluss von Calcium-Gehalt und pH-Wert auf das pflanzenverfügbare Phosphor im Boden

Holger Lemme<sup>1</sup> und Heinz-Josef Koch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-Mail: lemme@ifz-goettingen.de

### Einleitung

In landwirtschaftlichen Böden spielen Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) und pH-Wert ( $\text{OH}^-$ ) für die Pflanzenverfügbarkeit von Nährstoffen eine wesentliche Rolle. Ziel der Untersuchungen war es, (i) den Einfluss einer Kalkung auf die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor (P) in Abhängigkeit von der Zeitdauer zwischen Kalkausbringung und pflanzlicher Nährstoffaufnahme zu quantifizieren und (ii) die Eignung verschiedener Bodenuntersuchungsmethoden (EUF, CAT, CAL) für die Vorhersage der Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe zu prüfen. Zusätzlich sollten dabei die beiden Effekte der Kalkung, nämlich die  $\text{Ca}^{2+}$ -Zufuhr und die pH-Erhöhung, bezüglich ihrer Wirkung auf die P-Verfügbarkeit differenziert werden.

### Material und Methoden

In einem ersten Versuch wurden in vierfacher Wiederholung jeweils 2 kg zweier verschiedener Böden (Göttingen Ut3, Ochsenfurt Ut4) mit den in Tabelle 1 gezeigten Additiven (Brantkalk ( $\text{CaO}$ ), Gips in Form von  $\beta$  Halbhydrat ( $\beta \text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ ) und Natronlauge ( $\text{NaOH}$ )) gemischt, auf einen Wassergehalt von 40% der maximalen Wasserhaltekapazität ( $\text{WHK}_{\text{max}}$ ) eingestellt und in einer Klimakammer bei 12 °C für 24, 8 bzw. 4 Wochen inkubiert. Nach Ablauf der Inkubationsdauer wurde allen Varianten jeweils 1 kg Boden für die Bodenuntersuchung entnommen, getrocknet (60 °C) und gemahlen (<1 mm).

Der verbleibende Boden wurde in einem Gewächshausversuch verwendet (1 kg Gefäß<sup>-1</sup>). Zehn Zuckerrübenpillen der Sorte Schubert (Strube) wurden ausgelegt und nach dem Auflaufen auf 5 Pflanzen je Gefäß vereinzelt. Die Bodenfeuchte wurde zwischen 60% und 80% der  $\text{WHK}_{\text{max}}$  gehalten. Die Temperatur im Gewächshaus lag bei ca. 18 °C. Während der Nachtstunden wurden die Pflanzen für 12 h mit 4,5 klux m<sup>-2</sup> beleuchtet. Es wurden eine Düngung von 250 mg N Gefäß<sup>-1</sup> ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) in drei Gaben sowie zwei Tachigaren-Gaben (Fungizid) appliziert. Nach einer Vegetationszeit von 10 Wochen wurden die Gesamtpflanzen (Rübe + Blatt) entnommen, getrocknet (105 °C), gewogen und gemahlen (<0,5 mm).

Tab. 1: Dem Boden zugeführte Menge an den Additiven Brantkalk, Gips<sup>#</sup> und Natronlauge basierend auf gleichen Mengen an Calcium- ( $\text{Ca}^{2+}$ ) und Hydroxid- ( $\text{OH}^-$ ) Ionen in drei Stufen (Niedrig, Mittel, Hoch).

Stufe	----- Additiv -----						
	$\text{OH}^-$ [mmol kg <sup>-1</sup> TM]	$\text{Ca}^{2+}$ [g kg <sup>-1</sup> TM]	Kalk [g kg <sup>-1</sup> TM] [t ha <sup>-1</sup> ]		Gips <sup>#</sup> [g kg <sup>-1</sup> TM] [t ha <sup>-1</sup> ]		Natronlauge <sup>##</sup> [ml kg <sup>-1</sup> TM]
Niedrig	53.5	26.8	1.5	2.8	3.9	7.3	54
Mittel	142.7	71.3	4.0	7.5	10.4	19.4	
Hoch	285.3	142.7	8.0	15.0	20.7	38.8	

<sup>#</sup>  $\beta$  Halbhydrat ( $\beta \text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ ); <sup>##</sup> (1 Molar); TM = Trockenmasse

Der gemahlene Boden wurde einer pH-Messung und einer Extraktion mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF), CAT ( $\text{CaCl}_2$ +DTPA) und CAL unterzogen. In den

Extrakten wurde der P-Gehalt bestimmt. Das Pflanzenmaterial wurde mit  $\text{HNO}_3$  und  $\text{H}_2\text{O}_2$  bei  $220\text{ }^\circ\text{C}$  in Mikrowellendruckgefäßen aufgeschlossen und auf die Gehalte an P analysiert. Die P-Aufnahme wurde anhand des Gesamtpflanzenertrages und der P-Gehalte im Pflanzenmaterial errechnet. Sowohl P-Gehalt als auch P-Aufnahme wurden zur Beurteilung der Pflanzenverfügbarkeit des P herangezogen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Der Effekt beider Böden war in allen untersuchten Parametern signifikant, wohingegen keine Unterschiede zwischen den drei Inkubationsstufen gefunden wurden. Relevante Wechselwirkungen zwischen Boden, Inkubationszeit und Additiv traten nicht auf. Deshalb werden nachfolgend nur die Mittelwerte über die Böden und Inkubationsstufen vorgestellt.

Der pH-Wert wurde durch Kalk- und Natronlaugezugabe von 6,9 in der Kontrolle auf 8,9 (Kalk<sup>Hoch</sup>) angehoben, Gips hatte keinen Einfluss auf den pH-Wert. Der Calciumgehalt (EUF) des Bodens stieg durch Kalk- und Gipszugabe an, wobei trotz äquivalenter Zugabemengen in den Gipsvarianten mehr Calcium extrahiert wurde als bei Kalkzugabe. Der Gesamtpflanzenertrag der Zuckerrüben stieg durch Kalk- und Gipszugabe um jeweils 60%, durch Natronlaugezugabe um 191% gegenüber der Kontrolle an. In den gekalkten Varianten stiegen P-Aufnahme und P-Gehalt der Pflanzen mit steigendem pH-Wert an, in den Gipsvarianten sanken beide Parameter mit zunehmendem Ca-Gehalt des Bodens leicht ab. Aus dem Boden mittels EUF und CAL extrahierbares P stieg durch Kalk- und Natronlaugezugabe an, wobei die CAL-Methode deutlich mehr ( $5,2 - 9,1\text{ mg (100 g)}^{-1}$ ), die EUF-Methode leicht weniger ( $3,2 - 5,5\text{ mg (100 g)}^{-1}$ ) P aus dem Boden extrahieren konnte, als die Pflanzen aufnahmen. Dennoch bestand sowohl zwischen CAL-P als auch EUF-P und der P-Aufnahme der Pflanzen eine enge Beziehung (CAL:  $r = 0,78$ ; EUF:  $r = 0,79$ ). Die CAT-Extraktion erzielte nur in den Gipsvarianten eine enge Beziehung zur P-Aufnahme.

Die Ergebnisse zeigen, dass EUF- und CAL- Methode sehr gut geeignet waren, pflanzenverfügbares P zu extrahieren. Der Anteil pflanzenverfügbaren Phosphors am Gesamt-P im Extrakt variierte aber zwischen den Bodenuntersuchungsmethoden, sodass weitere Versuche und Methoden nötig sind, diesen zu quantifizieren. Weiterhin zeigte sich, dass die P-Verfügbarkeit mit steigendem pH-Wert im Boden zunimmt, auch bei einem neutralem Ausgangs-pH-Wert von etwa 7. Ursache hierfür könnte eine verstärkte Desorption des P von den Oberflächen der Eisen- (Fe) und Aluminium (Al) -oxide bzw. eine verbesserte Löslichkeit der Fe-, Al-Phosphate sein (Blume et al. 2010). Hohe Calciumgehalte hatten keinen Effekt, die beschriebene mit hohen pH-Werten und Calciumgehalten deutlich verminderte P-Verfügbarkeit (Blume et al. 2010) konnte nicht belegt werden.

Weitere Versuche zur Validierung der Ergebnisse werden folgen.

### **Literatur**

Blume, H.-P.; Brümmer, G.W.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I.; Kretschmar, R.; Stahr, K.; Wilke, B.-M.; Thiele-Bruhn, S.; Welp, G. (2010): Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. (16. Auflage) Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 569 S (S. 414 - 417).

## **Auswirkungen unterschiedlicher Düngungssysteme im ökologischen Ackerbau auf Nährstoff- und Humusbilanzen**

Andreas Surböck<sup>1,2</sup>, Markus Heinzinger<sup>1,2</sup>, Harald Schmid<sup>3</sup>, Jürgen K. Friedel<sup>1</sup>,  
Bernhard Freyer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Ökologischen Landbau/Universität für Bodenkultur, Wien; <sup>2</sup>Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) Österreich, Wien; <sup>3</sup>Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme/Technische Universität München, Freising. E-Mail: [andreas.surboeck@fibl.org](mailto:andreas.surboeck@fibl.org)

### **Einleitung**

Eine hohe Bodenfruchtbarkeit ist die wesentliche Grundlage im ökologischen Ackerbau um langfristig stabile Erträge erzielen zu können. Dafür muss der Boden ausreichend mit organischer Substanz und Nährstoffen versorgt werden: einerseits über die Fruchtfolgegestaltung, insbesondere über den Futterleguminosenanbau zum Humusaufbau und zur Luftstickstoffbindung, andererseits über den Einsatz von organischen Düngern. Im Trockengebiet im Osten Österreichs wirtschaften viele Biobetriebe viehlos oder vieharm. Das Schließen der Nährstoffkreisläufe stellt bei diesen Betrieben eine Herausforderung dar. Mit einer Kompost- oder Stallmistdüngung können gezielt Nährstoffe und organische Substanz von außen in das Betriebssystem eingebracht oder innerhalb der Fruchtfolge verteilt werden. Die Humus- und Nährstoffwirkung der organischen Dünger ist dabei von ihrer Art, Menge und Verteilung abhängig. Im Rahmen einer Langzeituntersuchung auf einem ökologisch bewirtschafteten Markttfruchtbetrieb werden ausgehend von einer einheitlichen Fruchtfolge drei organische Düngungssysteme untersucht. Ihre Nachhaltigkeit wird über die Berechnung ihrer Humus- und Nährstoffbilanzsalden beurteilt.

### **Material und Methoden**

Der Untersuchungsbetrieb liegt in Rutzendorf im östlichen Niederösterreich (154 m NN, 520 mm, 9,8 °C). Die Böden im Bereich des Betriebes sind Tschernoseme (Schwarzerden) der Bodenart lehmiger Schluff bis Lehm ( $C_{org}$ : 1,89 %). Die Düngungssysteme bzw. -varianten (DV) werden in acht Kleinparzellenversuchen (randomisierte komplette Blockanlagen mit vier Wiederholungen), gemäß der 8-feldrigen Fruchtfolge des Betriebes, geprüft. DV 1 entspricht einem viehlosen Ackerbaubetrieb, die Luzerne wird gemulcht und als Gründüngung genutzt. In DV 2 wird zusätzlich zur Gründüngung mittels Luzernemulch Biotonnekompost äquivalent dem P-Entzug der Fruchtfolge zugeführt. In DV 3 wird ein viehhaltendes System in Orientierung an einen Rinderbestand mit 0,5 GVE ha<sup>-1</sup> über die Abfuhr von Luzerne und Stroh und Zufuhr von Rindermist simuliert. Die Düngung mit Biotonnekompost (im Mittel 19,6 t ha<sup>-1</sup> je Düngung) und Rindermist (im Mittel 18,2 t ha<sup>-1</sup> je Düngung) erfolgt zweimal innerhalb einer Fruchtfolgerotation. Die Bilanzen der Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) und des Humus wurden mit der Agrarsoftware REPRO (Hülsbergen 2003) über sechs Bewirtschaftungsjahre (2005 bis 2010) mit den in den Kleinparzellenversuchen erhobenen Ertrags- und Düngermengen sowie den Nährstoffgehaltsdaten berechnet. Die Berechnung der Humusbilanz erfolgte mit der dynamischen Humuseinheiten (HE)-Methode. Die Kulturartenanteile der Fruchtfolge waren: 25 % Luzerne, 52,5 % Getreide, 12,5 % Hackfrüchte, vor allem Körnermais, 10 % Körnererbsen und 37,5 % Zwischenfrüchte.

## Ergebnisse und Diskussion

Das mittlere Ertragsniveau der Marktfrüchte der drei Düngungsvarianten war annähernd gleich und als durchschnittlich bis hoch einzustufen. Der höhere Ertrag bei der DV 3 in der Tab. 1 ist bedingt durch die Einrechnung des Ertrages der abgeführten Luzerne und des Getreidestrohs. Bei der DV 1 und der DV 3 liegt der Humussaldo in der hinsichtlich Ertragssicherheit bei geringem Stickstoff-Verlustrisiko als optimal bewerteten Versorgungsstufe C (zwischen  $-75$  bis  $+100$  kg Humus-C  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ , nach VDLUFA 2004). Der Humussaldo der DV 2 ist mit  $364$  kg C  $\text{ha}^{-1}$  deutlich höher, da über die Biotonnekompostdüngung zusätzlich organische Substanz mit hoher Humuswirkung zugeführt wurde. Der hohe Humusbilanzsaldo wird jedoch nicht als kritisch angesehen, da der Stickstoff im Kompost bis zu ca. 90 % organisch gebunden ist, welcher nur teilweise und langsam mineralisiert wird.

**Tab. 1:** Bilanzsalden verschiedener organischer Düngungssysteme (-varianten)

Ertragsniveau und Bilanzsalden	Mengeneinheit	DV 1	DV 2	DV 3
Ernteertrag (Haupt- + Nebenprodukt)	GE $\text{ha}^{-1}$	35,5	36,0	48,5
Humussaldo	kg C $\text{ha}^{-1}$	59	364	33
Humusversorgungsgrad	%	112	173	107
N-Saldo (mit $\Delta$ Bodenvorrat)	kg N $\text{ha}^{-1}$	46	60	17
N-Saldo (ohne $\Delta$ Bodenvorrat)	kg N $\text{ha}^{-1}$	52	95	20
N-Ausnutzung	%	75	63	89
P-Saldo	kg P $\text{ha}^{-1}$	-11	-2	-8
K-Saldo	kg K $\text{ha}^{-1}$	-15	14	5

DV 1 = Gründüngung mittels Luzernemulch; DV 2 = Gründüngung mittels Luzernemulch + Biotonnekompost; DV 3 = Futternutzung der Luzerne und Strohabfuhr + Rindermist. GE...Getreideeinheit.

Die N-Salden sind bei allen drei Düngungsvarianten positiv und am höchsten bei der DV 2, bei welcher im Mittel zusätzlich ca. 43 kg Stickstoff je Hektar und Jahr mit dem Kompost eingebracht wurde. Der geringere N-Saldo bei der DV 3 ist auf die N-Verluste über die Tierhaltung sowie Lagerung und Aufbereitung des Rindermistes zurückzuführen. Mit einer Stickstoffausnutzung von 89 % wird bei dieser Variante der zur Verfügung stehende Stickstoff jedoch optimal genutzt und in Ertrag umgesetzt. Bei allen drei Düngungsvarianten wurde Stickstoff im Boden- $N_{\text{org}}$ -Vorrat gespeichert. Aufgrund der Zufuhr von P und K über den Kompost erreicht die DV 2 einen fast ausgeglichenen P- und einen positiven K-Saldo. Die negative P-Bilanz (bei DV 1 und DV 3) und K-Bilanz (bei DV 1) kann mittelfristig durch Nachlieferung aus den hohen Bodenvorräten ausgeglichen werden. Alle geprüften Systeme können positiv hinsichtlich Nachhaltigkeit und Erhalt der Bodenfruchtbarkeit beurteilt werden. DV 2 weist das größte Potential zum Humusaufbau und damit zur langfristigen Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit auf.

Die Ergebnisse stammen aus dem Projekt MUBIL, welches vom österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, den Bundesländern und der Europäischen Union finanziell gefördert wird.

## Literatur

- Hülsbergen, K.-J. 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitationsschrift. Verlag Shaker, Aachen.
- VDLUFA 2004: VDLUFA-Standpunkt: Humusbilanzierung. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Bonn.

## **Einfluss von Tierart und räumlicher Verteilung der Weidetiere auf die kleinräumige und großräumige Heterogenität der Bodennährstoffgehalte bei Rinder-, Schaf- und Mischbeweidung**

Bettina Tonn, Felicitas Kaemena, Birgit Schäbitz, Jana Sabrina Jerrentrup und Johannes Isselstein

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften.  
E-Mail: btonn@uni-goettingen.de

### **Einleitung**

Auf Weiden führt die Nährstoffrückführung in Exkrementen der Weidetiere zur kleinräumigen Nährstoffkonzentration in Exkrementstellen und teilweise zusätzlich zur großräumigen Nährstoffumverteilung innerhalb der Weidefläche. Aufgrund der Größe der Exkrementstellen und der darin enthaltenen Nährstoffmengen ist anzunehmen, dass von Schafen beweidete Flächen eine geringere kleinräumige Heterogenität der Bodennährstoffgehalte aufweisen als von Rindern beweidete. Darüber hinaus wurde erwartet, dass die großräumige Heterogenität der Bodennährstoffverteilung im Zusammenhang mit der Bevorzugung bestimmter Weidebereiche steht und diese bei Schafen und Rindern unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Mit der gleichmäßigsten Verteilung der Weidetiere auf der Fläche wurde bei Mischbeweidung gerechnet.

### **Material und Methoden**

In einem dreifach wiederholten Umtriebsweideversuch mit den Versuchsfaktoren Rinder-, Schaf- und Mischbeweidung, sowie diverser und grasbetonter Grasnarbe (Seither, 2011) wurde die räumliche Verteilung der Weidetiere über insgesamt 20 h je 0,5-ha Parzelle beobachtet. Alle 15 min wurde die Position von drei (bei Mischbeweidung von fünf) Weidetieren in einer von sechs definierten Teilflächen jeder Parzelle notiert. An fünf zufällig verteilten Punkten je Parzelle wurden jeweils zwei Bodenproben der obersten 10 cm als Mischprobe einer Fläche von 9 m<sup>2</sup> bzw. einer konzentrischen Fläche von 16 m<sup>2</sup> genommen und auf ihre pflanzenverfügbaren P-, K- und Mg-Gehalte analysiert. Als Maß für die kleinräumige Heterogenität der Bodennährstoffgehalte wurde für jeden Probenahmepunkt der Varianzkoeffizient (VK) der Nährstoffgehalte beider an diesem Punkt gewonnener Bodenproben berechnet. Der VK der mittleren Bodennährstoffgehalte der fünf Probenahmepunkte je Parzelle diente als Indikator für die großräumige Heterogenität der Bodennährstoffgehalte.

Die Homogenität der räumlichen Verteilung der Weidetiere innerhalb jeder einzelnen Parzelle wurde mit einem Chi-Quadrat-Test geprüft. Zusätzlich wurde der VK der Aufenthaltshäufigkeiten in den sechs Teilflächen jeder Parzelle berechnet. Der Einfluss der Behandlungen auf die VK von Bodennährstoffgehalten und Aufenthaltshäufigkeiten wurde in einem gemischten linearen Modell mit den festen Effekten Tierart, Grasnarbe, Tierart x Grasnarbe und Block geprüft. Für die kleinräumige Heterogenität der Bodennährstoffgehalte wurden dabei die Probenahmepunkte innerhalb einer Parzelle als Messwiederholungen betrachtet.

Für jeden Probenahmepunkt wurden relative Bodennährstoffgehalte als Quotient der mittleren Nährstoffgehalte am Probenahmepunkt und dem Mittelwert der Gesamtparzelle berechnet. Die Probenahmepunkte wurden den entsprechenden Teilflächen der Tierbeobachtung räumlich zugeordnet und eine lineare Regression der Aufenthaltshäufigkeit auf die relativen Bodennährstoffgehalte berechnet.

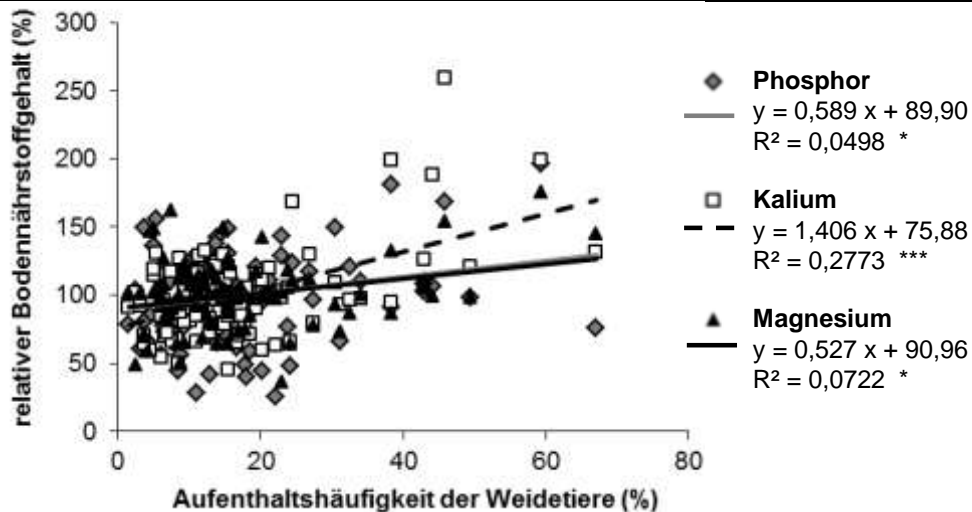
## Ergebnisse und Diskussion

In den meisten Parzellen bestanden signifikante Unterschiede in der Nutzung von Teilbereichen durch die Weidetiere (Ergebnisse nicht gezeigt), diese waren jedoch unabhängig von der Art der Weidetiere und der Grasnarbe (Tab. 1). Beide Versuchsfaktoren hatten zudem weder auf die kleinräumige noch auf die großräumige Heterogenität der pflanzenverfügbaren Gehalte von P, K und Mg im Boden einen signifikanten Einfluss (Tab.1). Dagegen bestand über die Behandlungen hinweg ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Aufenthaltshäufigkeit der Weidetiere und den P-, K- und Mg-Gehalten im Boden (Abb. 1).

Die erwarteten Unterschiede in der kleinräumigen Heterogenität der Bodennährstoffe bei Rinder- und Schafbeweidung konnten zumindest mit dem gewählten Probenahmedesign nicht gefunden werden. Der Zusammenhang zwischen Aufenthaltshäufigkeit der Weidetiere und Bodennährstoffgehalten deutet jedoch auf einen großräumigen Nährstofftransfer durch die Weidetiere hin.

**Tab. 1:** Effekt von Tierart und Grasnarbe auf die Varianzkoeffizienten als Maß der räumlichen Heterogenität der Bodennährstoffgehalte auf zwei Maßstabsebenen sowie der Aufenthaltshäufigkeiten der Weidetiere.

	Kleinräumig			Großräumig			
	P	K	Mg	P	K	Mg	Aufenthalt
Rind / grasbetont	0,28	0,10	0,04	0,38	0,23	0,17	0,55
Rind / divers	0,15	0,11	0,06	0,51	0,45	0,23	0,76
Schaf / grasbetont	0,16	0,10	0,06	0,34	0,41	0,23	0,75
Schaf / divers	0,20	0,10	0,03	0,28	0,19	0,19	0,82
Mischbeweidung / grasbetont	0,13	0,11	0,05	0,29	0,27	0,18	0,55
Mischbeweidung / divers	0,11	0,13	0,05	0,30	0,26	0,20	0,66



**Abb. 1:** Relativer Bodennährstoffgehalt (Probenahmepunkt im Verhältnis zum Parzellenmittelwert) in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit der Weidetiere in der entsprechenden Teilfläche. \*/\*\*\*: Regression signifikant mit  $P < 0,05$  bzw.  $P < 0,001$ .

## Literatur

Seither, M. 2011. The effect of grassland botanical composition and (co-) grazing cattle and sheep on herbage production and sward nutrient utilisation. Dissertation Universität Göttingen. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2011/seither/seither.pdf>



## Wurzeigenschaften von Luzerne und Rotklee auf ökologisch bewirtschafteten Flächen mit unterschiedlicher Bodentextur

Lucie Chmelikova<sup>1</sup>, Harald Schmid<sup>2</sup>, Michal Hejcman<sup>1</sup> und Kurt-Jürgen Hülsbergen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tschechische landwirtschaftliche Universität, Prag. E-Mail: lchmelikova@fzp.czu.cz, <sup>2</sup>Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising.

### Einleitung

Luzerne (*Medicago sativa* L.) und Rotklee (*Trifolium pratense* L.) sind wichtige Futterleguminosen, die durch intensive Durchwurzelung, Humusbildung und N<sub>2</sub>-Fixierung den Ertrag nachfolgender Kulturen positiv beeinflussen. Die *Rhizobien*-Leistung ist von Genotyp und Entwicklungszustand der Wirtspflanze, der Symbionten (Zahran 1999) sowie Umweltfaktoren (Chmelikova & Hejcman 2012) abhängig. Auf Versuchsflächen im bayerischen Tertiärhügelland wurde unter gleichen Witterungsbedingungen der Einfluss der Bodentextur auf die Biomassebildung, Wurzeigenschaften, die Knöllchenbildung und die N<sub>2</sub>-Fixierleistung untersucht.

### Material und Methoden

Luzerne-Rotklee-Gras wurde auf 6 ökologisch bewirtschafteten Flächen mit unterschiedlicher Bodentextur (Tab. 1) analysiert. Die Versuchsflächen (D1, S1, S2, V1, V2, V3) mit vier Wiederholungen (je 10 x 10 m) befinden sich in der Nähe von Freising. Zu drei Terminen wurden Sprosswachstum, Wurzelwachstum und -morphologie (Bohrkern- und Monolithmethode, Böhm 1979) erfasst. Folgende Knöllcheneigenschaften wurden bestimmt: Knöllchengröße, -zahl, -farbe und -form. Die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung wurde nach Hülsbergen (2003) berechnet.

**Tab. 1: Bodentextur (Krume) der untersuchten Standorte**

	D1	S1	S2	V1	V2	V3
Bodenart	Ut4/Tu4	Ls2	Slu	Lu/Uls	Sl3/Sl4	Lu/Tu3
Sand (%)	4	37	43	25	57	18
Schluff (%)	71	45	41	58	32	52
Ton (%)	25	18	16	17	12	32

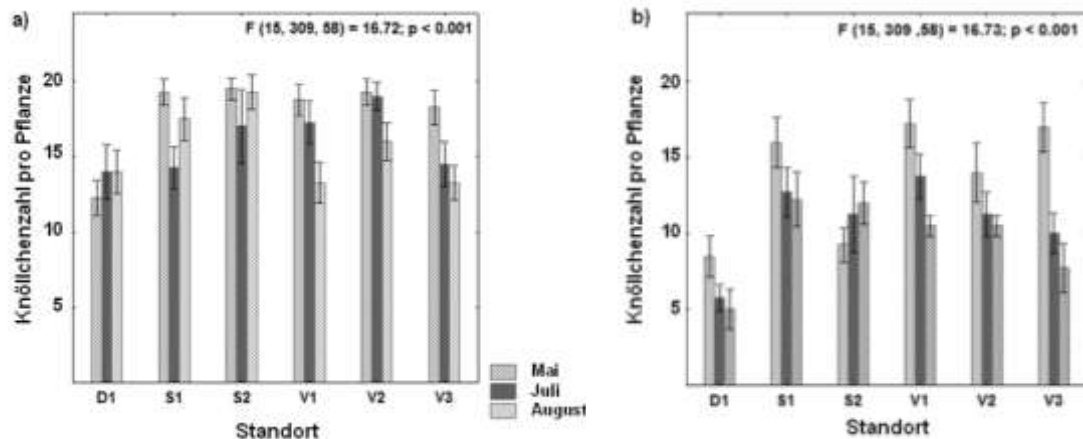
### Ergebnisse und Diskussion

Der Sprossertrag betrug 80 - 120 dt ha<sup>-1</sup>, die Wurzelrockenmasse in der Krume 17 - 25 dt ha<sup>-1</sup>; die Wurzellänge 64 - 89 km m<sup>-2</sup>. Ein Einfluss der Textur wurde nicht festgestellt (Tab. 2).

**Tab. 2: Kenndaten der Biomassebildung und des N-Entzuges**

	D1	S1	S2	V1	V2	V3
Sprossertrag (dt TM ha <sup>-1</sup> )	81	110	101	119	88	116
N-Entzug (kg N ha <sup>-1</sup> )	214	333	260	307	191	296
N <sub>2</sub> -Fixierung Spross (kg N ha <sup>-1</sup> )	130	184	123	188	110	173
Wurzelmasse (dt TM ha <sup>-1</sup> )	25	21	17	23	23	22
Wurzellänge (km m <sup>-2</sup> )	84	89	71	76	73	64
Wurzelradius (mm)	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Der Stickstoffentzug (3 Nutzungen) der Varianten unterschied sich deutlich ( $190 - 330 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Die  $\text{N}_2$ -Fixiermengen des Sprosses betragen  $110 - 190 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; der Anteil des symbiotisch fixierten Stickstoffs am N-Gesamtentzug des Sprosses betrug zwischen  $50 - 60 \%$ .



**Abb. 1:** a) Knöllchenzahl der Luzerne, b) Knöllchenzahl des Rotkleees

Die Wurzeigenschaften (Länge der Hauptwurzel, Durchmesser, Verzweigungsgrad) und Knöllcheneigenschaften der Luzerne hatten eine größere Streuung als die von Rotklee. Knöllchenzahl und -größe gehen im Laufe der Vegetation zurück. Die Knöllcheneigenschaften der Luzerne auf der Fläche D1 unterschied sich deutlich von der auf anderen Standorten. Bei Rotklee wurden nur zylindrische, bei Luzerne zylindrische und verzweigte Knöllchenformen festgestellt.

Der Tongehalt hatte keinen deutlichen Einfluss auf die Knöllchenzahl und -formen. Auf der Fläche D1 (Tongehalt 25%) wurden die wenigsten und kleinsten Knöllchen gefunden. Gleichzeitig wurden die meisten und größten Knöllchen auf der Fläche V3 mit dem höchsten Tongehalt (32%) gefunden. Nutzungseinflüsse (Schnitt oder Mulch), die Stickstoffverfügbarkeit im Boden, aber auch die Versorgung mit Kalium und Phosphor beeinflussen die Knöllchenanzahl und -form maßgebend (Erkovan et al., 2010, Li et al. 2011). In weiteren Untersuchungen wird der Zusammenhang zum Nährstoffversorgungsstatus und anderen Bodenparametern geprüft.

## Literatur

- Chmelíková L, Hejčman M (2012): Root system variability in common legumes in Central Europe. *Biologia* 67, 116-125.
- Böhm W (1979): *Methods of Studying Root systems*. Springer-Verlag, Berlin.
- Erkovan HI, Mahmut, MH, Dasci M, Koc A (2010): Effects of phosphorus fertilizer and phosphorus solubilizing bacteria application on Dover dominant meadow: I. Hay yield and botanical composition. *Turk J Field Crops* 15, 12–17.
- Hülsbergen K-J (2003): *Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme*. Shaker Verlag Aachen.
- Li SX, Wang ZH, Stewart BA (2011): Differences of some leguminous and nonleguminous crops in utilization of soil phosphorus and responses to phosphate fertilizers. *Adv Agron* 110, 125-249.
- Zahrán HH (1999): *Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate*. *Microbiol. Mol Biol R* 63, 968-989.

## **Speicherung von organischem Kohlenstoff unter Mulch- und Direktsaat**

Anna Jacobs<sup>1</sup> und Heinz-Josef Koch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen. E-Mail: jacobs@ifz-goettingen.de

### **Einleitung**

Die Anreicherung von organischem C ( $C_{org}$ ) in landwirtschaftlichen Böden durch reduzierte Bodenbearbeitung oder Direktsaatverfahren wird kontrovers diskutiert, da Versuchsergebnisse z.T. gegenläufige Trends aufzeigen (Angers und Eriksen-Hamel 2008). Zudem sind allgemeingültige Aussagen mit Unsicherheiten behaftet, da Standorteigenschaften, Bewirtschaftungsweise (z.B. Fruchtfolge) und Probenahmetermin zusätzlich die Ergebnisse beeinflussen können. Die vorgestellte Arbeit überprüfte den Einfluss langjähriger Anwendung von Mulch- und Direktsaat auf die Gehalte und Vorräte von  $C_{org}$  an verschiedenen Standorten mit jeweils identischer Bewirtschaftungsweise.

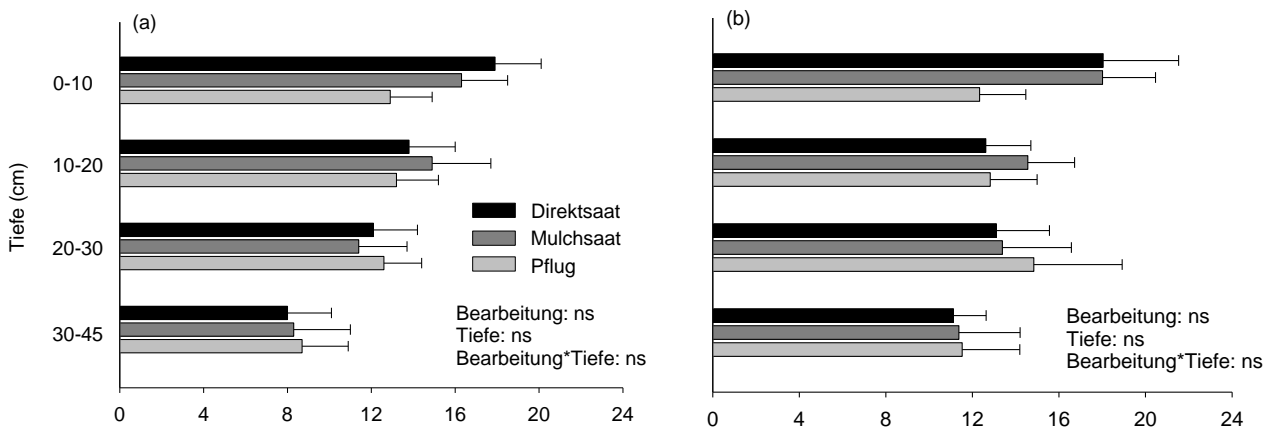
### **Material und Methoden**

In den Jahren 1991-1993 wurden an fünf Parabraunerde-Standorten in Süd- und Ostdeutschland großflächige Dauerversuche mit den Bearbeitungsvarianten (i) Pflug 25-30 cm, (ii) Mulchsaat nach Grubber 10-15 cm und (iii) Direktsaat angelegt. Die Fruchtfolge war einheitlich Zuckerrübe, Winterweizen, Winterweizen. Alle Erntereste verblieben im Feld. Für weitere Details siehe Koch et al. (2009).

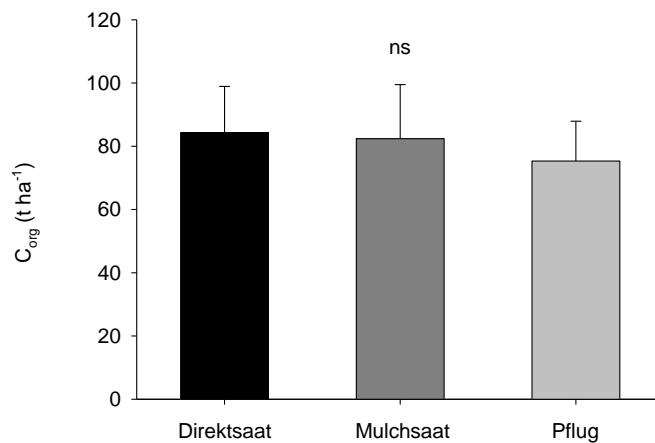
Nach 10-13 (Termin 1) bzw. 16-18 (Termin 2) Jahren unterschiedlicher Bearbeitung wurden die Varianten im Frühjahr stets nach der Vorfrucht Winterweizen tiefendifferenziert (0-10, 10-20, 20-30, 30-45 cm) beprobt (Bohrstock, Stechzylinder). Aus technischen Gründen konnten an den einzelnen Standorten keine Feldwiederholungen angelegt werden. In die Varianzanalyse ( $\alpha = 0,05$ ) gingen die fünf Standorte als unabhängige Wiederholungen ein, wobei die Bearbeitung und die Probenahmetiefe als feste Faktoren geprüft wurden.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Zum ersten Probenahmetermin zeigten sich die  $C_{org}$ -Gehalte in den oberen 30 cm der Pflugvariante homogen und fielen in 30-45 cm stark ab (Abb. 1a). Die Mulch- und die Direktsaatvariante zeigten im Vergleich deutlich höhere  $C_{org}$ -Gehalte in den oberen 0-10 cm mit kontinuierlicher Abnahme bis in 45 cm Tiefe (Abb. 1a). Der  $C_{org}$ -Vorrat (0-45 cm, Referenztiefe nach Bodenmasse; Ellert und Bettany 1995) war in beiden pfluglosen Varianten leicht erhöht (Abb. 2). Die Varianz zwischen den verschiedenen Standorten war jedoch so hoch, dass oben beschriebene Effekte im Mittel über alle Standorte statistisch nicht absicherbar waren. Ebenso war das Ausmaß der Effekte an den Standorten unterschiedlich. Der zweite Probenahmetermin bestätigte die beschriebenen Ergebnisse und zeigte zudem keine weitere Steigerung der  $C_{org}$ -Gehalte im Oberboden (Abb. 1b).



**Abb. 1:** Verteilung des organischen C ( $C_{org}$ )-Gehalts über das Bodenprofil nach (a) 10-13 und (b) 16-18 Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung. Mittelwerte der Standorte ( $n = 5$ ) und Standardfehler; ns = nicht signifikant.



**Abb. 2:** Vorräte an organischem C ( $C_{org}$ ) im Boden (0-45 cm; Referenztiefe nach Bodenmasse) nach 10-13 Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung. Mittelwerte der Standorte ( $n = 5$ ) und Standardfehler; ns = nicht signifikant.

Es ist zu schlussfolgern, dass Mulch- und Direktsaat binnen 10-13 Jahren Anwendung zu einer Anreicherung von  $C_{org}$  im Oberboden führen kann, wodurch sich insgesamt der  $C_{org}$ -Vorrat (0-45 cm) leicht erhöht. Insbesondere im Oberboden ist der gesteigerte  $C_{org}$ -Gehalt von Vorteil für die nachhaltige Fruchtbarkeit von Böden, auch durch Verringerung des Erosionsrisikos.

## Literatur

- Angers, D.A. und Eriksen-Hamel, N.S. 2008: Full-Inversion Tillage and Organic Carbon Distribution in Soil Profiles: A Meta-Analysis. *SSSAJ* 72: 1370-1374.
- Ellert, B.H. und Bettany, J.R. 1995: Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Can. J. Soil Sci.* 75: 529-538.
- Koch, H.-J., Dieckmann, J., Büchse, A. und Märländer, B. 2009: Yield decrease in sugar beet caused by reduced tillage and direct drilling. *Europ. J. Agronomy* 30: 101-109.

## Methodenversuch zur Fraktionierung organischer Bodensubstanz für die Erfassung kurzfristiger Bewirtschaftungseinflüsse auf landwirtschaftliche Böden

Lucas Knebl<sup>1</sup>, Maria Nägele<sup>1</sup>, Günter Leithold<sup>1</sup> und Christopher Brock<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen. E-Mail: lucas.a.knebl@agrar.uni-giessen.de

### Einleitung

Die partikuläre organische Substanz des Bodens (POM) wird als sensibler Indikator von Bewirtschaftungseinflüssen betrachtet (Wander, 2004), was die Fraktion zu einem vielversprechendem Parameter in der Quantifizierung gering mächtiger Mengenänderungen der organischen Bodensubstanz (OBS) macht. Um einen großen Durchsatz zu ermöglichen, wurden zwei einfache POM-Fraktionierungsmethoden bezüglich ihrer Eignung kleine Mengenänderungen zu quantifizieren verglichen.

### Material und Methoden

Die Bodenproben entstammen einer landwirtschaftlich genutzten Fläche des Lehr- und Versuchsbetriebs „Gladbacherhof“ der JLU Gießen in Villmar, Hessen (Parabraunerde aus Löss, stark toniger Schluff, 1% C und 0,12% N). Jede der gegenübergestellten Ansätze wurde in sechs Wiederholungen durchgeführt. Der erste Ansatz (A1) orientiert sich an der Methode von Magid&Kjærgaard (2001), die in einer kombinierten Größen- und Dichtefraktionierung die sogenannte light fraction (LF) mittels Nasssiebung sowie Flotation und Dekantieren in Wasser isoliert. Zunächst wurde die Probe in drei Fraktionen (800-2000µm, 400-800µm und 100-400µm) unterteilt um anschließend die LF jeder Fraktion zu separieren. Der zweite Ansatz (A2) verzichtet auf diese Isolierung der LF und erfasst die gesamte organische sowie mineralische Substanz der jeweiligen Fraktion. Deren C- und N-Mengen wurden aus den jeweiligen C- und N-Gehalten (analysiert nach ISO 10694 bzw. ISO 13878) und den entsprechenden Fraktionsmengen berechnet. Abschließend erfolgte die Ermittlung der minimum detectable difference (MDD) für jede Fraktion anhand nachfolgender Formel:

$$MDD = \sqrt{\frac{s^2}{n} (t_{\alpha, v} + t_{\beta, v})}$$

### Ergebnisse und Diskussion

Die beiden Ansätze (A1, A2) erzielen ähnlich große C- und N-Mengen in den vergleichbaren Fraktionen, wobei die Hauptanteile des isolierten Materials jeweils in den Fraktionen 100-400µm liegen. Ansatz A1 weist innerhalb der gesamten Fraktion 100-2000µm die geringeren MDD für die C-Mengen auf, was auf die geringeren Werte der mittleren Fraktion 400-800µm zurückzuführen ist. Im Gegensatz dazu erzielt der Ansatz A2 innerhalb der gesamten Fraktion (100-2000µm) die geringeren MDD für die N-Mengen, was hier auf die geringeren Werte der Fraktionen 100-400µm und 400-800µm zurückgeführt werden kann.

Es kann gezeigt werden, dass der vereinfachte methodische Ansatz (A2) insgesamt eine geringere Variation der Ergebnisse aufweist und so MDD in der Größenordnung

von ca. 15% bei der Fraktion 100-2000µm erreicht werden. Das Niveau der MDD liegt so in einem Bereich, der die Erfassung von kurzfristigen Bewirtschaftungseinflüssen erlauben könnte.

### **Literatur**

Knebl, L.; Nägele, M.; Leithold, G.; Brock, C. (in Vorb.): Test of a simple approach to fractionate soil organic matter for assessing short term management effects on arable soils.

Magid, J.; Kjærgaard, C. 2001: Recovering Decomposing Plant Residues From The Particulate Soil Organic Matter Fraction. Size Versus Density Separation. *Biol Fertil Soils* 33, 252-257.

Wander, M.M. 2004: Soil Organic Matter Fraction and Their Relevance to Soil Function. Magdoff F. & Weil R.(Eds). *Advances in Agroecology*. CRS, 67-102.

## **Grundlagen der Bodenfruchtbarkeit. Eine neue Broschüre für den deutschsprachigen Raum**

Nikola Patzel

Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick (Schweiz). E-Mail: nikola.patzel@fibl.org

### **Einleitung**

Weil die Bodenfruchtbarkeit die Basis der menschlichen Existenz sichert, braucht das Wissen über sie immer wieder neue Synthesen. Dabei müssen auch hinderliche Trennungen zwischen Praxiswissen und wissenschaftlicher Forschung zur Bodenfruchtbarkeit überwunden werden, sodass die verschiedenen Wissensarten zur Bodenfruchtbarkeit einander gut ergänzen können. Das international aufgestellte Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL D/A/CH) und führende Biolandbau-Verbände des deutschsprachigen Raumes haben in einem aufwendigen Prozess eine neue Broschüre erarbeitet und im Frühjahr 2012 publiziert: „*Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit. Die Beziehung zum Boden gestalten.*“

### **Material und Methoden**

Die Autor(inn)en sind in den Bereichen Wissenschaft, bäuerliche Praxis und Beratung tätig. Die Textentwürfe wurden während des Produktionsprozesses schwerpunktmäßig bäuerlichen Gutachter(inne)n vorgelegt. Da Werte- und Weltbildfragen in der Erforschung und Kultur der Bodenfruchtbarkeit eine große Rolle spielen, wurden sie ebenso offen zwischen den Beteiligten diskutiert wie fachliche Fragen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Auf 32 Seiten werden folgende Themen dargestellt:

TEIL 1: GRUNDSÄTZE DER BODENFRUCHTBARKEIT

TEIL 2: BODENFRUCHTBARKEIT WAHRNEHMEN

TEIL 3: BODENFRUCHTBARKEIT ERHALTEN UND STEIGERN

TEIL 4: ZUKUNFT DER BODENKULTUR

Das Projekt zeigte, wie wichtig es bei Wissenssynthesen zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit ist, verschiedene persönliche, wissenschaftliche und naturräumliche Perspektiven in einen – oft auch kontroversen – Dialog treten zu lassen. Dies kann die breite Relevanz und Akzeptanz der Ergebnisse trotz Beibehaltung gewisser Spannungen und offener Fragen erhöhen, was sich hier auch in einer bereits verteilten Auflage von 15'000 Stück äußert. Trotz aller Heterogenität innerhalb der (organisch-)biologisch orientierten Landwirtschaft ist es möglich, so zeigt dieses Projekt, einen werte- und wissensbasierten Konsens zur Bodenfruchtbarkeit zu finden.

Darüber hinaus gibt es zu anderen Konventionen des Landbaus wichtige Schnittmengen gemeinsamer Fragen und Erfahrungen. Und angesichts zunehmender Verknappung landwirtschaftsexterner Rohstoffe zur Landbewirtschaftung könnten manche Ansätze des Biolandbaus auch für solche Landwirtschaftskonventionen wichtiger werden, die in der Landbaupraxis eher andere Schwerpunkte setzen.



# Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit

Die Beziehung zum Boden gestalten

Die Förderung der Bodenfruchtbarkeit war für die biologischen Pioniere ein entscheidender Wert. Dennoch wurde die Erhaltung des fruchtbaren Bodens oft zu wenig beachtet. Aber der Biolandbau ist auf eine gute natürliche Bodenfruchtbarkeit angewiesen. Geschwächte und geschädigte Böden können die gewünschten Leistungen nicht bringen. Kultivierte Bodenfruchtbarkeit braucht viel Pflege.

Die Broschüre zeigt die Bodenfruchtbarkeit aus verschiedenen Blickwinkeln. Dabei wird bewusst auf den Anspruch verzichtet, eine allgemeingültige «Gebrauchsanweisung» zu liefern. Die Informationen sollen vielmehr dazu anregen, die Beziehung zum Boden zu überdenken und zukunftsfähig zu gestalten.



Abb. 1: Diese Publikation ist in elektronischer (gratis) und gedruckter (7 €) Form erhältlich über <http://www.bodenfruchtbarkeit.org/grundlagen.html> – sowie bei den Herausgebern (siehe Titelblatt oben).



## **Erosionsschutz im Feldgemüsebau – Etablierung des Strip-tillage Verfahrens bei Weißkohl**

Annegret Übelhör<sup>1</sup>, Judit Pfenning<sup>1</sup>, Wilfried Hermann<sup>2</sup>, Norbert Billen<sup>3</sup>,  
Jörg Morhard<sup>4</sup> und Wilhelm Claupein<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Kulturpflanzenwissenschaften Fachgebiet Allgemeiner Pflanzenbau -Gemüsebau- (340a),  
<sup>2</sup>Versuchsstation Agrarwissenschaften - Standort Ihinger Hof (301), <sup>3</sup>Institut für Bodenkunde und  
Standortlehre (310a), <sup>4</sup>Institut für Agrartechnik (440d)/Universität Hohenheim, Stuttgart.  
E-Mail: Annegret.Uebelhoer@uni-hohenheim.de

### **Einleitung**

Bodenerosion wird durch vermehrt auftretende Starkniederschläge zu einem immer größer werdenden Problem der Landwirtschaft. Durch den großen Reihenabstand und den späten Bestandesschluss ist vor allem der Feldgemüsebau stark gefährdet. Die Bodenabträge sind oftmals beträchtlich und die on- und off-site Schäden hoch (Evans, 2006). Im Rahmen des vom Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (MLR) geförderten Projektes „Entwicklung erosionsmindernder Anbauverfahren im Feldgemüsebau“ wird seit 2010 an der Entwicklung des konservierenden Bodenbearbeitungssystem „Strip-tillage“ geforscht.

### **Material und Methoden**

Die Versuchsflächen befanden sich auf der Versuchsstation Ihinger Hof der Universität Hohenheim westlich von Stuttgart. Die Bodenart ist ein stark schluffiger Ton mit einer Bodenzahl von 65. Das Versuchsdesign war eine blockweise, randomisierte Streifenanlage mit vier Wiederholungen. Die Vorfrucht im Jahr 2010 war *Triticale* cv. 'Talentro'. Nach der Ernte wurde im Herbst die Versuchsfläche zur Unkrautunterdrückung mit Glyphosat behandelt und anschließend die Pflanzstreifen mit einem Streifenlockerungsgerät (Horsch-Focus) 20 cm tief gelockert. Die restliche Fläche blieb unbefahren und die Strohreste verblieben auf der Bodenoberfläche. Für die Pflanzung wurde eine speziell für das Strip-till Verfahren modifizierte vierreihige Pflanzmaschine (Checci & Magli) eingesetzt. Für eine exakte Jungpflanzenablage wurde bei der Lockerung und der Pflanzung mit einem GPS-RTK gestützten Lenksystem gearbeitet. Die Stickstoff-Düngung im Frühjahr erfolgte nach dem N<sub>min</sub>-System auf einem Sollwert von 270 kg N/ha mit ENTEC 26 (k+s nitrogen). Folgende Varianten wurden angelegt: (1) Pflug mit Vorfrucht Kopfsalat, (2) Pflug, (3) Strip-till mit Vorfrucht Kopfsalat und (4) Strip-till. In den Varianten (1) und (3) wurde am 15.04.2011 Kopfsalat (*Lactuca sativa* var. *capitata* [L.](#)) der Sorte 'Gisela' gepflanzt. Nach dessen Ernte am 09.06.2011 folgte in allen Varianten Weißkohl cv. 'Marcello' (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *alba*).

Für den Beregnungsversuch wurde im Frühjahr 2011 bei der Kopfsalatkultivierung ein Niederschlagssimulator mit einer Beregnungsfläche von 1 m<sup>2</sup> verwendet, mit dem während der Beregnungsdauer von 20 Minuten pro Variante und Wiederholung eine gleichmäßige Regenintensität von 40 l/m<sup>2</sup> erreicht werden konnte. Darüber hinaus wurde in den verschiedenen Varianten die Infiltration, die Lagerungsdichte, der Wassergehalt und die Luft- und Feldkapazität bestimmt.

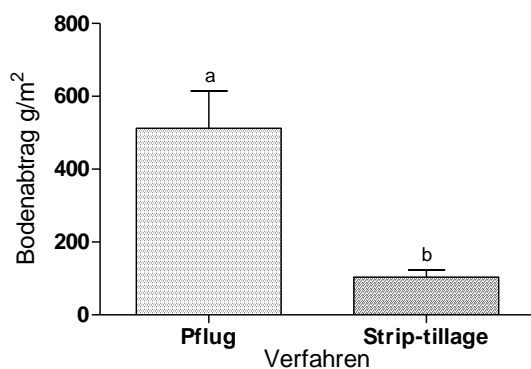
Zum Vegetationsende folgte eine Ertragerhebung bei Kopfsalat und Weißkohl.

Die statistische Auswertung (einfaktorielle ANOVA) und Erstellung der Grafiken erfolgte mit SigmaPlot (Systat Software) und GraphPad Prism (GraphPad Software).

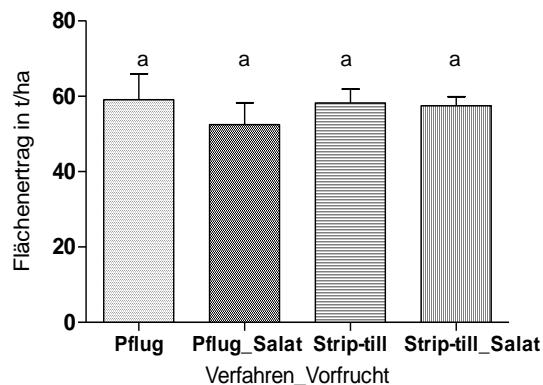
## Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Ertragserhebung zeigten bei der Kopfsalatkultivierung keine signifikanten Unterschiede zwischen dem konventionellen Pflug- und dem konservierenden Strip-tillage Verfahren. Mit einem mittleren Kopfgewicht von  $663 \text{ g} \pm 31,8 \text{ g}$  wiesen die Kopfsalatköpfe aus den Strip-till Parzellen tendenziell leicht höhere Kopfgewichte auf, als die Köpfe aus den Pflugparzellen mit einem mittleren Kopfgewicht von  $640 \text{ g} \pm 38,5 \text{ g}$ . Bei dem durchgeführten Beregnungsversuch konnte gezeigt werden, dass beim Strip-tillage Verfahren der Bodenabtrag nach der Beregnungszeit von 20 min und  $40 \text{ l/m}^2$  mit  $104 \text{ g/m}^2 \pm 20 \text{ g/m}^2$  um das Fünffache geringer war als in den gepflügten Parzellen ( $512 \text{ g/m}^2 \pm 102 \text{ g/m}^2$ ) und somit ein signifikanter Unterschied zwischen den Verfahren bestand ( $p < 0,001$ ) (Abbildung 1). Die Infiltrationsraten schwankten in den Pflugparzellen sehr stark ( $6,39 \text{ l/min} \pm 3,14 \text{ l/min}$ ). In den Strip-till Parzellen war die Infiltration gleichmäßiger und die gesättigte Wasserleitfähigkeit nahm in tieferen Bodenschichten (bis - 40 cm) zu. Beim Strip-till Verfahren kann demnach durch die fehlende Pflugsohle Stauwasser vermieden werden, so dass schließlich größere Regenmengen aufgenommen werden können, bevor es zum Oberflächenabfluss kam (Blume et al., 2010).

Die erzielten Weißkohlerträge waren mit (1)  $59 \text{ t/ha} \pm 6,9 \text{ t/ha}$ , (2)  $52 \text{ t/ha} \pm 5,8 \text{ t/ha}$ , (3)  $58 \text{ t/ha} \pm 3,7 \text{ t/ha}$  und (4)  $57 \text{ t/ha} \pm 2,4 \text{ t/ha}$  in allen Varianten statistisch gleich (Abbildung 2).



**Abb. 2:** Bodenabtrag [ $\text{g m}^{-2}$ ] im Beregnungsversuch bei Kopfsalat



**Abb. 3:** Weißkohlerträge in  $\text{t ha}^{-1}$

Das konservierende Bodenbearbeitungsverfahren „Strip-tillage“ eignet sich daher mit einem sehr hohen Erosionsschutz und guten Erträgen für den Weißkohlanbau. In zukünftigen Versuchen sollen alternative Zwischenfrüchte, wie beispielsweise *Phacelia* geprüft werden, um das Strip-tillage Verfahren in weitere Fruchtfolgen integrieren zu können.

## Literatur

Blume, H. et al. 2010: Scheffer/Schachtschabel-Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Aufl. Spektrum Akademischer Verlag, 237.

Evans, R. 2006: Sustainable practices to limit soil erosion: A review and discussion. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, No. 30

## Produktivität und Bodenfruchtbarkeit der Fahlerde in Abhängigkeit von Dauerdüngung

Viktar Bosak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Weißrussische Staatliche Technologische Universität, Minsk, Belarus. E-Mail: bosak1@tut.by

### Einleitung

Die organische und mineralische Dünger üben den vielseitigen Einfluss auf die Pflanzenproduktivität sowie Bodenfruchtbarkeit aus. Eine komplexe Wirkung der Dünger kann man nur bei ihrer Daueranwendung in der Fruchtfolge feststellen [Bosak, 2007; Ellmer, 2002; Босак, 2012].

Ziel der Untersuchungen bestand darin, um den Einfluss der Dauerdüngung auf die Bodenfruchtbarkeit einer Fahlerde sowie Produktivität der Agrarpflanzen festzustellen.

### Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden im Dauerdüngungsversuch (1991-2007) in der Nähe von Minsk, Weißrussland (Belarus) durchgeführt.

Der Boden wurde als Fahlerde (Ap-A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>-A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>-B<sub>2t</sub>-BCg-Cg) bezeichnet. Die Bodenart im Oberboden ist Sandlehm, im Unterboden – Lößlehm.

Die wichtigsten Eigenschaften des Ap-Horizonts: a) ungekalkte Fläche – pH<sub>KCl</sub> 4,3-4,6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt – 277-290 mgkg<sup>-1</sup> (0,2 M HCl), K<sub>2</sub>O-Gehalt – 224-282 mgkg<sup>-1</sup> (0,2 M HCl), Humusgehalt – 1,44-1,61% (0,4 M K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>); b) gekalkte Fläche – pH<sub>KCl</sub> 5,7-5,8, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt – 276-294 mgkg<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O-Gehalt – 234-266 mgkg<sup>-1</sup>, Humusgehalt – 1,39-1,66%.

Die Bodenproben wurden im Bodenprofil vor der ersten und nach der dritten Fruchtfolgerotation entnommen. In der Bodenproben wurden pH<sub>KCl</sub>-Wert, Phosphor- und Kaligehalt (0,2 M HCl) sowie Humusgehalt (0,4 M K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) gemessen.

Im Versuch wurden auch die Produktivität der Agrarpflanzen und ihre Qualität bestimmt.

### Ergebnisse und Diskussion

Die höchste Produktivität der Fruchtfolge 7,29 tha<sup>-1</sup> wurde in der Variante mit der vollen Düngung gekriegt (Tab. 1).

Die Optimierung der Bodenazidität hat die Produktivität in dieser Variante um 0,36 tha<sup>-1</sup>, Dunganwendung – um 0,75 tha<sup>-1</sup>, Mineraldüngeranwendung – um 2,69 tha<sup>-1</sup> gesteigert.

Die Bodenfruchtbarkeit hat im Durchschnitt 46% der Fruchtfolgeproduktivität sichergestellt. Die Rolle von Stickstoffdüngern war dabei 25%, von Phosphor- und Kalidüngern – 9%. Die Wirkung und Nachwirkung der Stalldung hat 14% der Agrarpflanzenproduktivität gedeckt. Die Optimierung der Bodenreaktion hat 6% des Gesamtertrags formiert.

Die Gesamtanwendung der vollen Düngung hat auch die positive Elementenbilanz sowie Erhaltung von Phosphor, Kalium und Humus im Pflughorizont sichergestellt (Tab. 2).

**Tabelle 1:** Produktivität der Fruchtfolge in Abhängigkeit von Dauerdüngeranwendung

Variante	Fruchtfolge, tha <sup>-1</sup> FE	Ertragssteigerung, tha <sup>-1</sup> FE			Rohprotein, tha <sup>-1</sup>
		pH	Dung	NPK	
pH <sub>KCl</sub> 4,3-4,6					
Ohne Dünger	3,35	–	–	–	0,34
N <sub>83</sub> P <sub>61</sub> K <sub>112</sub>	5,56	–	–	2,21	0,60
Dung, 12,5 tha <sup>-1</sup>	4,62	–	1,27	–	0,44
Dung + N <sub>83</sub> P <sub>61</sub> K <sub>112</sub>	6,93	–	1,37	2,31	0,74
pH <sub>KCl</sub> 5,7-6,6					
Ohne Dünger	3,85	0,50	–	–	0,35
N <sub>83</sub> P <sub>61</sub> K <sub>112</sub>	6,54	0,98	–	2,69	0,68
Dung, 12,5 tha <sup>-1</sup>	4,91	0,29	1,06	–	0,46
Dung + N <sub>83</sub> P <sub>61</sub> K <sub>112</sub>	7,29	0,36	0,75	2,38	0,78
CD <sub>05</sub>	0,25				

**Tabelle 2:** Dynamik der Bodenfruchtbarkeit der Fahlerde in Abhängigkeit von Dauerdüngeranwendung

Variante	pH <sub>KCl</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , mgkg <sup>-1</sup>		K <sub>2</sub> O, mgkg <sup>-1</sup>		Humus, %	
	1991	2007	1991	2007	1991	2007	1991	2007
pH <sub>KCl</sub> 4,3-4,6								
Ohne Dünger	4,3	4,2	277	281	224	201	1,50	1,41
N <sub>83</sub> P <sub>61</sub> K <sub>112</sub>	4,3	4,1	290	337	258	244	1,44	1,55
Dung, 12,5 tha <sup>-1</sup>	4,5	4,6	281	306	282	283	1,61	1,62
Dung + N <sub>83</sub> P <sub>61</sub> K <sub>112</sub>	4,3	4,3	284	368	266	286	1,57	1,69
pH <sub>KCl</sub> 5,7-6,6								
Ohne Dünger	5,7	6,6	285	353	236	208	1,49	1,37
N <sub>83</sub> P <sub>61</sub> K <sub>112</sub>	5,7	6,6	276	374	234	219	1,39	1,35
Dung, 12,5 tha <sup>-1</sup>	5,8	6,5	290	399	266	263	1,52	1,52
Dung + N <sub>83</sub> P <sub>61</sub> K <sub>112</sub>	5,7	6,5	294	455	262	330	1,66	1,68
CD <sub>05</sub>	0,2	0,2	21	27	21	23	0,06	0,07

### Literatur

1. Bosak, V. und A. Smeyanovich 2007: Humus content dynamics depending on fertilizer application and crop rotation on Podzoluvisol. Practical Solutions for Managing Optimum C and N Content in Agricultural Soils. Czech University of Life Sciences Prague: 11-13.
2. Ellmer, F.; M. Baumecker, I. Merbach u.a. 2002: Nutritional and Environmental Research in the 21<sup>st</sup> Century – the Value of Long-Term Field Experiments. Halle-Wittenberg: 114 p.
3. Босак, В.Н. 2012: Оптимизация питания растений. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing: 203 с.

## Zwischenfrüchte fördern Bodenfruchtbarkeit

Kerstin Fuhrmann

P.H. PETERSEN SAATZUCHT LUNDSGAARD GmbH & Co. KG  
Streichmuehler Str. 8a - D-24977 Grundhof. E-Mail: k.fuhrmann@phpetersen.com

### Einleitung

Sachgemäßer Anbau von Zwischenfrüchten trägt wesentlich dazu bei, hochleistungsfähigen Pflanzenbau umweltverträglich und effektiv zu gestalten. Dadurch sind Zwischenfrüchte nicht nur in Betrieben mit intensivem Hauptfruchtanbau und erosionsgefährdeten Flächen zu festen Bestandteilen in der Fruchtfolge geworden.

Zwischenfrüchte können Defizite im Wasser- und Nährstoffhaushalt eines Bodens ausgleichen und die Humusqualität steigern, indem sie aktiv Nährstoffe durch das Pflanzenwachstum speichern und zu einem großen Teil im Nährstoffkreislauf halten. Die auf der Bodenoberfläche verbleibende Blattmasse führt zu einem hohen Eintrag hochwertiger organischer Substanz und fördert die Humusbildung. Zudem schützt die Blattmasse vor Wind- und Wassererosion. Durch Absonderung chemischer Pflanzenstoffe dienen Zwischenfrüchte auch der Bekämpfung bodenbürtiger Krankheitserreger und Schädlinge. Die pflanzliche Masse bindet den Stickstoff und verhindert so Auswaschungs- und Verlagerungsprozesse, besonders im Winter. Durch das weitverzweigte und tiefgreifende Wurzelsystem wird eine Verbesserung des Bodengefüges und der Bodenstruktur erreicht und somit die Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit gefördert. Der gezielte Anbau moderner Sorten und neuer Arten erhöht den Reiz und das Einsatzspektrum von Zwischenfrüchten. Traditionelle Ziele, wie die Erhöhung des Humusgehaltes, Verbesserung der Befahrbarkeit, Erosionsschutz, Erhöhung des Bodenpufferungsvermögens, Stickstoffbindung über Winter und die Verminderung von Auswaschungsverlusten können durch aktuelle Methoden verwirklicht werden. Neue Ziele wie die Reduzierung von Schaderregern und bodenbürtigen Krankheiten, die Aktivierung des positiven Bodenlebens sowie die zusätzliche Biomasseproduktion werden durch den Einsatz von neuen Sorten und Methoden möglich gemacht.

Das Zusammenspiel aus Sorte, Anbau und Anbaumethode trägt dazu bei, die Bodenfruchtbarkeit zu steigern, den Wasserhaushalt und die Bodenstruktur nachhaltig zu verbessern. Dadurch wird die Leistungsfähigkeit und Nachhaltigkeit hochwertiger landwirtschaftlicher Produkte erhalten und gefördert. Außerdem werden weitere Möglichkeiten für neue Produktionsziele geschaffen.

Im Folgenden sind einige Beispielarten aufgeführt, welche sich für den Anbau als Zwischenfrucht eignen. Diese Arten tragen bei sachgemäßem Anbau maßgeblich zur Humusmehrung und somit auch zur Bodenfruchtbarkeit bei.

#### Phacelia:

- Mobilisiert schwer verfügbare Ionen wie z.B. Phosphat (Eichler, 2004)
- dichtes Wurzelsystem nutzt die Nährstoffvorräte im Boden gut aus und übergibt sie nach Verrottung leicht an die Nachfolgef Frucht
- hinterlässt große Anteile organischer Substanz
- sehr guten Bodenbeschattung
- wirksame Unkrautunterdrückung

- Effektive Stickstoffkonservierung durch Verhinderung von Auswaschungsverlusten

#### Leguminosen:

- gehen in ihren Wurzelknöllchen eine Symbiose mit stickstofffixierenden Bakterien (Rhizobien) ein
  - Dadurch agieren sie unabhängig vom Nitratgehalt des Bodens und sind so in extrem stickstoffarmen Böden lebensfähig.
  - Diesen positiven Aspekt macht man sich bei der Melioration von Böden zu nutze
  - Stickstofffixierung kann 100 kg/ha pro Monat erreichen
- Avena strigosa* (Sand-/ Rauhafer):
- liefert viel organisches Material
  - Erhöht die biologische Aktivität
  - schnelle Blattentwicklung und gute Unkrautunterdrückung
  - intensive Durchwurzelung sorgt für eine verbesserte, lockere Bodenstruktur
  - Bekämpfung bodenbürtiger Krankheitserreger wie z.B. *Pratylenchus penetrans*

#### Senf:

- Intensives, tiefreichendes Wurzelnetz hinterlässt einen feinkrümeligen Boden
- hoher Eintrag an wertvoller organischer Masse
- schützt aktiv vor Bodenerosion durch Bildung einer stabilen und humusreichen Bodenstruktur
- schnelle Blattentwicklung und gute Unkrautunterdrückung
- unempfindlich gegen Trockenheit
- effektive Stickstofffixierung
- brauner Senf (*Brassica juncea*) verfügt über eine hohe natürliche Schwermetalltoleranz

## Die Textur als pedologisches Kriterium für die Abgrenzung naturbedingt benachteiligter Gebiete – eine Zwischenbilanz

Hans-Jürgen Ulonska

Teichgasse 28, 99099 Erfurt. E-Mail: hans-juergen-ulonska@t-online.de

### Einleitung

Die Europäische Kommission hat derzeit u. a. nicht kompatible Bodentexturen als „biophysikalische Kriterien“ für die Abgrenzung naturbedingt benachteiligter Gebiete vorgeschlagen (KOM 2011). Diese sind hier vereinfacht, zu harmonisierten „pedologischen Kriterien“ auf Basis EU- weit verbindlicher Übereinstimmungen weiter entwickelt worden und beziehen sich auf die Grenzziehungen zur Tonfraktion und zum Korngrößengemisch Feines (abschlämbbare Teilchen) des mineralischen Feinbodens/Feinsedimentes. Darauf wiederum basieren acht Texturklassen (Nestroy und Ulonska 2012), die zugleich bodenchemischen Kriterien zugeordnet werden und damit insbesondere den EU- weiten Rahmen des Boden- und Gewässerschutzes ausfüllen. Im Kontext übergreifender Ansprüche werden nach Tabelle 2 zur Abgrenzung die acht Texturklassen vorgeschlagen.

### Material und Methoden

Die Auswahl für mineralische Feinböden/Feinsedimente nach Tabelle 1 beruht auf einer Literaturrecherche mit vergleichbaren Labormethoden.

**Tab. 1: Ausgewählte Korngrößenverteilungen**

Geltungsbereich	Fraktionierungen, Gemische	Klassifizierungen
Österreich	3 Fraktionierungen	4 bzw. 8 Bodenarten
England und Wales	n. b.	10 Texturklassen
Frankreich	3 Fraktionierungen	6 Texturgruppen
	2 Fraktionierungen	4 oder 6 Hauptklassen
Deutschland	7 Fraktionierungen	31/35 Bodenartenuntergruppen
	4 Gemische	4 bzw. 8 Bodenarten
Belgien und Luxemburg	7 Fraktionierungen	7 Texturklassen
Polen	3 Fraktionierungen	3 Bodenarten
Vorschlag für EU- weite Harmonisierung nach Tabelle 2	3 Fraktionierungen 1 Gemisch	8 Texturklassen

### Ergebnisse und Diskussion

Die Texturklassen in Tabelle 2 nach bestimmten Korngrößenanteilen (z. B. Ton und Feines) eröffnen mit dem zur Klarstellung des Gewollten ersatzweise geprägten Begriffes „pedologisches Kriterium“, Abgrenzungen naturbedingt benachteiligter Gebiete und zu prüfende regressionsanalytische Ansätze für Festlegungen reproduzierbarer durchschnittlicher Zielwerte wie z. B. Nährstoff- und Wassergehalte (Nestroy und Ulonska 2012). Zudem dienen praktikable visuell- taktile Feldschätzungen (Fingerprobe) mineralischer Feinböden/Feinsedimente über Texturklassen (Bodenarten) als Ergänzung zur labortechnischen Bestimmung für die

mehr als 4.000 Musterstücke der amtlichen Bodenschätzung nach Offenlegungsschrift (2009).

**Tab. 2:** Texturklassen als ausgewählte pedologische Kriterien zur Abgrenzung naturbedingt benachteiligter Gebiete

Kriterium	Begriffsbestimmung				Schwelle	
Unvorteilhafte Feintextur und Steinigkeit	Relative Häufigkeit fachrechts-, flußgebiets-, bodenfunktions-, nutzungsartenübergreifender, datenbankgerechter Texturklassen in der Rhizosphäre und organischer Substanzen (Masse-%) im nichtsynthetischen mineralischen Feinboden und -sediment (<2mm) sowie von Grobbodenanteilen (Volumen-%)				≥5% der Rhizosphäre aus mineralischem Grobboden (>2mm) einschließlich Felsenflächen, Geröll ODER	
	nichtsynthetische Anteile (mm)					
	Ton (T)	<0,002			Texturklasse T in der Rhizosphäre ODER	
	Feines (F)	<0,01				
	Schluff (U)	≥0,002- <0,63				
	Sand (S)	≥0,63- <2,0				
	Texturklassen in der Rhizosphäre (Masse-%)				eine Texturklasse: stark LT bis T in der Rhizosphäre ODER	
	Texturklasse	Ton	Feines	Schluff		Sand
	Sand (S)	≤ 5	<10	≤15	≥85	eine Texturklasse: S bis IS in der Rhizosphäre ODER
	anlehmiger Sand (SI)	≤ 8	≥10- <14	≤30	≥70- ≤95	
	lehmiger Sand (IS)	≤13	≥14- <19	<50	≥45- ≤92	
	stark lehmiger Sand (SL)	≤18	≥19- <24	≥50	≤50	
	sandiger Lehm (sL)	≥ 5- <18	≥24- <30	<50	≥32- ≤87	
	Lehm (L)	≥18- <30	≥30- <45	<82	<82	
	stark toniger Lehm (LT)	≥30- <45	≥45- <60	≤70	≤70	
Ton (T)	≥45	≥60	<55	≤55	organischer Boden (organische Substanzen ≥30 Masse-%) von mindestens 40cm	

### Literatur

Nestroy, O. und H.- J. Ulonska 2012: Die amtliche Bodenschätzung- Chancen und Risiken der Harmonisierung auf europäischem Maßstab. Die Bodenkultur 63/2, Wien (zum Druck eingereicht)

KOM 2011: Vorschlag der Europäischen Kommission für eine Verordnung ... für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) 627 endgültig/2: 1-156

Offenlegungsschrift 2009: Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Korngrößenverteilung in mineralischen Feinböden und mineralischen Feinsedimenten. Deutsches Patent- und Markenamt, München: 1-13.



## Zur Humusbilanz auf den humuszehrenden Flächen

Hendrik Sommer<sup>1</sup> und Günter Leithold<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für LifeAgriScience, Frankenberg; <sup>2</sup>Professur für organischen Landbau, Universität Gießen, Gießen. E-Mail: hendrik.sommer@escon-de.com

### Einleitung

Voraussetzung dafür, den Humusgehalt im Boden im Fließgleichgewicht zu erhalten, ist der Ausgleich des Humusnettoverlustes durch eine geeignete Humusersatzwirtschaft. Dabei gilt es, den Bedarf an organischen Düngern näherungsweise einzuschätzen, um auf diese Weise den mineralisierten Humus-N im Humuspool immer wieder zu ersetzen. Diese Situation wird als einfache Reproduktion bezeichnet, der Humusversorgungsgrad liegt dann bei 100 %. Die Unterscheidung im ackerbaulichen System zwischen humusmehrenden und humuszehrenden Kulturarten verdeutlicht, dass der Bedarf an organischen Düngern zur Humusersatzleistung humuszehrenden, weil bedürftigen Kulturarten zur Verfügung gestellt werden muss.

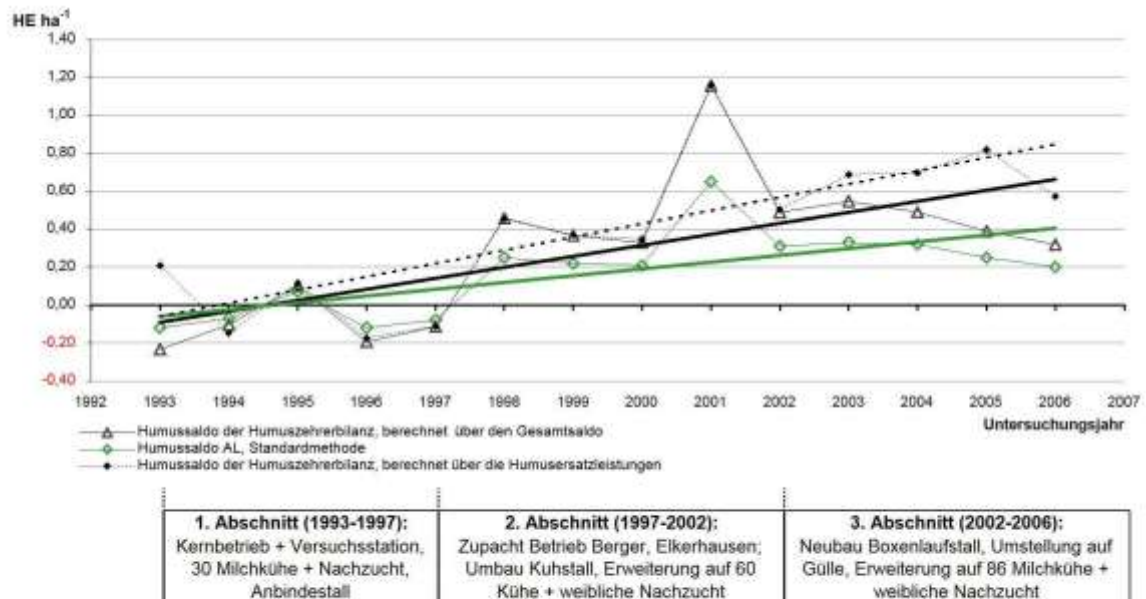
Die vorliegende Untersuchung soll einen Beitrag zur Klärung der Frage leisten, ob mittels der Humusbilanz auf den humuszehrenden Flächen eine Einschätzung der Humussituation der bedürftigen Kulturarten erfolgen kann. Insbesondere soll geklärt werden, ob der Bezug der Humusbilanz auf die humuszehrenden Flächen methodisch und erkenntnisbezogen einen höheren Aussagegehalt in Bezug auf die Humussituation liefern kann.

### Material und Methoden

Anhand der Entwicklung des Lehr- und Versuchsbetriebes der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gladbacherhof, im Zeitraum von 1993 bis 2006 wurde die Zunahme der Produktionsintensität beispielhaft analysiert, dargestellt und bewertet. Besonderer Ausdruck für die Intensitätssteigerung im Untersuchungszeitraum ist die gezielte Erhöhung des Rinderbesatzes auf ca. 1 GV/ha LF, verbunden mit einer Steigerung der Jahresmilchleistung auf annähernd 8.000 kg/Kuh. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde auch untersucht, welche Auswirkungen die betriebliche Entwicklung auf das Humusreproduktionsgeschehen hatte. Zur Anwendung kommt die Standardmethodik nach Leithold et al. (1997). Auf Grundlage der Bilanzierungsergebnisse wurde die Humusbilanz auf den humuszehrenden Flächen berechnet. Methodische Details finden sich bei Sommer (2010). Anhand der Humussalden konnte die Humusversorgung ermittelt werden.

### Ergebnisse und Diskussion

Der Saldo der humuszehrenden Flächen lag ca. um 0,20 HE höher als der Saldo des Ackerlandes (Abb. 1). Es war zu erkennen, dass der Humussaldo der humuszehrenden Flächen mit 0,07 HE ha<sup>-1</sup> stärker zugenommen hat als der Humussaldo des Ackerlandes mit 0,035 HE ha<sup>-1</sup>. Es konnte gezeigt werden, dass die Humusversorgung der humuszehrenden Flächen tendenziell der Humusversorgung des Ackerlandes folgt. Bezogen auf den gesamten Untersuchungszeitraum stieg die Humusversorgung der humuszehrenden Flächen jedoch jährlich um 6 Prozentpunkte, während dazu im Vergleich für das Ackerland ein Wachstum von 4 Prozentpunkten pro Jahr nachgewiesen werden konnte.



#### Lineare Regressionsanalysen:

HE-Saldo der Humuszehrerbilanz, Gesamtsaldo  
 HE-Saldo der Humuszehrerbilanz, Humusersatz  
 HE-Saldo der AL, Standardmethode

$$y = 0,056x - 0,1489, r^2=0,4232$$

$$y = 0,0699x - 0,1308, r^2=0,5616$$

$$y = 0,0356x - 0,0945, r^2=0,4708$$

**Abb. 1:** Entwicklung der Humussalden (HE ha<sup>-1</sup>) der humuszehrenden Flächen des Gesamtbetriebssystems im Untersuchungszeitraum 1993–2006 im Vergleich zur Entwicklung der Humussalden des Ackerlandes (berechnet mit der Standardmethode).

Die Bilanz der humuszehrenden Flächen hat sich damit als ausgezeichnetes Mittel erwiesen, um die Humusversorgung auf den humuszehrenden Flächen abzubilden. Es konnte gezeigt werden, dass die Humussalden der humuszehrenden Flächen für die Jahre, in denen negative Salden der Humusbilanz berechnet worden sind, stärker negativ waren. Auf diesen Flächen herrschte – im Vergleich zum Durchschnitt des Ackerlandes – ein schlechterer Versorgungsgrad. Für die Jahre, in denen die Humusversorgung der Ackerflächen insgesamt ausreichend war, zeigte die Bilanz der humuszehrenden Flächen einen deutlich höheren Humussaldo auf den humuszehrenden Flächen an.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, wie wichtig die Einschätzung der Humusersatzleistungen auf den humuszehrenden Flächen ist, weil die Ertragskraft dieser Kulturarten in proportionaler Beziehung zum Humusgehalt des Bodens steht (vgl. z.B. Hülsbergen 2002). Die größere Spanne der Bilanzsalden liefert mehr Informationen über die innerbetriebliche Differenziertheit.

#### Literatur

- Hülsbergen, K.-J. (2002): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitationsschrift. Shaker Verlag, Aachen, veröffentlicht 2003.
- Leithold, G.; K.-J. Hülsbergen; D. Michel und H. Schönmaier (1997): Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar- Umweltindikator. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.). Initiativen zum Umweltschutz 5, Umweltverträgliche Pflanzenproduktion, Zeller Verlag Osnabrück, 5, 43–54.
- Sommer, H. (2010): Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen. Verlag Dr. Köster, Berlin.

## Kurzfristige Effekte von Gärresten auf mikrobiologische Indikatoren der Bodenqualität unter Berücksichtigung verschiedener Grasarten

Meike Andruschkewitsch<sup>1</sup>, Christine Wachendorf<sup>2</sup> und Michael Wachendorf<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, 37213 Witzenhausen

<sup>2</sup> Universität Kassel, Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung, 37213 Witzenhausen  
E-Mail: m.andruschkewitsch@uni-kassel.de

### Einleitung

Neben den standortspezifischen Klimafaktoren und der Bewirtschaftungsweise ist die Bodenqualität maßgebend für die Bodenfruchtbarkeit im Sinne der Ertragsfähigkeit des Grünlandes. Als Voraussetzungen für eine optimale sekundäre Bodenstruktur sind unter anderem die Zufuhr von organischem Material und eine hohe mikrobielle Biomasse sowie mikrobielle Aktivität zu nennen (Ottow 2011). Die mikrobielle Aktivität im Boden ist primär von der Versorgung mit organischer Substanz, der Bodenfeuchte und –temperatur abhängig. Ebenso spielt eine intensive Wurzelbiomassebildung und Rhizodeposition eine Rolle (O'Donell 2000). Ziel dieser Untersuchung war es daher, die Effekte zweier im C-Gehalt variierender Gärreste auf mikrobielle Indikatoren der Bodenqualität unter Berücksichtigung verschiedener Grasarten zu untersuchen.

### Material und Methoden

In einem fünfmonatigen Gefäßversuch mit einer Dreischnittnutzung von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*), Ausläufer-Rotschwingel (*Festuca rubra rubra*) und Goldhafer (*Trisetum flavescens*) wurden die Effekte von Gärresten unterschiedlichen C-Gehaltes auf den organischen Boden C Gehalt ( $C_{org}$ ), den mikrobiellen Biomasse C-Gehaltes ( $C_{mik}$ ) des Bodens, die mikrobielle Aktivität ( $CO_2$ -Emission) sowie den metabolischen Quotienten ( $qCO_2$ ) eines lehmigen Sandes in Abhängigkeit von verschiedenen Gärresten und  $N_{min}$ -Applikationsraten (0, 10 und 20 g  $N_{min} m^{-2}$ ) nach dem dritten Schnitt untersucht. Die  $CO_2$ -Emission wurde als Basalrespiration (WHK 60%, Temp. 22°C) gemessen.  $qCO_2$  gibt Auskunft über den pro Biomasse- und Zeiteinheit veratmeten C und ist ein Maß für die Effizienz der mikrobiellen Umsatzleistungen. Appliziert wurden (i) ein durch mechanische Separierung an C abgeeeicherter Gärrest aus Grünlandsilagepresssaft aus dem Verfahren „Integrierte Festbrennstoffe und Biogas aus Biomasse“ (IFBB) (TM 1,4 [% d. FM];  $C_{org}$  24,8 [% d. TM];  $NH_4^+$  6,3 [% d. TM];  $C_{org}/N_{org}$  9,7) und (ii) ein Gärrest aus der Ganzpflanzenvergärung (GPV) (TM 11,3 [% d. FM];  $C_{org}$  34,8 [% d. TM];  $NH_4^+$  4,6 [% d. TM];  $C_{org}/N_{org}$  14,6).

### Ergebnisse und Diskussion

Für den  $C_{org}$ -Gehalt des Bodens konnte kein signifikanter Effekt der Gärrestapplikation oder Grasart nach dem dritten Schnitt (105 Tage nach Gärrestapplikation) festgestellt werden (Tabelle 1 und 2). Für die mikrobiologischen Indikatoren  $CO_2$ -Emission,  $C_{mik}$ -Gehalt und  $qCO_2$  erklärte der Faktor Grasart den größten Anteil an der Varianz (Tabelle 2). So ergab sich für die  $CO_2$ -Emission ein signifikanter Unterschied zwischen allen Arten (*L. perenne* < *F. rubra rubra* < *T. flavescens*). Dennoch konnte für den Kohlenstoff reicheren Gärrest GPV eine signifikant höhere  $CO_2$ -Emission als für IFBB festgestellt werden. Für  $C_{mik}$  wurden für *T. flavescens* signifikant höhere Werte als bei den anderen Arten festgestellt. IFBB zeigte bei  $N_{min}$ -Applika-

tionsrate 10 niedrigere  $C_{\text{mik}}$  Werte und bei 20 höhere als GPV, im Mittel ergab sich jedoch kein Unterschied zwischen den Gärresten. Für  $q\text{CO}_2$  konnten signifikant niedrigere Werte für die gedüngten Böden gegenüber der Kontrolle festgestellt werden, was auf eine Effizienzsteigerung der mikrobiellen Umsatzleistungen durch Gärrestdüngung hindeutet. Es konnten für *F. rubra rubra* signifikant höhere Werte als für *L. perenne* festgestellt werden. IFBB zeigte bei  $N_{\text{min}}$ -Applikationsrate 10 höhere  $q\text{CO}_2$  Werte und bei Rate 20 niedrigere Werte als GPV.

Tab. 1: Mittelwerte der untersuchten mikrobiologischen Indikatoren für Bodenqualität nach Gärrestdüngung in einem Gefäßexperiment mit *L. perenne* (n=4), *T. flavescens* (n=3) und *F. rubra rubra* (n=3), Standardabweichung in Klammern.

Grasart	$N_{\text{min}}$ g m <sup>-2</sup>	Gärrest	$C_{\text{org}}$ g/kg	$\text{CO}_2$ µg CO <sub>2</sub> -C g <sup>-1</sup> TM Tag <sup>-1</sup>	$C_{\text{mik}}$ mg/kg	$q\text{CO}_2$ µg CO <sub>2</sub> -C Tag <sup>-1</sup> (mg $C_{\text{mik}}$ ) <sup>-1</sup>
<i>L. perenne</i>	0		9,2 (±0,5)	14,5 (±1,9)	168,6 (±40,1)	88,8 (±17,7)
	10	IFBB	9,4 (±0,7)	10,8 (±1,4)	144,8 (±25,2)	77,3 (±19,9)
		GPV	9,1 (±0,3)	13,5 (±1,3)	188,5 (±4,5)	71,7 (±8,1)
	20	IFBB	9,4 (±0,2)	12,5 (±0,2)	202,1 (±8,0)	62,0 (±2,0)
GPV		9,5 (±0,5)	13,9 (±1,2)	157,4 (±29,2)	80,6 (±13,5)	
<i>T. flavescens</i>	0		9,8 (±0,3)	24,7 (±1,6)	204,8 (±16,2)	121,0 (±9,8)
	10	IFBB	9,4 (±0,3)	19,9 (±0,6)	214,1 (±22,2)	93,6 (±8,5)
		GPV	9,6 (±0,2)	20,8 (±1,9)	256,5 (±24,1)	81,3 (±5,1)
	20	IFBB	10,2 (±0,6)	17,2 (±1,2)	251,6 (±45,0)	70,0 (±13,8)
GPV		10,0 (±0,1)	20,8 (±1,6)	236,0 (±22,3)	88,9 (±12,2)	
<i>F. rubra rubra</i>	0		8,9 (±0,1)	17,3 (±1,5)	189,8 (±10,8)	91,1 (±4,3)
	10	IFBB	9,4 (±0,1)	16,3 (±1,0)	177,4 (±19,2)	92,6 (±8,1)
		GPV	10,5 (±1,6)	18,7 (±3,2)	194,0 (±24,4)	96,7 (±11,5)
	20	IFBB	9,7 (±0,8)	14,1 (±1,5)	171,6 (±38,7)	84,3 (±13,9)
GPV		9,9 (±0,4)	17,0 (±2,2)	195,3 (±2,4)	86,9 (±11,9)	

Tab. 2: Ergebnisse der ANOVA mit den Faktoren  $N_{\text{min}}$ -Applikationsrate (N: 10 und 20 g  $N_{\text{min}}$  m<sup>-2</sup>), Gärrestvariante (G: IFBB, GPV) und Grasart (A: *L. perenne*, *F. rubra rubra*, *T. flavescens*). Classical eta squared (eta) gibt den Anteil des Faktors an der Gesamtvariation ( $R^2$ ) an. Signifikanzniveau  $P=0,05$ .

	Df	$C_{\text{org}}$		$\text{CO}_2$		$C_{\text{mik}}$		$q\text{CO}_2$	
		P	eta	P	eta	P	eta	P	eta
N	1	0,3	0,03	0,2	0,00	0,2	0,02	0,1	0,05
G	1	0,4	0,02	<b>&lt;0,001</b>	0,11	0,1	0,03	0,2	0,03
A	2	0,1	0,14	<b>&lt;0,001</b>	0,70	<b>&lt;0,001</b>	0,51	<b>&lt;0,01</b>	0,26
NxG	1	0,4	0,01	0,7	0,00	<b>&lt;0,01</b>	0,08	<b>&lt;0,05</b>	0,11
NxA	2	0,4	0,04	<b>&lt;0,05</b>	0,04	0,4	0,02	0,8	0,01
GxA	2	0,3	0,06	0,9	0,00	0,8	0,00	0,9	0,00
NxGxA	2	0,3	0,05	0,3	0,01	0,1	0,05	0,2	0,06
$R^2$			0,35		0,86		0,71		0,52

## Literatur

- Ottow J.C.G. 2011 Mikrobiologie von Böden. Biodiversität, Ökophysiologie und Metagenomik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- O'Donnell A.G., Seasman M., Macrae A., Waite I. & Davies J.T. 2001 Plants and fertilisers as drivers of change in microbial community structure and function in soils. Plant and Soil 232:135-145

## **Einfluss von Biokohle auf das Keimverhalten verschiedener Unkräuter und Kulturpflanzen**

Graeff, S., Präger, A., Duchon, B., Kohler, C., Füger, M. und Claupein, W.

<sup>1</sup>Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart;  
E-Mail: simone.graeff@uni-hohenheim.de

### **Einleitung**

Die Ausbringung von Biokohle auf landwirtschaftliche Flächen wird aktuell als interessante Möglichkeit zur Kohlenstoffspeicherung und damit als potenzieller Beitrag für den Klimaschutz diskutiert. Während in vielen Studien bereits gezeigt werden konnte, dass sich Biokohle in unterschiedlichster Weise auf die Nährstoffverfügbarkeit, Wasserhaltekapazität oder Sauerstoffverfügbarkeit in Böden sowie auf die Erträge einzelner Kulturpflanzen auswirkt, gibt es bislang wenige Untersuchungen, die einen möglichen Einfluss unterschiedlicher Biokohlen (Herstellungsverfahren und Ausgangsmaterial) auf das Keimverhalten von Unkräutern und Kulturpflanzen untersuchen.

### **Material und Methoden**

Zur Prüfung möglicher Auswirkungen von Biokohle aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien und Herstellungsverfahren auf die Keimung verschiedener Unkräuter und Kulturpflanzen, wurde ein Keimversuch über 45 Tage mit vier Unkrautarten (*Alopecurus myosuroides*, *Lamium purpureum*, *Veronica persica*, *Stellaria media*) und drei Kulturarten (*Triticum aestivum* L., *Brassica alba*, *Brassica napus*), drei Biokohlen (Buchenholzkohle aus Schnellpyrolyse, Fichtenholzkohle aus HTC, Birtreberkohle aus HTC) in jeweils vier Aufwandmengen (0, 25, 50, 100 T ha<sup>-1</sup>), im Gewächshaus angelegt. Pro Topf wurden 40 Samen ausgesät. Die Saattiefe variierte je nach Pflanzenart. Als Substrat diente gesiebte Fildererde mit einer maximalen Korngröße von 5 mm, die vor Anlegen des Versuchs 24 h im Trockenschrank bei 105 °C verweilte, um eine vollständige Sterilisation zu erreichen. Über 45 Tage wurden in regelmäßigen Abständen die Anzahl der gekeimten Pflanzen bzw. die absolute Keimrate, der Keimbeginn sowie die Keimgeschwindigkeit ermittelt. Der Versuch wurde mittels einer dreifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) mit anschließendem Tukey-Test statistisch ausgewertet.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass ein Einfluss von Biokohleart (Ausgangsmaterial und Herstellungsverfahren) sowie der Aufwandmenge bestand. Durch steigende Biokohlezugaben (Buchenholz- und Birtreberkohle) wurde bei *Alopecurus myosuroides* eine Abnahme der Keimrate von 25 % auf 12 bzw. 5 % beobachtet. Vergleichbare Auswirkungen auf die Keimrate konnten auch bei *Lamium purpureum* und bei *Brassica napus*, bei steigendem Niveau von Buchenholz- und Birtreberkohle beobachtet werden. Demnach ist eine Unterdrückung von *Alopecurus myosuroides* und *Lamium purpureum* mit den aufgeführten Biokohlearten denkbar und kann möglicherweise eine interessante Alternative zum Herbizideinsatz darstellen. Bei *Veronica persica* konnte dagegen in diesem Versuch eine stimulierende Wirkung der Biokohle auf die absolut gekeimten Samen beobachtet werden, so dass die geprüften Unkräuter und Kulturpflanzen in der Summe sehr unterschiedlich auf die Anwendung von Biokohle reagierten. Während bei einigen Arten eine reduzierte Keimfähigkeit verzeichnet werden konnte, wurden andere Arten in ihrer Keimung bei geringer Aufwandmenge aller Kohlearten stimuliert (Tabelle 1). Geringere Biokohleanteile bis 50 T ha<sup>-1</sup> aller Arten wirkten stimulierend auf die Keimrate von *Brassica alba*, ebenso wie höhere Anteile ab 50 T

ha<sup>-1</sup> Fichtenkohle aus HTC auf die Keimrate von *Alopecurus myosuroides*. Bei *Stellaria media* konnte unter Zugabe von 25 T ha<sup>-1</sup> Buchenkohle eine Steigerung der Keimrate beobachtet werden, höhere Gaben wirkten sich wiederum negativ auf die Keimrate aus.

Tabelle 1: Keimraten der geprüften Unkräuter und Kulturpflanzen in Abhängigkeit der Biokohle und der Aufwandmenge (MW, n=3).

	Keimrate [%] Buchenholzkohle Pyrolyse			
	0 T ha <sup>-1</sup>	25 T ha <sup>-1</sup>	50 T ha <sup>-1</sup>	100 T ha <sup>-1</sup>
<i>Alopecurus myosuroides</i>	25,0	11,67	10,83	5,0
<i>Lamium purpureum</i>	7,5	1,67	1,67	2,5
<i>Veronica persica</i>	0	0	0	0,83
<i>Stellaria media</i>	3,33	8,33	1,67	1,67
<i>Triticum aestivum</i> L.	92,5	65,0	66,67	47,5
<i>Brassica napus</i>	95,0	74,17	54,17	8,33
<i>Brassica alba</i>	25,0	63,33	40,0	9,17
	Keimrate [%] Fichtenkohle HTC			
<i>Alopecurus myosuroides</i>	25,0	18,33	28,33	25,83
<i>Lamium purpureum</i>	7,5	0,83	10,83	1,67
<i>Veronica persica</i>	0	0,83	23,33	23,33
<i>Stellaria media</i>	3,33	2,5	3,33	0
<i>Triticum aestivum</i> L.	92,5	44,17	80,0	68,33
<i>Brassica napus</i>	95,0	44,17	72,5	67,5
<i>Brassica alba</i>	25,0	37,5	33,33	21,67
	Keimrate [%] Biertreberkohle HTC			
<i>Alopecurus myosuroides</i>	25,0	15,0	12,5	12,5
<i>Lamium purpureum</i>	7,5	2,5	1,67	0,83
<i>Veronica persica</i>	0	2,5	4,17	1,67
<i>Stellaria media</i>	3,33	4,17	1,67	0
<i>Triticum aestivum</i> L.	92,5	67,5	65,83	84,17
<i>Brassica napus</i>	95,0	85,0	70,0	70,83
<i>Brassica alba</i>	25,0	29,17	69,17	30,0

In Studien von Busch et al. (2011) wurden bei Anwendung von Biokohle (Pyrolyse) aus Erdnussschalen und Hydrokohle aus Rote Beete-Schnitzel die Keimrate von *Lactuca sativa* und *Hordeum vulgare* wurde schon bei Anwendung geringer Mengen Biokohle gehemmt, was sich mit den Ergebnissen dieser Studie deckt. Die Ergebnisse zeigen allerdings auch, dass die geprüften Unkräuter und Kulturpflanzen unterschiedlich auf die Biokohlearten und Aufwandmengen reagierten. In weiteren Studien gilt es daher nun die ideale Kombination an Biokohle, optimaler Aufwandmenge und Pflanzenart zu ermitteln, um negative Auswirkung auf die Keimung von Kulturpflanzen zu vermeiden bzw. andererseits die keimhemmende Wirkung einzelner Biokohlen zur Unterdrückung von Unkräutern gezielt zu nutzen.

## Literatur

Busch, D., C. Kammann; L., Grünhage und C. Müller (2011): Simple biotoxicity tests for evaluation of carbonaceous soil additives: Establishment and reproducibility of four test procedures, Journal of Environmental Quality, 40:1–10, doi:10.2134/jeq2011.0122.

## **Einfluss des Saattermins auf die Dauer phänologischer Entwicklungsstadien von Mais und Sonnenblumen in Zweikulturnutzungssystemen zur Energiepflanzenerzeugung**

Rüdiger Graß, Reinhold Stülpnagel und Michael Wachendorf

Universität Kassel, FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen. E-Mail: grass@wiz.uni-kassel.de

### **Einleitung**

Im Rahmen des Anbaus von Pflanzen zur energetischen Verwertung in Biogasanlagen nimmt seit Jahren der Anbau von Silomais zu. Derzeit dominiert dieser den Energiepflanzenanbau mit einem Flächenanteil von ca. 80 %, was in 2011 einem Anbauumfang von ca. 700.000 ha entsprach. In herkömmlichen Anbausystemen sind mit dem Maisanbau häufig Umweltgefährdungen und Anbauprobleme verbunden, besonders Bodenerosion und Nährstoffauswaschung. Diese könnten sich bei weiter zunehmendem Maisanbau ebenso wie Probleme zunehmender Schädlinge und Krankheiten verstärken. Ferner könnte der prognostizierte Klimawandel mit der damit verbundenen Zunahme von Starkregenereignissen das Problem der Bodenerosion verstärken. Die prognostizierte Zunahme von intensiven Trockenheitsphasen könnte wiederum zu Ertragseinbußen führen. In den letzten Jahren ist in der landwirtschaftlichen Praxis bereits ein vermehrtes Auftreten dieser Ereignisse zu beobachten. Dies wirkt sich sowohl ökologisch als auch ökonomisch um so stärker aus, wenn sich auf den Anbau einer Pflanzenart fixiert wird, wie das beim Energiepflanzenanbau mit dem Mais derzeit der Fall ist. Daher werden zunehmend alternative Anbausysteme und Pflanzenarten zum bisherigen Maisanbau erforscht und weiterentwickelt, wie z.B. Zweikulturnutzungssysteme. Diese beinhalten den Anbau und die Ernte von zwei Kulturen in einem Jahr. Dabei werden winterharte Pflanzen als Erstkultur im Herbst ausgesät und im Zeitraum Ende Mai/Anfang Juni geerntet. Direkt im Anschluss wird nach reduzierter Bodenbearbeitung (Mulch- oder Direktsaat) eine Sommerung als Zweitkultur gesät. Diese Sommerungen werden dabei vier bis sechs Wochen später als in herkömmlichen Anbausystemen gesät. Dabei wachsen sie unter anderen Tageslängenbedingungen als bei der früheren Aussaat heran. Dies wirkt sich auf die Pflanzenentwicklung aufgrund der photoperiodischen Sensibilität von Pflanzen aus und beeinflusst die Dauer von vegetativer und generativer Entwicklung. Zweitkulturen weisen bisher häufiger relativ geringe TM-Gehalte zur Ernte auf bzw. erreichen die angestrebten Entwicklungsstadien zur Ernte aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Vegetationszeit nicht. Daher bildet die Kenntnis der Dauer von vegetativer und generativer Phase sowie der photoperiodischen Dynamik eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung innovativer Anbausysteme.

### **Material und Methoden**

An sieben Standorten in Deutschland wurden in den Erntejahren 2006-2008 Zweikulturnutzungssysteme mit Mais und Sonnenblumen als Zweitkulturen nach den Erstkulturen Rüben, Roggen und Roggen-Wintererbsen-Gemenge untersucht. Die Zweitkulturen wurden im Zeitraum Ende Mai bis Mitte Juni gesät. Vergleichend dazu wurden Mais und Sonnenblumen als Hauptkulturen im Zeitraum Mitte bis Ende April nach abgefrorenem Senf als Zwischenfrucht ausgesät. Der Versuch wurde mit zwei Wiederholungen in einem split-plot Design angelegt, mit den Erstkulturen bzw. der

Zwischenfrucht als Großteilstückfaktor und den Zweit- bzw. Hauptkulturen als Kleinteilstückfaktor. Die Bestandesentwicklung der Sommerungen wurde wöchentlich durch Bestimmung der BBCH-Stadien erfasst. Dadurch konnten die Zeitspannen der vegetativen Phase von der Aussaat bis Blühbeginn (BBCH 61) und der generativen Phase von Blühbeginn bis Beginn Milchreife erfasst werden.

### **Ergebnisse und Diskussion**

An den meisten Standorten dauerte die vegetative Phase bei den Zweikulturnutzungsvarianten kürzer als bei den vergleichend untersuchten Hauptkulturvarianten. Am Standort Dornburg benötigte z.B. Mais als Zweitkultur durchschnittlich 49 Tage von der Saat bis zum BBCH 61 während der Mais im Hauptfruchtanbau 83 Tage benötigte. Dabei war die Streuung bei den Zweitkulturen höher. Bei der Dauer der generativen Phase waren die Unterschiede zwischen Zweitkultur- und Hauptfruchtanbau nicht so ausgeprägt. Bei den Zweitkulturen wurden leicht höhere Mittelwerte verzeichnet, während die Streuung bei den Hauptkulturen meistens höher war.

Pflanzen sind bereits mit dem Erscheinen des Keimblattes photoperiodisch sensibel. Mais und Sonnenblumen werden als eher fakultative Kurztagpflanzen eingestuft. Bei der Aussaat Mitte bis Ende April herrschen Kurztagsbedingungen vor, während bei Saat und Aufgang der Zweitkulturen Langtagbedingungen (Tageslänge > 11 h) herrschen. Kurztagpflanzen reagieren auf Langtageinfluss während der vegetativen Phase mit einer verlängerten Entwicklung und Ausdehnung dieser Phase. Das kann durch die vorliegenden Ergebnissen nicht bestätigt werden. Dies ist vermutlich in den Zeitpunkten der Datenerhebung begründet. Statt der Erfassung des Aussaattermins wäre die Erfassung des Feldaufganges der geeignete Termin gewesen. Denn zwischen beiden können besonders im Hauptfruchtanbau Zeitspannen von mehreren Wochen liegen. Diese Spanne stellt eine unproduktive Periode dar, wo biologische Faktoren wie Einstrahlung und Licht nicht für das Pflanzenwachstum genutzt werden können. Bei den Zweikulturnutzungssystemen wachsen zu diesen Zeitpunkten die Erstkulturen und nutzen diese Faktoren. Die Zweitkulturen laufen aufgrund höherer Bodentemperaturen nach der Aussaat schneller auf, so dass unproduktive Zeitspannen vermieden werden. Allerdings darf die Zweitkultursaat nicht zu spät erfolgen, da im Herbst die Vegetationszeit zur Abreife begrenzt ist. Bei der Aussaat Mitte Juni wurde das zur Ernte angestrebte Entwicklungsstadium nicht erreicht. Daher sollten für eine Spätsaat geeignete Zweitkultursorten nach einer intensiven vegetativen Phase eine kurze generative Phase haben, um zur Abreife zu kommen. Graß (2003) berichtet von erheblichen Sortenunterschieden hinsichtlich der generativen Entwicklung unter Spätsaatbedingungen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, wofür die erhobenen Daten zur Dauer der Entwicklungsperioden wichtige Erkenntnisse liefern. Die Kenntnis dieser Dynamiken ist für die Weiterentwicklung produktiver und umweltgerechter Anbausysteme elementar.

Die Untersuchungen wurden durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert.

### **Literatur**

Graß, R. 2003: Direkt- und Spätsaat von Silomais – Ein neues Anbausystem zur Reduzierung von Umweltgefährdungen und Anbauproblemen bei Optimierung der Erträge. Dissertation Universität Kassel, Cuvillier Verlag.



## Erhalt der Biodiversität von Naturschutzgrünland durch eine dezentrale energetische Verwertung der Biomasse

Frank Hensgen, Lutz Bühle und Michael Wachendorf

Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen. E-Mail: hensgen@uni-kassel.de

### Einleitung

Extensiv genutzte Grünlandbiotope sind Brennpunkte der Biodiversität und häufig unter dem Schutzregime der Flora-Fauna-Habitatrichtlinie der EU. Für den Erhalt der Biodiversität dieser Standorte ist eine regelmäßige späte Nutzung durch Schnitt oder Beweidung notwendig. Im PROGRASS-Projekt wurden in Deutschland, Wales und Estland auf 18 Standorten extensiv genutzten Grünlands eine späte Schnittnutzung durchgeführt, um die so gewonnene Biomasse zur Energiegewinnung nach dem IFBB-Verfahren (Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse, Wachendorf et al., 2009) zu nutzen und den Effekt dieser Nutzung auf die Vegetation zu untersuchen.

### Material und Methoden

Es wurden pro Fläche 3 Parzellen (jeweils 100m<sup>2</sup>) 1-2 jährlich zu einem späten Termin (nach dem 01.07.) geschnitten. Auf den Flächen in Deutschland (Vogelsberg) wurden zusätzlich je 3 gedüngte Parzellen (Rückführung von 50% des durch Ernte entzogenen Stickstoffs durch Gärrest) und eine Mulchparzelle (jeweils 100m<sup>2</sup>) analysiert. Die Vegetationsaufnahmen fanden einmal jährlich vor dem ersten Schnitt statt. Die Aufnahme fläche umfasste einen 5 x 5 m Ausschnitt des jeweiligen Plots. Die Aufnahme wurde nach der Methode Braun-Blanquet (1964) durchgeführt. Vorkommen und Bedeckungsgrade für jede Pflanzenart und für die funktionellen Gruppen Süßgräser, Sauergräser, Leguminosen sowie andere Krautartige sind aufgenommen worden. Unter Zuhilfenahme der Zeigerwerte nach Ellenberg für die Standortfaktoren Licht, Temperatur, Feuchte, Reaktion und Nährstoffe wurde unter Einbeziehung der Bedeckungsgrades der jeweiligen Pflanzenart ein mittlerer „Ellenberg- Standortzeigerwert“ für jede Probestfläche berechnet nach der Formel:

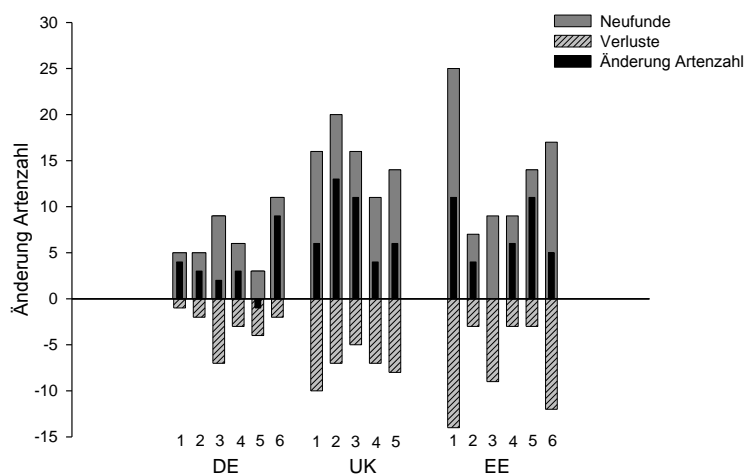
$$mZ = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i \cdot Z_i)}{\sum_{i=1}^n B_i}$$

Mit:

mZ: mittlerer Zeigerwert; B<sub>i</sub>: Bedeckungsgrad der Art i; Z<sub>i</sub>: Zeigerwert der Art i

Varianzanalysen der berechneten mittleren Zeigerwerte mit den Faktoren Management (gedüngt, ungedüngt, gemulcht) und Jahr (2010, 2011) wurden durchgeführt, um die Wirksamkeit unterschiedlicher Dünge- und Managementvarianten auf die Standortbedingungen zu untersuchen. Die Veränderung der Bedeckungsgrade der funktionellen Gruppen wurde ebenfalls mit Varianzanalysen untersucht.

## Ergebnisse und Diskussion



**Abb. 1:** Neufunde, Verluste und Änderung der Artenzahlen auf 18 Untersuchungsflächen in Deutschland (Vogelsberg, DE), Wales (UK) und Estland (EE) in den Jahren 2009-2011

Die Netto-Artenzahl der höheren Pflanzen auf den ungedüngten Flächen wies von 2009 bis 2011 auf 15 von 18 Flächen einen Zuwachs auf (Abb. 1). Die stärksten Zunahmen konnten auf den Waliser Flächen und in Estland erzielt werden, während sich die Änderungen auf den Vogelsberger Flächen auf einem niedrigerem Niveau abspielten. Die vor dem Experiment sehr artenarme, von *Scirpus sylvatica* dominierte Feuchfläche (DE 6) wies eine starke Zunahme der Artenzahlen auf. Arten der deutschen Roten Liste konnten auf allen 6 Flächen im Vogelsberg gefunden werden (Vorwarnliste und Kategorie 3 (gefährdet)), die Anzahl auf den einzelnen Parzellen variierte zwischen 1 und 14 Rote-Liste-Arten. In der Tendenz führte die 1 bis 2-schnittige späte Mahd zu einer Änderung in der Artenzahl der Rote-Liste-Arten von -1 bis 4, auf den Mulchflächen von -3 bis 0 Arten.

Die Varianzanalysen zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den ungedüngten, gedüngten und gemulchten Varianten in den Bedeckungsgraden der funktionellen Gruppen. Auf allen Flächen konnte ein Rückgang des Bedeckungsgrades im Jahre 2011 beobachtet werden, wobei auf den Mulchflächen der Rückgang der Süßgräser deutlich schwächer ausfiel als auf den Flächen mit Biomasseentzug (-3 bzw. -8 und -10%).

Bezüglich der berechneten mittleren Ellenberg Faktoren für Temperatur, Licht, Feuchte, Reaktionszahl und Nährstoffzahl ließen sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten nachweisen. Veränderungen in der Artenzusammensetzung finden über einen längeren Zeitraum statt. Daher werden die beschriebenen Versuche und Vegetationsaufnahmen über den zeitlichen Projektrahmen des EU-Life+ Projektes PROGRASS hinaus fortgeführt werden.

### Literatur

- Braun-Blanquet, J. 1964: Pflanzensoziologie. Springer Verlag, Wien.
- Wachendorf, M.; F. Richter; T. Fricke, R. Graß und R. Neff, 2009. Utilization of seminatural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. I. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances, Grass and Forage Science. 64, 132–143.

## **Ober- und unterirdische Biomasseleistung von Agroforstsystemen in der Versuchsstation Scheyern (Bayern)**

Julia Huber<sup>1</sup>, Karl-Heinz Häberle<sup>2</sup>, Helmut Blascke<sup>2</sup>, Harald Schmid<sup>1</sup> und Kurt-Jürgen Hülsbergen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising. julia.huber@wzw.tum.de; <sup>2</sup>Lehrstuhl für Ökophysiologie der Pflanzen, TUM, Freising

### **Einleitung**

In Agroforstsystemen wird die landwirtschaftliche Produktion mit dem Anbau von Bäumen oder Sträuchern auf derselben Fläche kombiniert. Agroforstsysteme haben in den Tropen und Subtropen große Bedeutung; sie waren früher auch in Mitteleuropa weit verbreitet. In Deutschland stehen gegenwärtig vor allem Agroforstsysteme mit schnellwachsenden Baumarten zur Energienutzung im Mittelpunkt der Forschung. Mit Agroforstsystemen werden eine erhöhte Gesamtproduktivität durch Synergieeffekte wie Windschutz, Erosionsschutz und Humusanreicherung sowie Ökosystemleistungen wie Gewässerschutz und Erhöhung der Biodiversität angestrebt. Eine der zentralen ökologischen Fragen ist das Potenzial der C-Bindung in Agroforstsystemen; hierbei ist insbesondere der Einfluss der ober- und unterirdischen Biomassebildung, der Wurzeleistungen und Wurzelarchitektur verschiedener Baumarten zu analysieren.

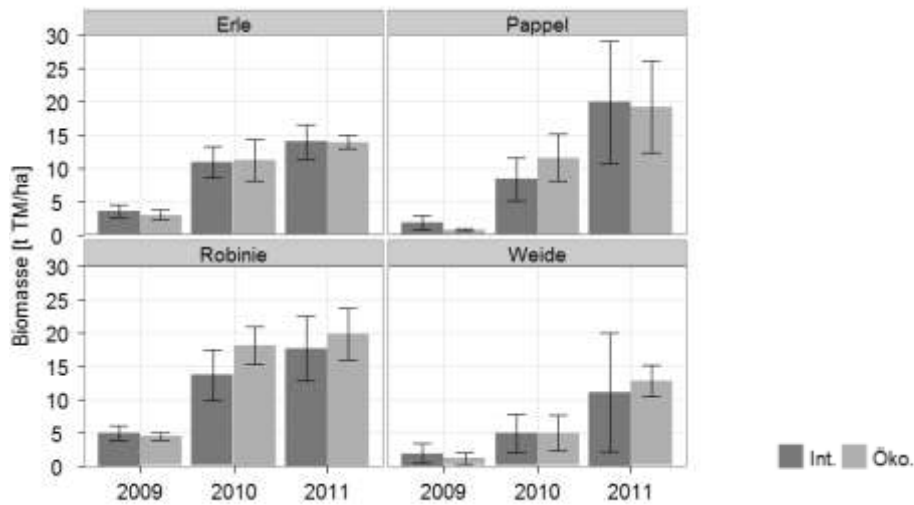
### **Material und Methoden**

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 silvoarable Agroforstsysteme mit den Baumarten Pappel, Weide, Erle, Robinie und Gehölzmischungen zur energetischen Nutzung (4 Jahre Umtriebszeit) und den Fruchtfolgen (a) Kartoffeln – Winterweizen – Mais – Winterweizen (integrierter Landbau) und (b) Klee gras – Kartoffeln – Winterweizen – Sonnenblumen – Klee gras – Winterweizen – Winterroggen (ökologischer Landbau) analysiert. Die Fruchtfolgen existieren bereits seit 1992, so dass unterschiedliche Bedingungen zu Versuchsbeginn bestanden (z.B. Nährstoffgehalte der Böden). Unter Berücksichtigung von Schlaggeometrie und Relief sind jeweils 6 Reihen Gehölzstreifen abwechselnd mit 30 m Ackerfläche in dreifacher Wiederholung angeordnet. Untersuchungsschwerpunkte sind die Biomasseentwicklung, die Wurzelbiomasse und -architektur, die Ertragsbildung der ackerbaulichen Kulturen, Interaktionen zwischen Baumstreifen und Ackerkulturen. Die Ertragsermittlungen der Baumarten erfolgen auf der Basis der gemessenen Stammdurchmesser über Schätzgleichungen. Die unterirdische Biomasse wird anhand der Wurzelarchitektur und Feinwurzelparameter bewertet.

### **Ergebnisse und Diskussion**

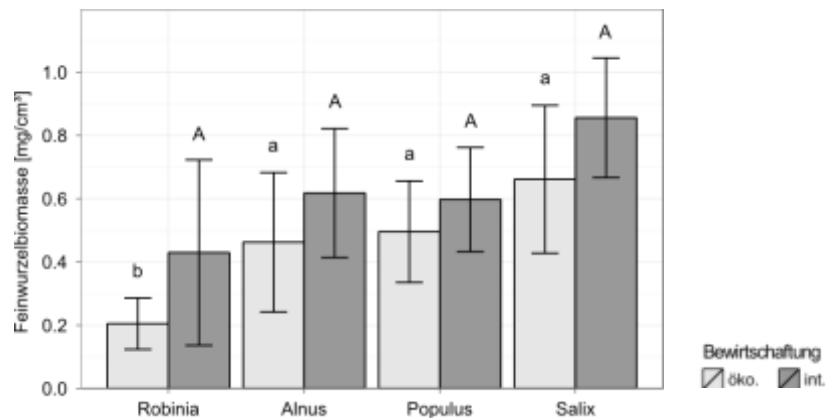
Nach drei Jahren wiesen Pappel und Robinie die höchste oberirdische Zuwachsleistung (6 - 7 t TM ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) auf, gefolgt von Erle und Weide (4 - 5 t TM ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) (Abb. 1). Während die Bewirtschaftungsweise keinen deutlichen Einfluss auf das Wachstum der Bäume hatte, führten die unterschiedlichen Bodenverhältnisse zu

Schwankungen in der Biomasse; die Pappel reagierte sensibler auf heterogene Bodenverhältnisse.



**Abb. 1:** Biomasseentwicklung der Baumarten bei unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen. Fehlerbalken: Standardfehler des Mittelwerts.

Die unterirdische Biomasse wird anhand der Wurzelarchitektur und der Feinwurzelparameter bewertet. Ergebnisse zur Feinwurzelerhebung zeigen höchste Biomassewerte für die Weide (0,6 - 0,9 mg cm<sup>-3</sup>), gefolgt von Erle und Pappel (0,5 - 0,6 mg cm<sup>-3</sup>); die geringsten Werte wies die Robinie auf (0,2 - 0,4 mg cm<sup>-3</sup>) (Abb. 2).



**Abb. 2:** Feinwurzelsbiomasse der Baumarten bei unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen (Tukey-Test,  $p < 0,05$ ).

Die Weide unterschied sich in ihren Feinwurzelsmerkmalen deutlich und signifikant von den Feinwurzelsmerkmalen der anderen Baumarten; sie zeigte die stärkste Durchwurzelungsintensität (höchste Wurzellängendichte, höchste spezifische Wurzellänge, geringster Durchmesser), gefolgt von Pappel, Erle und Robinie. Die Feinwurzelmorphologie einer Baumart beeinflusst das Sprosswachstum, doch reichen die Strukturparameter allein nicht aus, Aussagen über die Nährstoffaufnahmeeffizienz eines Feinwurzelsystems zu machen.

## Vergleich von theoretischer und gemessener Biogasausbeute von Zwischenfrüchten der *Brassicaceae*

Bettina Leschhorn und Bernd Honermeier

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

### Einleitung

Für die Produktion von Biogas kommen potenziell auch Winter- und Sommerzwischenfrüchte aus der Familie der Brassicaceae in Frage. Diese Pflanzenarten enthalten in der Sprossmasse Glucosinolate (GSL), die bei Zellinterruption zu antimikrobiell wirksamen Isothiocyanaten (ITC) abgebaut werden. Dadurch kann die Fermentation gehemmt werden.

### Material und Methoden

Es wurde ein Biogasversuch mit Batchfermentern durchgeführt. Jeweils zwei Sorten von Sommer- und Winterraps, Winterrüben, Chinakohlrüben Weißem Senf, Sareptasenf, Ölrettich und der Wasserrübe sowie zwei Maismischungen mit Winterraps bzw. Ölrettich (1:1). Als Vergleichsvariante wurde Mais eingesetzt sowie Zellulose als Kontrolle. Mais und Zellulose wurden dreifach wiederholt. Jede Sorte wurde zweifach wiederholt, so dass für die statistische Verrechnung der Arten vier Wiederholungen zur Verfügung standen. Die Messungen wurden nach 4, 7, 17 und 24 Tagen vorgenommen. Dabei wurden der Gesamtbiogasertrag, der Methan- und Schwefelwasserstoffgehalt des Biogases bestimmt.

Für die Berechnung des theoretisch möglichen Biogasbildungspotentials wurden die Modelle von Weißbach 2008 zu Grunde gelegt. Dafür wurde die fermentierbare organische Trockensubstanz (FoTS) für jede Sorte aufgrund ihrer tatsächlichen Rohasche (XA)- und Rohfasergehalte (XF) mit folgenden Formeln berechnet.

Mais:  $FoTS = 984 - (XA) - 0,47(XF) - 0,00104(XF)^2$  [g/kg TS] (Weißbach, 2008)

Brassicaceae:  $FoTS = 1000 - (XA) - 0,74(XF)$  [g/kg TS] (Weißbach, 2012)

Pro kg FoTS werden eine Biogasausbeute von 800 l und ein Methanertrag von 420 l angenommen. Von diesen Werten wurden 5 % für Verluste durch bakterielle Biomasseneubildung abgezogen. Die Daten wurden mit dem Statistikprogramm PASW 18 verrechnet.

### Ergebnisse und Diskussion

Die gemessenen Biogasausbeuten lagen im Bereich von 405 L<sub>n</sub>/kg oTS (Winter- rüben) bis 757 L<sub>n</sub>/kg oTS (Ölrettich) bzw. 806 für Zellulose (s. Tab. 1). Der Methanertrag belief sich auf 241 bis 495 L<sub>n</sub>/kg oTS (Winterrüben, Ölrettich) (s. Tab. 1). Dies entspricht einem mittleren Methangehalt von 64 % (nicht dargestellt). Die FoTS der untersuchten Arten konnte mit minimal 969 g/kg TS (Ölrettich) und maximal 979 g/kg TS (s. Tab. 1) bestimmt werden. Somit hat der Ölrettich trotz des geringsten FoTS-Gehaltes die höchsten Gaserträge erzielt. Die berechneten Werte für den Biogasertrag liegen bei 735 l bis 744 l, bzw. 788 l für Zellulose. Alle gemessenen und berechneten Werte sind innerhalb der Arten hochsignifikant verschieden.

**Tab. 1:** Gemessene und berechnete Biogas- und Methanerträge von ausgewählten Zwischenfrüchten (gehäckselt und gefroren). Signifikante Unterschiede zwischen den Arten wurden anhand der Grenzdifferenz ( $\alpha = 5\%$ ) berechnet (verdeutlicht durch Buchstaben)

Art	FoTS	Biogasertrag		Methanertrag	
	[g/kg TS]	gemessen [L <sub>n</sub> /kg oTS]	berechnet [L <sub>n</sub> /kg TS]	gemessen [L <sub>n</sub> /kg oTS]	berechnet [L <sub>n</sub> /kg TS]
Sommerraps	979 gf	568 abcd	744 f	345 abc	391 f
Winterraps	977 efg	667 cd	743 ef	413 bcd	390 ef
Winterrübsen	979 g	405 a	744 f	241 a	391 f
Chinakohlrübsen	975 de	693 cd	741 def	445 bcd	389 de
Weißer Senf	979 g	450 ab	744 f	295 ab	391 f
Sareptasenf	979 g	525 abc	744 f	352 abc	391 f
Ölrettich	969 ab	757 d	737 ab	495 cd	387 ab
Wasserrübe	967 a	746 d	735 a	510 e	386 ab
Mais/Winterraps	976 def	591 abcd	742 def	348 abc	389 de
Mais/Ölrettich	971 bc	616 d	738 bc	399 bcd	387 bc
Mais	973 cd	644 d	740 cd	403 bcd	388 cd
Zellulose		806	788*	471	394*
Signifikanz	<0,001	0,034	<0,001	0,041	<0,001
Standardfehler	0,76	27,9	0,58	20,1	0,30
Grenzdifferenz	2,81	209	2,14	152	1,12

\*Literaturwert (Weißbach, 2009)

Die gemessenen Werte für Biogas- und Methanertrag konnten nur teilweise ihr Potenzial ausschöpfen (Ölrettich, Wasserrübe). Diese gemessenen Werte unterlagen zudem großen Schwankungen, die nicht allein als Substrateffekte zu interpretieren sind, wodurch sie von den berechneten Werten abweichen. Trotz der vorhandenen Variation kann generell geschlussfolgert werden, dass auch die Zwischenfrüchte ein bedeutendes Potenzial an Biogas- und Methanbildung besitzen, welches auf die Gehalte an fermentierbaren Inhaltsstoffen zurückzuführen ist. Die von den Spaltprodukten der GSL ausgehenden Hemmeffekte haben vermutlich nur eine geringe Auswirkung auf die Biogas- bzw. Methanbildung.

## Literatur

- Weißbach F. 2008: Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen, Landtechnik 2008 (6); 356-358a  
 Weißbach F. 2009: Die Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen für die Biogasgewinnung. Teil I: Das Gasbildungspotenzial der fermentierbaren Nährstoffe, Pflanzenbauwissenschaften, 13 (2): 72–85  
 Weißbach, F. 2012: persönliche Mitteilung, unveröffentlicht

## **Untersuchung und Beurteilung verschiedener Biomassen auf ihre Eignung zur mikrobiellen Biodieselproduktion**

Benjamin Mast<sup>1</sup>, Simone Graeff-Hönninger<sup>1</sup>, Nikolaus Merkt<sup>1</sup>, Rafael Hernandez<sup>2</sup>, W. Todd French<sup>2</sup> und Wilhelm Claupein<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Allgemeiner Pflanzenbau; Universität Hohenheim, Stuttgart

<sup>2</sup>Dave C. Swalm School of Chemical Engineering, Mississippi State University, MS 39762, USA.  
E-Mail: benjamin.mast@uni-hohenheim.de

### **Einleitung**

Aufgrund europäischer Rahmenverpflichtungen (vgl. Richtlinie 2003/30/EG und Richtlinie 2009/28/EG) kommt der Produktion von Biokraftstoffen in Europa eine wachsende Bedeutung zu. Auf europäischer Ebene ist Deutschland der führende Produzent von Biodiesel, wobei bislang fast ausschließlich Biodiesel auf Basis von Pflanzenölen (Raps- oder Sonnenblumenöl), also Biodiesel der ersten Generation genutzt wird. Mittlerweile wird der überwiegende Anteil der in Deutschland produzierten pflanzlichen Öle zu Herstellung von Biodiesel verwendet. Dies birgt jedoch einerseits die Problematik steigender Preise für pflanzliche Öle und andererseits einer wachsenden Flächenkonkurrenz zwischen Biokraftstoff- und Nahrungsmittelproduktion. Daher sollten sich zukünftige Biokraftstoffe vor allem durch Verbesserungen hinsichtlich Flächeneffizienz sowie in hohem Maße durch verminderte Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion auszeichnen. Ein wichtiger Schritt zur Erreichung dieser Ziele ist in der Nutzung der gesamten oberirdischen Biomasse von Kulturpflanzen sowie in der Nutzung von Ernteresten aus der landwirtschaftlichen Produktion zu sehen.

In diesem Zusammenhang stellt die Nutzung öllakkumulierender Mikroorganismen zur Produktion von Öl, unter Verwendung lignocellulosereicher Biomasse als Rohstoff für die Biodieselproduktion, ein vielversprechender Ansatz dar. Öllakkumulierende Mikroorganismen umfassen eine Reihe verschiedener Hefen, Pilze und Mikroalgen welche in der Lage sind mehr als 25 % ihres Zellgewichts in Form von Lipiden zu akkumulieren (Ratledge, 1991). Als Kohlenstoff- bzw. Energiequelle können sowohl Hexosen (bspw. Glucose), als auch Pentosen (bspw. Xylose) von den Mikroorganismen genutzt werden, eine Fähigkeit welche die gesamte Nutzung von lignocellulosereicher Biomasse als Rohstoff für die Ölproduktion ermöglicht. Eine weitere Grundvoraussetzung für eine günstige Lipidproduktion der Mikroorganismen ist das Vorherrschen eines weiten C/N-Verhältnisses im Wachstumsmedium. Forschungsarbeiten an der Mississippi State University zeigten bereits, dass öllakkumulierende Mikroorganismen aus der Abwasseraufbereitung über die Fähigkeit zur Öllakkumulation verfügen und die Ölproduktion darüber hinaus durch die Zugabe von Glucose ( $> 40 \text{ g l}^{-1}$ ) und die Regulierung des C/N-Verhältnisses ( $> 40:1$ ) noch erhöht werden konnte (Mondala et al., 2012).

Ziel dieser Untersuchung war, verschiedene lignocellulosereiche Biomassen anhand ihres Zuckergehalts und C/N-Verhältnisses auf ihre Eignung als Rohstoff für das Verfahren der mikrobiellen Biodieselproduktion zu untersuchen.

## Material und Methoden

Ergebnisse fünf verschiedener Biomassen werden im Rahmen des vorliegenden Beitrags vorgestellt. Mais, Miscanthus, Rutenhirse und Weizenstroh stammten aus Versuchen an der Versuchsstation Ihinger Hof der Universität Hohenheim ( $\varnothing$  7,9 °C,  $\varnothing$  690 mm), wohingegen Weide am LTZ Augustenberg (Außenstelle Rheinstetten-Forchheim) ( $\varnothing$  10,7 °C,  $\varnothing$  763 mm) geerntet wurde. Das Pflanzenmaterial wurde bei 60 °C getrocknet, gemahlen und anschließend mit Hilfe von H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> im Hydrolysereaktor (Minireactor HME-R/2000, Schlee GmbH & Co. KG, Witten-Herbede, Germany) 3 Stunden hydrolysiert, um den Lignocellulosekomplex aufzubrechen und somit eine Verfügbarkeit der Zucker zu gewährleisten. Zur Analyse der Zuckergehalte wurde eine HPLC durchgeführt. Die C- und N-Gehalte des Pflanzenmaterials wurden mittels einer Elementaranalyse (Dumas, 1962) bestimmt.

## Ergebnisse und Diskussion

Voraussetzung für eine günstige Lipidproduktion ölakumulierender Mikroorganismen sind in erster Linie ein hoher Zuckergehalt sowie ein weites C/N-Verhältnis, wie u. a. Mondala et al. (2012) zeigen konnte. Die Zuckergehalte der untersuchten Biomassen lagen zwischen 28,7 g l<sup>-1</sup> (Miscanthus) und 23,0 g l<sup>-1</sup> (Weide), wobei Mais, Rutenhirse und Weizenstroh hinsichtlich des Zuckergehaltes nur geringfügig hinter Miscanthus rangierten (Tab. 1). Generell war der Glucosegehalt bei allen Biomassen wie erwartet deutlich höher als der Xylosegehalt. Hinsichtlich des C/N-Verhältnisses wies Weizenstroh mit 94:1 ein sehr hohes C/N-Verhältnis auf. Miscanthus, Rutenhirse und Weide zeigten C/N-Verhältnisse von 60:1 bzw. 63:1, während Mais mit 38:1 das geringste C/N-Verhältnis aufwies.

Eine zusammenfassende Betrachtung beider Parameter deutet an, dass insbesondere Weizenstroh mit seinem hohen Zuckergehalt in Kombination mit einem sehr hohen C/N-Verhältnis günstige Voraussetzungen für den Einsatz als Rohstoff in der mikrobiellen Biodieselproduktion bietet. Darüber hinaus lassen aber auch Miscanthus und Rutenhirse mit hohen Zuckergehalten und einem C/N-Verhältnis von 60:1 günstige Voraussetzungen erwarten. Ferner weist Weizenstroh hinsichtlich der Rohstoffverfügbarkeit einen weiteren entscheidenden Vorteil auf, da es als landwirtschaftliches Nebenprodukt in vielen Regionen kostengünstig und ohne wesentliche Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion verfügbar ist.

**Tabelle 1:** Zuckergehalt [g l<sup>-1</sup>] und C/N-Verhältnis fünf verschiedener Biomassen.

	Glucose [g l <sup>-1</sup> ]	Xylose [g l <sup>-1</sup> ]	Gesamtzucker* [g l <sup>-1</sup> ]	C/N-Verhältnis
Mais	22,3	5,4	27,7	38:1
Miscanthus	21	7,7	28,7	60:1
Rutenhirse	17,2	10	27,2	60:1
Weide	18,1	4,9	23	63:1
Weizenstroh	18,4	10,1	28,5	94:1

\*nur Glucose und Xylose

## Literatur

- Ratledge, C. 1991, Microorganisms for Lipids. *Acta Biotechnologica* 11, 429-438.  
 Mondala, A.H., Hernandez, R., French, W.T., McFarland, L., Santo Domingo, J.W., Meckes, M., Ryu, H. & Iker, B. 2012, Enhanced Lipid and Biodiesel Production from Glucose-Fed Activated Sludge: Kinetics and Microbial Community Analysis. *AIChE Journal* 58, 1279-1290.



## Gefäßversuch zur Düngewirkung von Terra Preta Substraten mit unterschiedlichen Kohlegehalten auf ertragsschwachen sandigen Acker- und Kippböden der Lausitz

Rademacher, Anne und Haubold-Rosar, Michael<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften, Finsterwalde. E-Mail: a.rademacher@fib-ev.de

### Einleitung

Die Lausitzer Region im nordostdeutschen Tiefland ist durch einen hohen Anteil ertragsschwacher sandiger Agrarstandorte gekennzeichnet, die eine gute Humusversorgung benötigen. Eine besondere Herausforderung stellen die Rückgabeflächen des Braunkohlenbergbaus dar. Kipp-Rohböden sind weitgehend frei von rezenter organischer Substanz. Die Humusanreicherung stellt deshalb ein wichtiges Rekultivierungsziel dar.

Mit Terra Preta bezeichnet man schwarzerdeartige Böden, die durch die Zufuhr von organischen Abfällen und Holzkohlen im Amazonasgebiet entstanden sind. Eine prinzipielle Technologie zur Erzeugung von Terra Preta-Substraten (TPS) aus biogenen Abfällen und Biokohlen wurde jüngst entwickelt. Ziel eines F/E-Vorhabens des FIB<sup>\*)</sup> ist die Aufklärung und Bewertung der Wirkung von TPS auf Bodenfunktionen und Pflanzenwachstum bei Einsatz in der Kippenrekultivierung sowie der landwirtschaftlichen Nutzung ertragsschwacher Standorte.

### Material und Methoden

Im Frühjahr 2011 wurde ein erster Versuch mit Mitscherlich-Gefäßen zur Untersuchung pflanzenbaulicher Effekte und insbesondere der Düngewirkung von TPS angelegt. Die verwendeten Versuchsböden entstammen den Feldversuchsflächen des Projektes: eine Braunerde aus glazifluvialtem schluffigen Sand von einem natürlichen Ackerstandort (Z) und ein frisch verkippter Rohboden aus quartärem Kipp-Kalklehmsand (W), deren Kennwerte in Tabelle 1 dargestellt werden.

**Tab. 2:** Kennwerte der verwendeten Versuchsböden

Standort	Tiefe [cm]	Textur	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C <sub>org</sub> [M.-%]	N <sub>t</sub>	C/N	P <sub>DL</sub> [mg 100g <sup>-1</sup> ]	T-Wert [cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ]	nFK [Vol.-%]
(Z)	0-30	Su3	5,8	1,08	0,094	12	4,1	4,9	27,2
(W)	0-30	Sl2	7,6	0,17	0,013	13	2,4	2,0	15,8

Die Böden wurden mit 30 bis 240 t TS ha<sup>-1</sup> TPS mit einem Biokohle-Anteil von 15 (Q1) bzw. 30 Vol.-% (Q2) behandelt. Die Kennwerte der TPS sind in Tabelle 2 abgebildet. Parallel dazu wurden N- und P-Mineraldünger-Steigerungsreihen etabliert. Je Variante wurden 4 Gefäße angelegt und mit Knautgras (*Dactylis glomerata* L.) bestellt. Das Sickerwasser wurde im Kreislauf geführt.

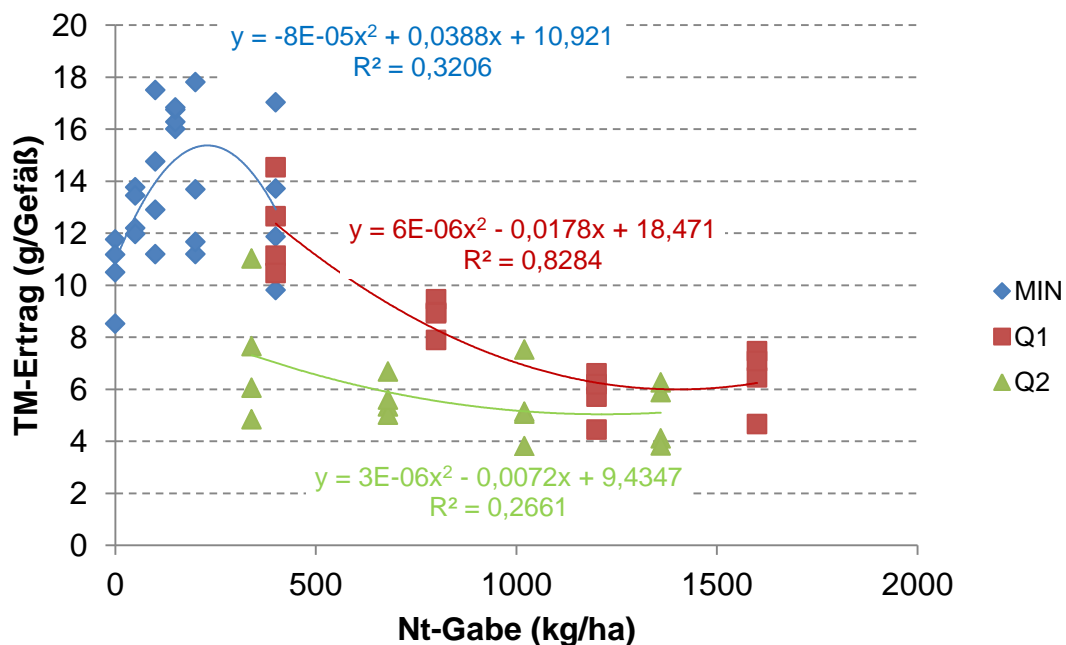
**Tab. 3:** Kennwerte der eingesetzten Terra Preta-Substrate (TPS)

TPS-Varianten	N <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	K <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	C/N	pH	Cu	Zn
TPS Q1 (15 Vol.-% BK)	1,34	0,26	1,1	30	22	7,9	27	152
TPS Q2 (30 Vol.-% BK)	1,14	0,18	0,8	38	33	7,6	19	127

Inputstoffe: Grünschnitt (n. Vorrotte), Pyrolyse-Biokohle (BK), Gärrückstand (5 % TS), Basaltmehl

### Ergebnisse und Diskussion

Der erste Schnitt des Knaulgrases im August 2011 ergab eine sehr geringe N-Düngewirkung der eingesetzten TPS-Varianten. Die N-Düngewirkung nimmt mit steigender TPS-Gabe ab, wie in Abbildung 1 deutlich wird.



**Abb. 4:** Trockenmasseerträge in Abhängigkeit der Gesamt-N-Gaben (natürlicher Ackerstandort [Z]; MIN = Mineraldünger)

Die N-Mineraldüngeräquivalente lagen im Allgemeinen unter 5 % des in den TPS enthaltenen Gesamt-N (1,34 in Q1 bzw. 1,14 M.-% in Q2). Es zeigte sich, dass der höhere Biokohleanteil des Materials Q2 eine geringere N-Verfügbarkeit im Anwendungsjahr zur Folge hat. Somit kann im Jahr der Anwendung von kohlehaltigen Terra Preta Substraten nicht auf die übliche N-Mineraldüngung verzichtet werden.

<sup>\*)</sup> Die Untersuchungen sind Teil des F/E-Verbundvorhabens „LaTerra“ und werden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert (FKZ 033L021B)

## Fruchtfolgen zur Biomasseproduktion für Biogas im ökologischen Anbausystem – ausgewählte Erträge und Bodenmerkmale

H. J. Reents<sup>1</sup>, M. Kainz<sup>1</sup> und K.-J. Hülsbergen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, TU München-Weihenstephan, 85354 Freising. E-Mail: reents@tum.de

### Einleitung

Biogasanlagen in ökologisch bewirtschafteten, viehlosen Betrieben haben Vorteile, da sie Pflanzenbiomassen wie Klee-Gras und andere Gründüngungspflanzen energetisch verwerten und gleichzeitig einen mobilen Dünger erzeugen. Zur Bewertung solcher Betriebssysteme ist es notwendig, die Wirkung auf Ertrag, Qualität und Bodeneigenschaften zu untersuchen, da bisher wenige Ergebnisse speziell zum Einfluss von unterschiedlichen Fruchtfolgen vorliegen.

### Material und Methoden

Ein Versuch zu Biogas-Fruchtfolgen wird seit 2006/07 auf der Versuchsstation Viehhausen der TU München durchgeführt. Standort: Tertiärhügelland ca. 30 km nord-östlich von München, 480 m N.N., Ø 800 mm Niederschlag, Ø 7,5 °C. Böden: Braunerden bis Parabraunerden sL- L, AZ Ø 55.

Der Versuch ist als Split-Plot Anlage angelegt (Reents et al. 2011) mit 4-feldrigen Fruchtfolgen (FF\_1) als Streifen, in die die Gärrestdüngung hinein gesplittet ist, und den jeweiligen Fruchtfolgefeldern als Blöcken. Die Standardfruchtfolge 1)Klee gras – 2)Winterweizen – 3a)Zwfr.Grünroggen – 3)Mais – 4)Triticale-GPS als FF 1,4,7 ist in drei Streifen wiederholt. Die anderen Fruchtfolgen unterscheiden sich in Fruchtartenwahl und Anbauverfahren im 3. und 4. Feld, welches noch mal in 2 Behandlungen (verschiedene Kulturen im Vergleich zu Triticale-GPS als Standard) gesplittet ist (FF\_2). Die Biogas-Gärrestdüngung pro Rotation orientiert sich am erwarteten Gesamtertrag (Reents et al. 2011) und wird mit ungedüngten Varianten verglichen.

### Ergebnisse und Diskussion

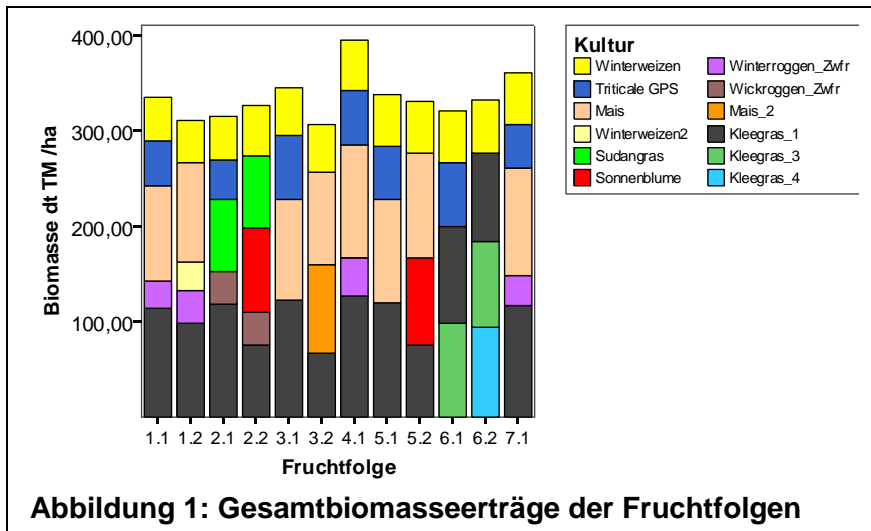
Für den Weizen der Jahre 2007-2010 ergaben sich wie erwartet deutlich höhere Erträge bei der Düngung mit den Gärresten (Abb.1). Fruchtfolgeeffekte auf den Ertrag sind von Boden- und Witterungswirkungen der Jahre nicht eindeutig zu trennen.

**Tabelle 1: Effekt von Biogasgärrest und Fruchtfolge auf Ertrag und Qualität von Winterweizen** Signifikanz im T-Test. \*\*\* p=0,001

	Kornertrag [dt/ha]		Rohprotein [%]	
	FF_1	FF_2	FF_1	FF_2
ohne Biogasgärrest	46,8	47,2	10,05	9,86
mit Biogasgärrest***	59,4	61,3	11,44	11,19

Die Gesamtbiomasseerträge der Fruchtfolgen erreichten in der Regel 300-350 dt TM/ha (Abb. 1). Die Standard-FF (1,4,7) zeigte vergleichsweise hohe Erträge, d.h. dies ist

eine gute FF-Kombination, die Feldheterogenität muss allerdings bei der Bewertung berücksichtigt werden (hohe Erträge in der Feldmitte, FF4). Der Versuch, Mais zweimal im Weißklee-Lebenmulch zu etablieren (FF 3.2), hat bisher nicht den erwarteten Erfolg gezeigt.



Die Proteingehalte wurden durch die Zufuhr der Gärreste ebenfalls erhöht (Tab.1), allerdings auch in Wechselwirkung mit der Fruchtfolge, wo bei hohem Klee gras-anteil die Düngung die stärkste Steigerung bewirkte (Reents et al. 2011, FF6). Es ist davon auszugehen, dass dies auf

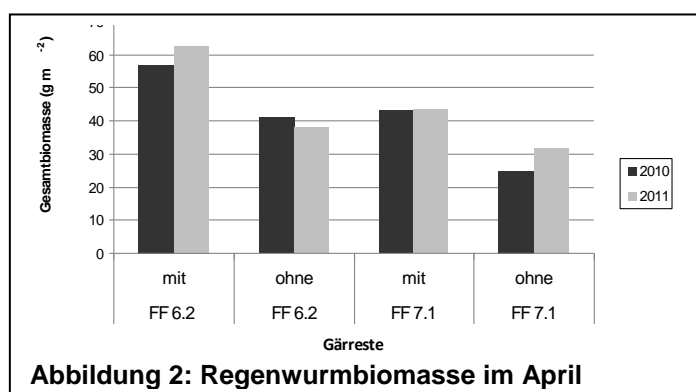
einer höheren Anreicherung von Humus und damit Stickstoff beruht (s. Tabelle 2), so dass eine Zugabe von leicht verfügbarem N aus den Gärresten eine höhere und länger andauernde Freisetzung von Stickstoff führt.

Mit den Gärresten konnte in geringem Umfang der N-Gehalt im Boden erhöht werden, allerdings hatte die Fruchtfolgevariation mehr Einfluss, insbesondere der höhere Kleeanteil. Die Aggregatstabilität wurde durch die Gärreste nicht beeinflusst, die Fruchtfolgegestaltung war hier ebenfalls von größerer Bedeutung.

**Tabelle 2: Einfluss der Versuchsfaktoren Fruchtfolgen und Gärreste auf Bodeneigenschaften**

	Fruchtfolge FF_1							Gärrest		FF_2	
	1	2	3	4	5	6	7	ohne	mit	Triti.	andere
C %	1,15a	1,18a	1,29b	1,30b	1,37bc	1,39c	1,28b	1,26	1,30	1,27	1,29
N %	,107a	,110a	,122c	,118bc	,121bc	,124c	,116b	,115	,119*	,117	,118
pH-Wert	6,27a	6,29a	6,42ab	6,55bc	6,71c	6,58bc	6,35a	6,44	6,47	6,45	6,47
Aggregatstabilität %	34,4ab	37,4bc	38,2c	33,4a	37,1bc	42,3d	34,5ab	37,3	37,1	35,7	39,3***

Unterschiedliche Buchstaben: sign. Unterschiede p=0,05 Tuckey B, \*, \*\*, \*\*\* p=0,05; 0,01; 0,001 t-Test



Die FF mit dem höchsten Kleeanteil (FF6.2) hatte eine deutlich höhere Regenwurmbiomasse als die Standard-FF (Abb. 2). In beiden FF hat sich eine größere Population bei Düngung mit Gärresten gebildet. Die Gestaltung der Fruchtfolgen entwickelte für verschiedene Parameter eine höhere Bedeutung als die Düngung mit den

Gärresten, was bei einer Beurteilung von Betriebssystemen zu berücksichtigen ist.

## Literatur

Reents, HJ, Kimmelman, S, Kainz, M und Hülsbergen KJ (2011): Biogas-Fruchtfolgeversuch Viehhausen - Versuchsanlage sowie Ertrags- und Qualitätseffekte bei Winterweizen. – Beitr. 11. Wissenstagg. Ökol. Landbau, 76-80

## **Auswirkungen des Anbaus von Kurzumtriebsplantagen und die Rückwandlung der Flächen in Ackerland auf ausgewählte bodenökologische Parameter**

Anne-Kristin Schmitt<sup>1</sup>, Justine Lamerre<sup>1</sup>, Jan Rücknagel<sup>1</sup>, Barbara Koblenz<sup>1</sup>, Sabine Tischer<sup>2</sup>, Bodo Hofmann<sup>1</sup> und Olaf Christen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Professur für Allgemeinen Pflanzenbau / Ökologischen Landbau, Halle. <sup>2</sup> Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Professur für Bodenbiogeochemie, Halle  
E-Mail: anne-kristin.schmitt@landw.uni-halle.de

### **Einleitung**

Die Nachfrage nach Holz zur energetischen Verwertung hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Neben dem Anbau von schnellwachsenden Bäumen auf vormals landwirtschaftlich genutzten Flächen besteht auch auf dem Gebiet der Rückführung von Kurzumtriebsplantagen (KUP) in Ackerland ein großer Forschungsbedarf. Mit der vorliegenden Studie sollen die Auswirkungen einer langjährig bewirtschafteten Kurzumtriebsplantage mit Weide und Pappel sowie die Rückwandlung in Ackerland auf ausgewählte physikalische, chemische und biologische Bodenparameter einer Schwarzerde im mitteldeutschen Trockengebiet mitgeteilt werden.

### **Material und Methoden**

Auf der Lehr- und Versuchsstation des Instituts für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg in Bad Lauchstädt (Bodentyp:Ut4, Bodenart: Haplic Chernozem) wurde im Jahr 2000 ein Langzeitversuch mit zwei schnellwachsenden Baumarten Weide (*Salix viminalis* spp.) und Pappel (*Populus nigra* spp.) sowie eine Ackernutzung als Referenzfläche (Fruchtfolge Winterraps-Wintertriticale-Wintergerste) angelegt. Nach einer Laufzeit von zehn Jahren wurde der Energieholzversuch für die Wiedereingliederung in eine konventionelle landwirtschaftliche Nutzung umgebrochen. Für die Untersuchung der Trockenrohdichte (DIN ISO 11272) und der gesättigten Wasserleitfähigkeit (DIN 19683-9) wurden Stechzylinder einerseits im Energieholzversuch im April 2004 und März 2009 und andererseits nach dem Umbruch der Kurzumtriebsplantage im Mai 2010 und April 2011 genommen. Zur Bestimmung des organischen Kohlenstoffs (DIN ISO 10694) und der mikrobiellen Biomasse (DIN ISO 16072) wurden im Energieholzversuch und nach der Rückwandlung der Flächen in Ackerland Bodenproben mit Hilfe eines Pürckhauer-Bohrstocks gewonnen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Mit dem Verzicht auf eine tiefgreifende Bodenlockerung steigt bereits nach vier Versuchsjahren unter den Gehölzen die Trockenrohdichte (TRD) in der Oberkrume an, die Wasserleitfähigkeit ( $k_f$ ) nimmt dagegen ab (Schmitt et al. 2010) (Abb. 1). Der Kompaktierung des Oberbodens konnte durch die Anreicherung von organischer Substanz in Form von Blatt- und Wurzelstreu nach neun Versuchsjahren entgegengewirkt werden. Weitaus schnellere Veränderungen zeigen sich bei der mikrobiellen Biomasse. So sind bereits nach vier Versuchsjahren im Oberboden signifikant höhere mikrobielle Biomassen unter den Gehölzen im Vergleich zur Referenzfläche Acker nachweisbar. Unmittelbar nach dem Umbruch nimmt die TRD unter den ehemaligen Weide- und Pappelvarianten in der Oberkrume aufgrund der lockernden

Wirkung der Bodenfrese signifikant ab und die  $k_f$ -Werte in gleicher Tiefe zu. In der unteren Krume wurde der Boden aufgrund hoher Wassergehalte zum Zeitpunkt der Fresung und anschließender Bodenbearbeitung verdichtet, so dass keine ausreichende Wasserableitung ( $k_f < 10 \text{ cm d}^{-1}$ ) gewährleistet ist. Dieser Effekt wird durch die Pflugbearbeitung ein Jahr nach dem Umbruch nivelliert (Lamerre 2011). Direkt nach der Rückwandlung der KUP ist der organische und mikrobielle Kohlenstoffgehalt in der Oberkrume deutlich reduziert. Im darauffolgenden Versuchsjahr konnten keine signifikanten Unterschiede für beide Parameter nachgewiesen werden.

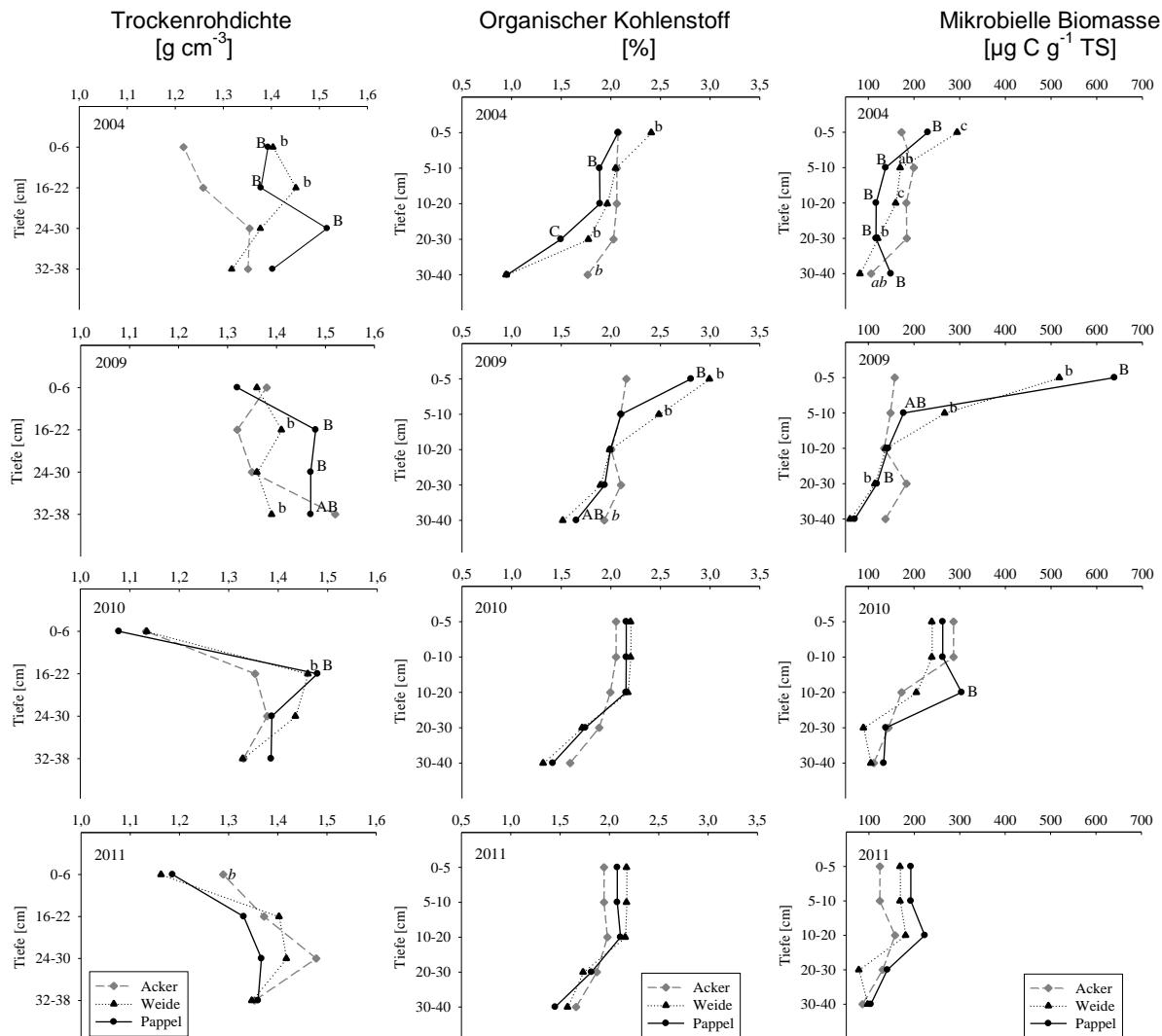


Abbildung 1: Trockenrohdichte, organischer Kohlenstoff und mikrobielle Biomasse unter KUP in den Jahren 2004 und 2009 sowie nach der Rückwandlung der Fläche in den Jahren 2010 und 2011 (unterschiedliche Buchstaben (Acker = *kursiv*, Weide = Standard, Pappel = Großbuchstaben) kennzeichnen statistisch gesicherte Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den Varianten innerhalb einer Tiefenstufe und eines Jahres)

## Literatur

- Lamerre, J. (2011): Reconversion of short rotation coppice into arable land – Impacts of physical soil properties and following crop development. Mémoire de Fin d'Etudes, Masterarbeit.
- Schmitt, A. K., Tischer, S., Elste, B., Hofmann, B., Christen, O. (2010). Auswirkung der Energieholzproduktion auf physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften auf einer Schwarzerde im Mitteldeutschen Trockengebiet. *Journal für Kulturpflanzen*, 62, 189-199

## Nutzung von Brauereiabwässern zur Produktion mikrobieller Öle und Pigmente

Teresa Schneider<sup>1</sup>, Simone Graeff-Hönninger<sup>1</sup>, William Todd French<sup>2</sup>, Rafael Hernandez<sup>2</sup>, Wilhelm Claupein<sup>1</sup> und Nikolaus Merkt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Kulturpflanzenwissenschaften/Universität Hohenheim, Stuttgart; <sup>2</sup>Dave C. Swalm School of Chemical Engineering/Mississippi State University, Starkville. E-Mail: Teresa.Schneider@uni-hohenheim.de

### Einleitung

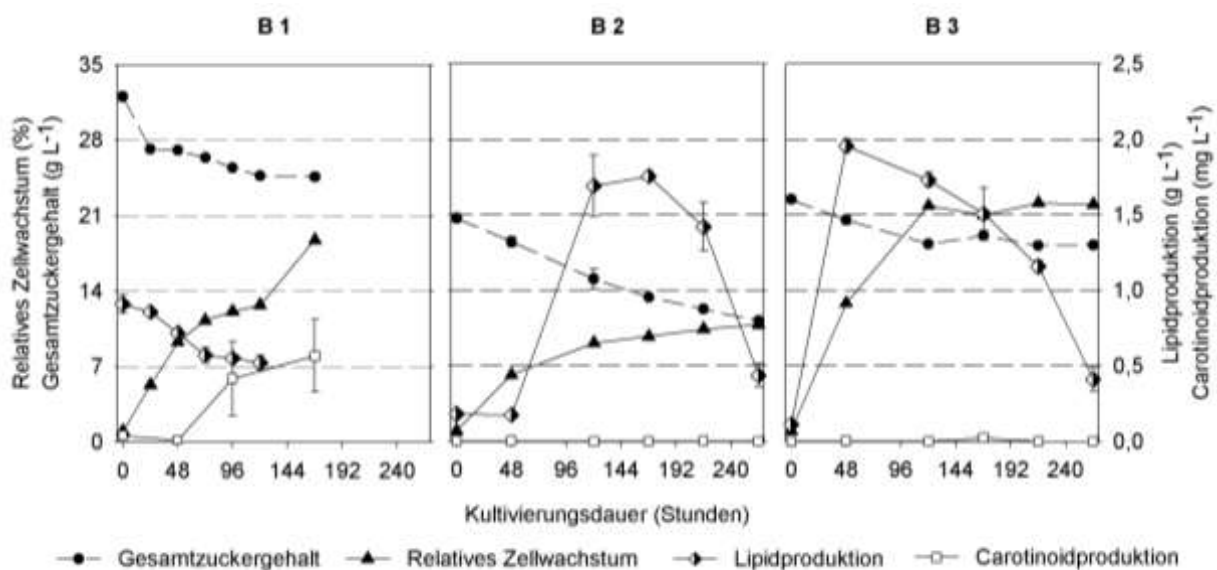
Die Produktion und der Verbrauch von Biodiesel sind im letzten Jahrzehnt weltweit deutlich angestiegen. Als Rohstoff für die Produktion werden hauptsächlich Pflanzenöle - in Deutschland vornehmlich Rapsöl – verwendet. Aufgrund des daraus resultierenden Konfliktpotentials mit der Lebensmittelproduktion, der vergleichsweise geringen Landnutzungseffizienz, sowie durch Zweifel an der Nachhaltigkeit bei Betrachtung der Gesamtökobilanz des Verfahrens, wurde vermehrt nach alternativen erneuerbaren Ölquellen für die Umesterung in Biodiesel gesucht. Ein diskutierter Ansatz ist dabei der Einsatz mikrobieller Öle, die durch Extraktion aus ölhaltigen Mikroorganismen gewonnen werden können. Diese Mikroorganismen haben einen im Vergleich zu den herkömmlichen Ölfrüchten sehr hohen Ölgehalt von bis zu 80 %, sind unabhängig von klimatischen oder wetterbedingten Einflüssen und haben geringe Flächenansprüche. Das größte Problem im Hinblick auf die kommerzielle Umsetzung dieses Ansatzes stellen jedoch die hohen Kosten des Verfahrens, bei gleichzeitig verhältnismäßig geringen Pflanzenölpreisen, dar. Mögliche Maßnahmen, um diesem Problem beizukommen sind die Nutzung von Rest- und Abfallstoffen als Fermentationssubstrate für die Mikroorganismen, sowie die simultane Erstellung weiterer hochwertiger mikrobieller Produkte. Hierzu zählen beispielsweise Carotinoide, die als natürliche Pigmente und Antioxidantien vielfach Verwendung in den Bereichen der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie finden. Unter diesen Gesichtspunkten wurde Prozessabwasser einer lokalen Brauerei auf seine Eignung als Substrat für Zellwachstum, Lipid- und Carotinoidproduktion der Hefe *Rhodotorula glutinis* überprüft.

### Material und Methoden

Abwasserproben wurden in einer Brauerei nach dem Läuterprozess (Läuterabwasser) entnommen. In einem ersten Versuch (Variante B 1) wurden 500 ml der Probe autoklaviert und mit der Hefe *Rhodotorula glutinis* inokuliert und als Schüttelkultur in Erlenmeyerkolben bei 25°C für 168 h kultiviert. Aufgrund des geringen Maltoseabbaus wurde eine zweite Abwasserprobe entnommen und in einem zweiten Versuch (Variante B 2) bei gleichen Kultivierungsbedingungen für 264 h kultiviert, um den weiteren Verlauf des Maltoseabbaus zu überprüfen. In einer dritten Variante (B 3) wurde basierend auf den gemessenen Abwassereigenschaften aus Versuch 1 ein künstliches Abwassermedium angemischt und ebenfalls für 264 h fermentiert. Proben wurden in regelmäßigen Abständen entnommen und anschließend das Zelltrockengewicht, der Lipid- und Carotinoidgehalt sowie der Zuckergehalt bestimmt. Das Fettsäureprofil wurde nach der Umesterung der Lipide mittels Gaschromatographie analysiert.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigten, dass Brauereiabwässer eine potentielle Kohlenstoffquelle für das Wachstum ölhaltiger Mikroorganismen darstellen. Der Abbau und die Nutzung von Maltose als größte Kohlenstoffquelle in diesen Abwässern waren jedoch recht gering und sollten z. B. durch Hydrolyseverfahren weiter verbessert werden. In allen Varianten konnte die Zellmasse signifikant gesteigert werden. Am Ende der Kultivierungszeit lag der Biomasseertrag in B 1 ( $10,0 \text{ g L}^{-1}$ ) deutlich über den Erträgen aus den anderen beiden Varianten (B 2:  $4,26 \text{ g L}^{-1}$ ; B 3:  $3,96 \text{ g L}^{-1}$ ). In Bezug auf die Lipid- und Carotinoidproduktion konnte eine ähnliche Abgrenzung der Varianten beobachtet werden: Während in B 1 die Lipidproduktion und der Lipidgehalt der Zellen kontinuierlich abnahm, konnte die Lipidproduktion in B 2 und B 3 signifikant auf fast  $2 \text{ g L}^{-1}$  gesteigert werden (Abb. 1). Demgegenüber wurde in den Varianten B 2 und B 3 keine Carotinoidproduktion festgestellt, während sie sich in B 1 signifikant auf ca.  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  steigerte. Diese Unterschiede gründen wahrscheinlich auf den unterschiedlichen C:N-Verhältnissen in den verschiedenen Varianten, da dies einen wichtigen Parameter in Bezug auf die Lipid- und Carotinoidsynthese darstellt. Nur bei hohen C:N-Verhältnissen auf Basis eines Kohlenstoffüberangebots bei gleichzeitiger Nährstofflimitierung im Wachstumsmedium wird Kohlenstoff für die Lipidsynthese eingesetzt (Papanikolaou et al., 2011).



**Abb. 1:** Gesamtzuckergehalt, relatives Zellwachstum, Lipid- und Carotinoidproduktion im Verlauf der Kultivierung von *R. glutinis* auf Brauereiabwässern.

In Deutschland werden jährlich über 18 Mio.  $\text{m}^3$  Abwasser aus Brauereien in die Klärsysteme eingeleitet. Würde man diese Abwässer komplett als Fermentationssubstrat für *R. glutinis* verwenden, könnte man bei einer Lipidproduktion von  $2 \text{ g L}^{-1}$  theoretisch rund 36.000 t Biodiesel produzieren. Bei einem durchschnittlichen Biodieselertrag aus dem Rohstoff Raps von  $1.590 \text{ L ha}^{-1}$  wäre es somit möglich, über 57.000 ha landwirtschaftliche Fläche für andere Nutzungen freizugeben.

## Literatur

Papanikolaou, S. und G. Aggelis 2011: Lipids of oleaginous yeasts. Part I. Biochemistry related with single cell oil production. Journal of Lipid Science and Technology 113:1031-1051



## **Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung – Ergebnisse des ersten Versuchsjahres**

Falko Stockmann

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

### **Einleitung**

Ein nachhaltiger Energiepflanzenbau senkt unerwünschte Folgen von engen Fruchtfolgen und bietet einen ökologischen Zusatznutzen verbunden mit einer besseren gesellschaftlichen Akzeptanz. Durch alternative Anbausysteme und eine Vergrößerung des genutzten Artenspektrums kann ein wesentlicher Beitrag zur Biodiversifizierung der Agrarlandschaft und zur Steigerung der Flächenproduktivität geleistet werden.

Ein aktuelles Projekt (Laufzeit: 2011 bis 2014) hat zum Ziel Buchweizen und Quinoa, als späte Zweitfrüchte nach Vorfrucht GPS-Getreide, als Biogassubstrat zu testen. Beide Kulturarten werden dabei auf Trockenmasseertrag (TM), Trockensubstanzgehalt (TS) und Substratqualität geprüft.

Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) und Quinoa (*Chenopodium quinoa*) haben eine kurze Vegetationszeit (80 – 120 Tage), was eine variable Integration in Fruchtfolgen und eine verlustfreie Silierung erlauben. Sie sind unkrautsuppressiv, besitzen eine phytosanitäre Wirkung und haben nur geringe Nährstoffansprüche. Beide Kulturen erfüllen wichtige Funktionen einer Zwischenfrucht. Erste Ergebnisse zu TM-Ertrag, TS-Gehalt und Inhaltsstoffen des Standorts Straubing werden präsentiert.

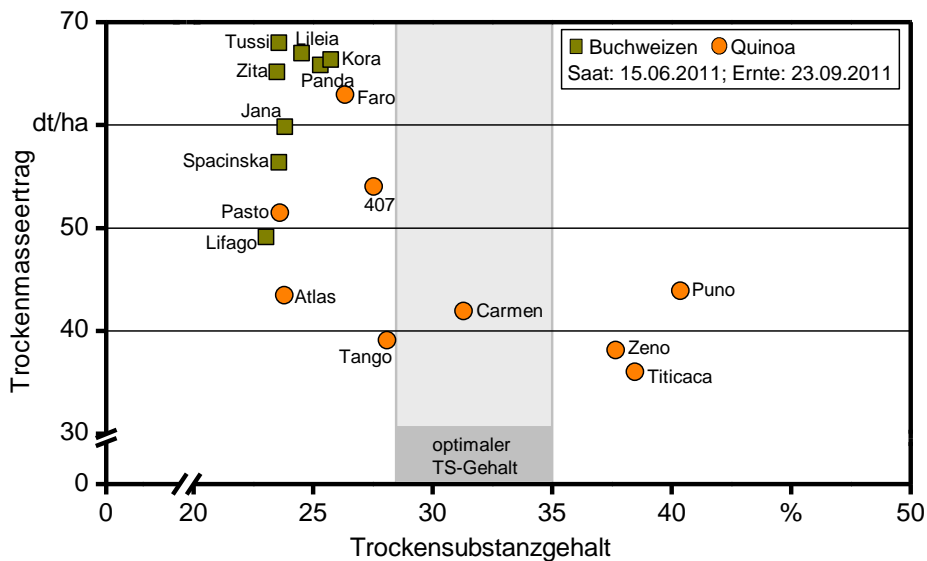
### **Material und Methoden**

2011 wurden acht Buchweizen- und neun Quinoasorten in einem randomisierten Feldversuch mit vier Wiederholungen in Süddeutschland auf zwei Standorten orthogonal angebaut. Zusätzlich wurden zwei Saattermine gewählt (Früh: Mitte Juni; Spät: Mitte Juli). Dies soll diverse Vorfrüchte mit unterschiedlichen Erntezeitpunkten simulieren. Aufgrund starken Unkrautdrucks und Pilzbefall musste ein Standort verworfen werden. Somit werden nur Ergebnisse vom Standort Straubing präsentiert. Der Standort liegt im fruchtbaren Gäuboden (330 m ü. NN) mit einer Ackerzahl von 79. Er zeichnet sich durch einen Niederschlag von 783 mm (langjähriges Mittel) sowie einer durchschnittlichen Temperatur von 8,3°C aus. Die Bodenart ist schluffiger Lehm. Als Vorfrucht wurde GPS-Getreide angebaut. Nach Bodenbearbeitung mittels Grubber wurden je Kultur 200 Körner m<sup>-2</sup> (Reihenweite 14 cm) ausgesät. In Abhängigkeit der N<sub>min</sub>-Gehalte erfolgte die Stickstoffdüngung von 30 kg N ha<sup>-1</sup> (frühe Saat) bis 60 kg N ha<sup>-1</sup> (späte Saat). Nachdem Probeschnitte die optimalen TS-Gehalte aufwiesen (28 bis 35 %) wurde am 23.09. respektive 21.10.2011 gehäckselt.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Im Juni gesät erzielte Buchweizen im Mittel mit 62 dt ha<sup>-1</sup> (40 – 76 dt ha<sup>-1</sup>) höhere TM-Erträge als Quinoa mit durchschnittlich 45 dt ha<sup>-1</sup> (**Abb. 1**). Durch sortenbedingte Unterschiede im Wuchs zeigte Quinoa größere Schwankungen im TM-Ertrag (30 – 74 dt ha<sup>-1</sup>). Eine verlustfreie Silierung bedarf TS-Gehalte von 28 – 35 %. Bei Buchweizen lagen sie in Abhängigkeit vom Saattermin mit 23 – 29 % knapp unterhalb. Quinoa hingegen erreichte bei der Hälfte der Sorten die gewünschten TS-Gehalte. Teilweise lagen die Werte bei 40 %, was eine Verkürzung der Vegetationszeit

erlauben könnte (**Abb. 1**). Eine spätere Saat (Mitte Juli) erwies sich bei beiden Kulturen als ertragsmindernd. Buchweizen konnte im Mittel nur noch 55 % und Quinoa nur 30 % der TM-Erträge des frühen Saattermins erreichen (nicht dargestellt).



**Abb. 1:** TM-Ertrag in  $\text{dt ha}^{-1}$  und TS-Gehalt in %, getrennt nach Kulturart und Sorte.

Die für eine Vergärung relevanten Inhaltsstoffe zeigt **Tab. 1**. Quinoa erzielte unabhängig vom Saattermin höhere Gehalte an leichtverdaulichen Substanzen (Stärke), wahrscheinlich durch den größeren Kornanteil. Zusätzlich sind die Werte, welche die Vergärung des Substrats behindern (Rohfaser, NDF), bei Quinoa reduziert, was auf bessere Gasausbeuten hindeutet. Unabhängig der Kulturart erhöht sich der Gehalt an Stärke und ELOS<sup>2</sup> bei späterer Saat. Dies wiederum kann zu höheren Biogas- und Methangehalten führen. Die nach Weißbach (2008) auf Basis von XF<sup>5</sup> und XA<sup>5</sup> errechneten (theoretischen) Methangehalte spiegeln dies wider.

Beide Kulturen sind als Biogassubstrat vielversprechend. Die kurze Anbauzeit ist vorteilhaft, um auf Witterung und Fruchtfolgen (Marktfucht- und Energiepflanzen) variabel zu reagieren. Ein Anbau ist nach GPS-Getreide oder Braugerste möglich.

**Tab. 1:** Inhaltsstoffanalyse getrennt nach Kulturart und Saatzeitpunkt

Kulturarten	Früher Saattermin (14. Juni)							
	XA <sup>5</sup>	XP <sup>5</sup>	XL <sup>5</sup>	XF <sup>5</sup>	NDF <sup>1</sup>	Stärke	ELOS <sup>2</sup>	Methangehalt <sup>3</sup>
	Mittel in $\text{g kg}^{-1} \text{TM}^{-1}$							NI $\text{kg}^{-1} \text{oTM}^{-1}$
Buchweizen	85	78	11	312	500	151	482	293
Quinoa	122	101	38	248	437	200	559	331
	Später Saattermin (12. Juli)							
Buchweizen	92	94	15	262	523	213	521	310
Quinoa	122	119	50	195	355	272	617	355
Mais*	< 40	< 90		170-200	< 400	> 300	> 670	(364)

\*Orientierungswert (Schuster et al. 2011), <sup>1</sup>Neutral Detergent Fiber, <sup>2</sup>Enzymlösliche org. Substanz, <sup>3</sup>errechnet nach Weißbach (2008), <sup>5</sup>XA = Rohasche, XP = Rohprotein, XF = Rohfaser, XL = Rohfett

## Literatur

Schuster, H., Moosmeyer, M., Schuster, M. (2011): Die Masse hat diesmal auch Klasse. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Heft 52, S. 18

Weißbach, F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffen. In: Landtechnik, Jg. 6, Nr. 63, S. 356-358a

## **Wirkung von Terra Preta Substraten auf Boden und Baumwachstum auf Windwurfflächen und unter Weihnachtsbaumkulturen**

Dmitri Drabkin<sup>1</sup> und Karlheinz Weinfurter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fraunhofer IME, Schmallenberg; E-Mail: dmitri.drabkin@ime.fraunhofer.de

### **Einleitung**

Im Rahmen des Verbundprojekts „LaTerra“ werden unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten von Terra Preta Substraten (TPS) in drei Regionalprojekten in unterschiedlichen Modellregionen untersucht.

Beim TPS handelt es sich um ein künstlich erzeugtes Humussubstrat, das Holzkohle (oder allg. Biokohle) als stabile Kohlenstoffquelle beinhaltet. Die positive Wirkung dieser Substrate wurde in einer Anzahl von Studien, die seit der (Neu-) Entdeckung von anthropogen entstandenen Terra Preta Böden in Südamerika durchgeführt wurden, belegt [Lehmann & Joseph 2009].

In diesem Regionalprojekt im Hochsauerlandkreis wird die Wirkung von TPS auf Baumwachstum und Böden auf, durch den Orkan Kyrill entstandenen, Windwurfflächen und Weihnachtsbaumanbauflächen untersucht. Dabei steht die Frage nach der optimalen Versorgung der Jungbäume und der möglichen Nutzung von TPS als Depotdünger (als Alternative zur konventionellen Düngung) im Vordergrund.

### **Material und Methoden**

In der Studie werden sowohl Lysimeter- als auch Freilandversuche durchgeführt.

Der Lysimeterversuch umfasst mehrere Varianten, bei denen TPS Materialien mit unterschiedlicher Zusammensetzung (unter anderem TPS mit 15 und 30% Holzkohle) und Ausbringungsmengen (30 und 60 Tonn/ha) dem Waldboden der Windwurffläche beigemischt wurden. Außerdem wurden zwei Varianten mit Kompost (30 und 60T/ha) als Vergleichsvarianten eingerichtet. Es sind sowohl Varianten mit Fichten als auch Varianten mit Buchen vorhanden.

Im Lysimeterversuch wird das Sickerwasser auf gelöste Nährstoffe (Kohlenstoff, Stickstoff, Kalium und Magnesium) analysiert und somit die Auswaschung aus verschiedenen Varianten ermittelt. Die Bodenproben werden im halbjährlichen Abstand (Frühling und Herbst) entnommen und auf wichtige pflanzenverfügbare Nährstoffe (Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium) und allgemeine bodenchemische Parameter (pH, KAK) untersucht.

Im Rahmen des Freilandversuchs wurden zwei Versuchsflächen auf einer Windwurffläche und auf einer Weihnachtsbaumanbaufläche eingerichtet. Auf der Weihnachtsbaumfläche wurde das TPS Material flächenhaft und auf der Windwurffläche punktuell im Pflanzloch ausgebracht. Eine homogene flächenhafte Ausbringung ist auf einer Windwurffläche bedingt durch die natürlichen Gegebenheiten nicht möglich.

Auf den Freilandversuchsflächen wurden Parzellen mit zwei TPS Materialien (15 und 30% Holzkohle) eingerichtet.

Die Beprobung der Versuchsfläche auf der Weihnachtsbaumanbaufläche erfolgt halbjährlich (Frühling/Herbst) und es werden die gleichen Parameter wie im Lysimeterversuch erfasst. Hier erfolgt auch die Erfassung des Baumwachstums durch

Längenmessung. Es werden insgesamt 180 Fichten (aus verschiedenen Parzellen) erfasst.

Auf der Windwurffläche wird ausschließlich das Baumwachstum erfasst. Auch hier wird das Längenwachstum von insgesamt 180 Bäumen (Fichten und Buchen) ermittelt. Im weiteren Verlauf der Studie wird auch die Vitalität der Bäume (z.B. Chlorophyllmessungen) erfasst.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die Studie befindet sich in einer frühen Phase und kann angesichts der langfristigen Prozesse, die hier untersucht werden, zurzeit noch keine sicheren Ergebnisse liefern. Insgesamt wird erwartet, dass das TPS ihre Wirkung erst mit der Zeit, nachhaltig, bedingt durch eine verbesserte Nährstoffspeicherung und steigende biologische Aktivität, entfaltet. Der Lysimeterversuch ermöglicht in diesem Zusammenhang in einer langfristigen Perspektive die Erfassung von Nährstoffbilanzen und somit des Potentials der Nährstoffspeicherung unterschiedlicher TPS Varianten.

Die ersten Analysen der Proben nach der Ausbringung des TPS Materials zeigen erhöhte Gehalte an wichtigen Nährstoffen, was durch die deutlich höheren Gehalte im TPS gegenüber dem Waldboden bedingt ist. Auch die Steigung der pH-Werte gegenüber der Kontrollvariante ist auf die deutlich höheren pH-Gehalte im TPS Material zurückzuführen. Als positiver Effekt zeichnet sich eine verringerte Stickstoffauswaschung bei den TPS-Varianten (vor allem TPS mit 30% Holzkohle) ab.

### **Literatur**

Lehmann, J.; Joseph, S. 2009: Biochar for Environmental management: Introduction. In: Lehmann, J.; Joseph, S. (Hrsg.) 2009: Biochar for Environmental management

## **Sorghum als Biogassubstrat – Ertragspotential bei optimaler und reduzierter Wasserverfügbarkeit**

Anja Hartmann

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

### **Einleitung**

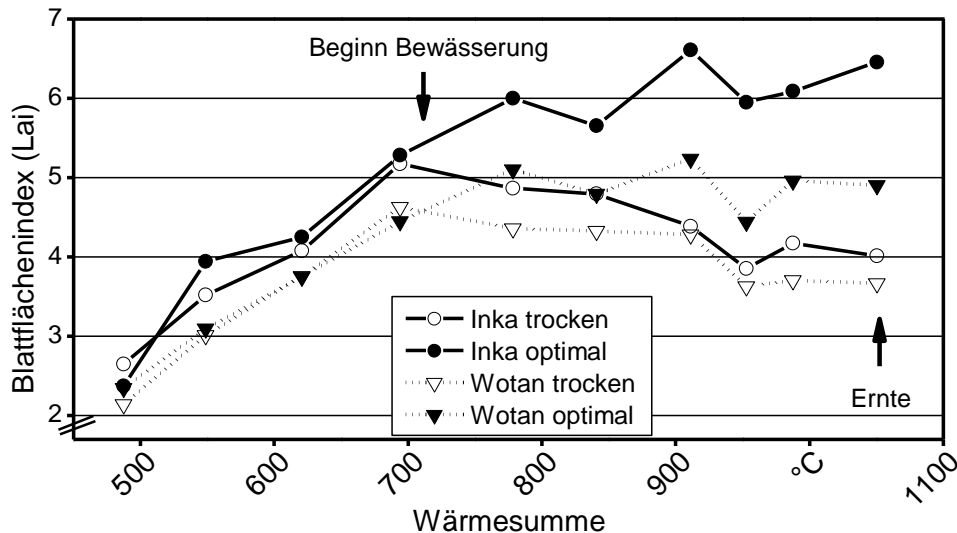
Für sommertrockene Standorte aber auch im Hinblick auf prognostizierte, zukünftig zunehmende Sommertrockenperioden sind Pflanzen interessant, die auch bei reduzierter Wasserverfügbarkeit hohe Erträge liefern können. Sorghum wird eben diese Eigenschaft nachgesagt und eignet sich zudem gut als Substrat für die Biogasproduktion. Roller et al. (2012) haben bereits das Ertragspotential von Sorghum bei guter Wasserversorgung am Standort Straubing unter Beweis gestellt. Ziel des Vorhabens war es die Auswirkungen von Wassermangel auf die Blattflächenentwicklung, die Ertragsleistung und die potentielle Methanausbeute von zwei Sorghumsorten zu untersuchen und einzuschätzen.

### **Material und Methoden**

Am Standort Aholting wurde 2009 ein Parzellenversuch mit den Sorghumsorten Inka (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) und Wotan (*Sorghum bicolor*) angelegt. Die Versuchsanlage bestand aus einem randomisierten Blockdesign mit vier Wiederholungen und zwei Varianten zur Wasserverfügbarkeit. Die Versuchspartellen (10,5 m<sup>2</sup>) wurden mit einer Aussaatstärke von 20 keimf. Körner/m<sup>2</sup> und einer Reihenweite von 75 cm am 25.05.2009 gesät. Eine Düngung von 120 kg N/ha sicherte die Nährstoffversorgung. Die Variante mit reduzierter Wasserverfügbarkeit („trocken“) wurde nicht bewässert. Der sandig-kiesige Boden am Standort weist eine hohe Durchlässigkeit auf, so dass es im Sommer zu Wassermangel kommt und die Flächen in der Regel von den Landwirten bewässert werden müssen. Für eine „optimale“ Wasserversorgung wurde eine Tröpfchenbewässerungsanlage installiert. Eine Bewässerung erfolgte ab 300 hPa Saugspannung im Boden, die an installierten Tensiometern abgelesen wurde. Die Variante „trocken“ hatte in der Vegetationsperiode 276 mm natürlichen Niederschlag zur Verfügung. Die Variante „optimal“ erhielt zusätzlich 133 mm Beregnungswasser. Die nicht destruktiven Messungen der Blattfläche (Lai = leaf area index) während wurden mit dem Lai 2000 Gerät durchgeführt (Li-Cor, Inc., Lincoln, NE). Die Ernte erfolgte mit einem reihenunabhängigen Häcksler am 13.10.2009 und wurde in einem Probenehmer zur Bestimmung des Trockenmasseertrages (TM-Ertrag) verwogen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Wie Abb.1 zeigt hatte die Kreuzungshybride Inka (*S. bic.* x *S. sud.*) bei optimaler Wasserversorgung zur Ernte mit LAI-Werten von 6,5 die größte Blattfläche entwickelt; sie lag damit deutlich über Wotan. Diese Unterschiede sind auf das höhere Bestockungsvermögen der Sudangrasybriden zurückzuführen. Bei Wassermangel wurde die Blattbildung beider Sorten deutlich reduziert. Die Beeinträchtigung der Entwicklung der Pflanzen schlug sich auch in einem verminderten Längenwachstum bzw. einer niedrigeren Bestandeshöhe nieder (siehe Tab. 1).



**Abb. 9:** Entwicklung der Blattflächen von zwei Sorghumsorten im Vegetationsverlauf unter trockenen Bedingungen und bei optimaler Wasserversorgung

Bei „optimaler“ Wasserversorgung wurden viel versprechende Trockenmasseerträge ermittelt. Die Sorte Inka hatte einen Ertrag von fast 170, die Sorte Wotan sogar über 200 dt TM/ha. Der Ertrag einer zur gleichen Zeit als Referenz angebauten Maissorte (187 dt TM/ha) wurde damit zumindest von der Sorte Wotan übertroffen. Die reduzierte Wasserversorgung machte sich mit einer Ertragsreduktion zwischen 21 und 27 % bemerkbar. Bezüglich des TS-Gehaltes wurden bei Wassermangel höhere TS-Gehalte festgestellt. Das Erreichen des für eine optimale Silierung angestrebten TS-Gehaltes von 28 % sollte hier kein Problem darstellen. Niedrigere Rohfasergehalte der „trockenen“ Varianten führten zu höheren Methanausbeuten je kg organischer Trockenmasse. Dies konnte jedoch den ertraglichen Nachteil dieser Variante nicht ausgleichen, so dass bei „optimaler“ Wasserversorgung ein deutlich höherer Methanertrag je Hektar berechnet wurde.

Die Ergebnisse zeigen, dass auch für den Sorghumanbau zur Absicherung hoher TM- und Methanerträge ausreichend Wasser vorhanden sein muss. Mit geeigneten Sorten können aber selbst bei Wassermangel standortabhängig noch 147 dt TM bzw. 4337 Nm<sup>3</sup> Methan je Hektar erzielt werden.

**Tab. 2:** Wesentliche Ernteparameter von zwei Sorghumsorten unter trockenen und bei optimaler Wasserversorgung

Variante	TS-Gehalt		Höhe*	Rohfaser	Methan <sup>#</sup>	
	in dt/ha	in %			in NI/kg oTM	in Nm <sup>3</sup> /ha
Inka „trocken“	133 ± 4	28 ± 1	266	23	341	4289
Inka „optimal“	169 ± 8	26 ± 1	315	27	325	5155
Wotan „trocken“	147 ± 7	31 ± 1	287	29	312	4337
Wotan „optimal“	201 ± 18	30 ± 1	352	32	299	5709

\*Bestandeshöhe zur Ernte, <sup>#</sup> berechnet nach Weißbach (2008) auf Basis des Rohfasergehaltes

## Literatur

- Roller, A.; Bloch, D.; Stickel, E.; Fritz, M. 2012: Sorghumhirse als nachwachsender Rohstoff. Sortenscreening und Anbauszenarien. Berichte aus dem TFZ, Nr. 28. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 158 Seiten
- Weißbach, F. 2008: Zur Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffe. Landtechnik, Jg. 6, Nr. 63, S. 356-358

## **Einfluss differenzierter organisch-mineralischer Düngung auf Wachstum- und Entwicklung sowie auf Ertrag und Ertragskomponenten von Sommergerste**

Thomas Gäbert<sup>1</sup>, Frank Ellmer<sup>1</sup> und Michael Baumecker<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin; <sup>2</sup> Humboldt-Universität zu Berlin, Lehr- und Forschungsstation Thyrow, Dorfstraße 9, 14974 Thyrow. E-Mail: thomas.gaebert@agrar.hu-berlin.de

### **Einleitung**

Sommergerste gilt als anspruchsvoll, was den Standort und dabei insbesondere den Zustand des Bodens angeht. Um die Reaktion der Gerste auf möglichst differenzierte, teilweise extreme Bodenbedingungen untersuchen zu können, wurden in einem Dauerfeldversuch Wachstum und Entwicklung sowie Ertrag und Ertragskomponenten der Sommergerste untersucht. Dabei standen die Auswirkungen des sehr unterschiedlich hohen pH-Wertes sowie des unterschiedlichen Gehaltes an organischem Kohlenstoff als Differenzierungsparameter im Mittelpunkt. Die Auswirkungen von Stickstoff-, Kalium- und Phosphormangel wurden ebenfalls untersucht.

### **Material und Methoden**

Der Statische Nährstoffmangelversuch Thyrow ist als einfaktorielle Blockanlage mit acht Prüfgliedern in vierfacher Wiederholung angelegt. Er enthält die folgenden Prüfglieder: Ohne Düngung (Kontrolle) / Stallmist / NPK, Stallmist und Kalk / NPK und Kalk / NPK / NP- und Kalk / N-P und Kalk / -PK und Kalk. Der am Standort vorherrschende Bodentyp ist eine Fahlerde-Braunerde. Die Bodenart in der Krume ist leicht bis mittel schluffiger Sand und im Unterboden ist vorwiegend sandiger Lehm anzutreffen. Die Grundbodenbearbeitung erfolgte mittels Pflugfurche im Herbst und nach konventioneller Saatbettbearbeitung fand Mitte März die Aussaat von 320 keimfähigen Körnern m<sup>-2</sup> der Sorte Catamaran statt. Das Entwicklungsstadium (BBCH, 2001) und die Bestandeshöhe wurden zweimal wöchentlich erfasst. Hinzu kommt die Quantifizierung des Blattflächenindex einmal in der Woche. Abschließend wurden der Ertrag, Ertragskomponenten und ausgewählte Qualitätsparameter bestimmt.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Das Wachstum und die Entwicklung verliefen zwischen den Prüfgliedern deutlich differenziert. Als wesentliche Ursache dafür können die erheblichen Unterschiede innerhalb der bodenchemischen Parameter C<sub>t</sub>, N<sub>t</sub>, P<sub>DL</sub>, K<sub>DL</sub> und pH-Wert ausgemacht werden. Beim Kohlenstoff zeigt sich besonders durch die Versorgung mit Stallmist ein höherer Gehalt. Auch mineralische NPK-Düngung weist im Vergleich zur Kontrolle einen höheren Gehalt auf, in Kombination mit Stallmist sogar den höchsten im Versuch. Vergleichbare Ergebnisse lassen sich auch beim Stickstoffgehalt feststellen. Infolge ausschließlicher mineralischer Grunddüngung (PK, mit Kalk) liegen die geringsten Gehalte beider Parameter vor. Ursache dafür ist der vermehrte Abbau bzw. Entzug von C und N infolge eines langjährig geringen, aber deutlich über der Kontrolle liegenden Pflanzenaufwuchses. Ebenfalls in Abhängigkeit von Düngung, Bindung im Boden und Entzug zeigen sich die Gehalte von P und K. Die Mangelvarianten zeigen die geringsten Werte, während nach organisch-

mineralischer Düngung die höchsten Gehalte erzielt werden. Durch den fehlenden Entzug durch die Pflanzen finden sich in der Variante PK mit Kalk ebenfalls sehr hohe Werte. Durch eine reine Stallmistdüngung werden nur geringe Mengen an P und K in den Boden eingebracht, jedoch reichen diese Mengen aus um den Auswaschungsverlust bei K auszugleichen. Der pH-Wert zeigt erwartungsgemäß die größte Abhängigkeit von der Kalkdüngung. So befinden sich die ungekalkten Parzellen durchweg in einem versauerten Zustand. Als Bemessungsgrundlage für die Kalkdüngung (Ziel-pH-Wert) dient die mineralische Volldüngung (NPK, mit Kalk), weshalb Prüfglieder mit geringerem Basenentzug durch geringeres Pflanzenwachstum (bspw. PK, mit Kalk) einen höheren pH-Wert aufweisen (Tab. 1).

**Tab. 1:** Bodenchemischer Zustand (mg 100 g<sup>-1</sup> Boden; 2010)

Prüfglied	C <sub>org</sub>	N <sub>t</sub>	P <sub>DL</sub>	K <sub>DL</sub>	pH
Kontrolle	331	26	6,1	3,3	4,5
Stallmist	554	46	6,5	6,4	4,8
NPK, mit Kalk, mit Stallmist	732	59	16,4	16,1	5,8
NPK, mit Kalk	435	38	9,4	12,0	5,8
NPK, ohne Kalk	434	55	8,8	8,3	4,4
NP, mit Kalk	382	31	8,9	2,5	5,6
NK, mit Kalk	386	27	4,0	11,7	6,2
PK, mit Kalk	319	25	13,0	15,4	6,2

Vor der Bestockung waren relativ einheitliche Pflanzdichten zu beobachten (Mittel 320 Pfl. m<sup>-2</sup>, Ausnahme Kontrolle: 280 Pfl. m<sup>-2</sup>). Während nach Abschluss der Triebbildung die Kontrolle bei nur noch 230 Trieben m<sup>-2</sup> lag, wurde in den Varianten Stallmist sowie in der N- und K-Mangelvariante mit etwa 360 Trieben m<sup>-2</sup> immerhin eine geringe Anzahl von Trieben gebildet. In beiden NPK Varianten mit bzw. ohne Kalk und in der P-Mangelvariante entwickelten die Pflanzen mehr Seitentriebe, so dass die Dichten durchschnittlich bei 500 Trieben m<sup>-2</sup> lagen. Mit 610 Trieben m<sup>-2</sup> wies die organisch-mineralisch Düngung das Maximum auf. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei der Bestandeshöhe. So hatten zum Zeitpunkt der größten Bestandeshöhe (Referenzparzelle: NPK, mit Kalk) die Gerstenpflanzen in der Kontrolle ihr Wachstum bereits nahezu eingestellt und sind nur 17 cm hoch geworden. Auch der Stickstoffmangel wirkte sich stark depressiv aus und ermöglichte nur eine Bestandeshöhe von 42 cm, während die organisch-mineralische, die volle mineralische und die P-Mangel Variante über 60 cm Bestandeshöhe aufweisen. Die übrigen Varianten lagen im Schnitt bei 55 cm. Die differenzierte Triebdichte wie auch das unterschiedliche Pflanzenwachstum schlugen sich auch im Blattflächenindex nieder, welcher während des Ährenschiebens die höchsten Werte aufwies. Der BFI in der Kontrolle blieb erwartungsgemäß unter 1 und die Varianten mit der höchsten Bestandeshöhe zeigten alle einen BFI über 2, bei der organisch-mineralische Variante fast 3. Die verbleibenden Prüfglieder wiesen Blattflächenwerte von im Schnitt 1,5 auf.

## Literatur

BBCH Arbeitskreis (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. 2. Aufl. Hrsg. BBA



## **Tanningehalte und Proteinbindungsvermögen sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe von Wiesenkräutern und alternativen Leguminosen**

Maike Hamacher, Ralf Loges und Friedhelm Taube

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität Kiel.  
E-Mail: mhamacher@gfo.uni-kiel.de

### **Einleitung**

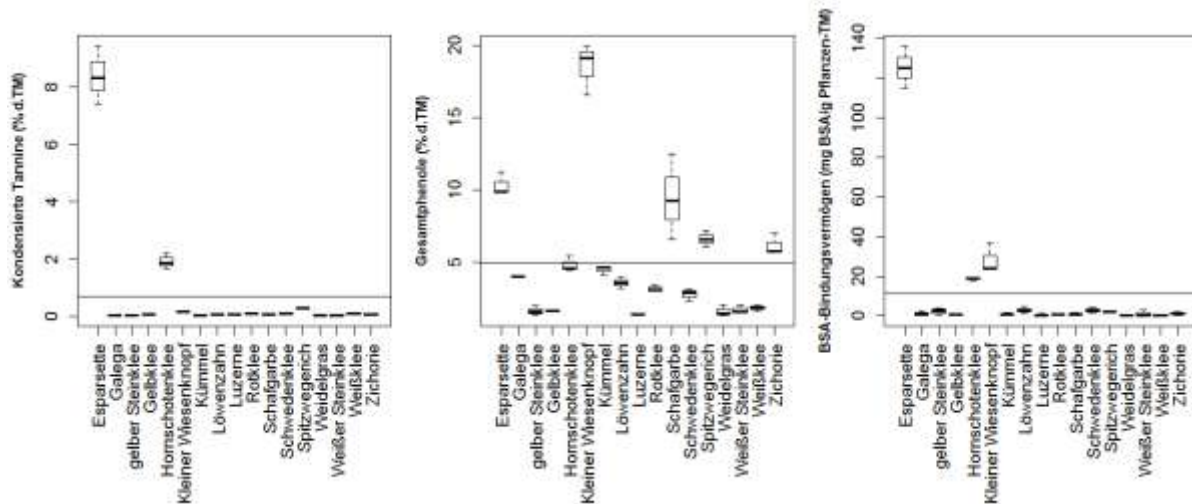
Einheimische Futterleguminosen wie Weißklee enthalten hohe Anteile schnell löslicher Stickstoffverbindungen. Übertrifft der ruminale Proteinabbau die mikrobielle Proteinneusynthese, ist mit erhöhten Stickstoffverlusten und einer verringerten Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) zu rechnen. Der Einsatz tanninhaltiger Futterpflanzen bietet eine vielversprechende Möglichkeit die ineffiziente Nutzung des Futterproteins zu reduzieren. Tannine besitzen die Fähigkeit Proteine pH-abhängig reversibel zu binden und so vor dem unproduktiven Abbau im Pansen zu schützen. Neben tropischen Bäumen wie Quebracho oder Akazie, zeigen auch die einheimischen Leguminosen Esparsette und Hornklee nennenswerte Mengen kondensierter Tannine (Häring et al., 2008). Wiesenkräutern wird zusätzlich zu sekundären Pflanzeninhaltsstoffen ebenfalls ein Vorkommen an Tanninen zugesprochen. Ziel des Projektes ist die Potentialanalyse von alternativen Futterleguminosen und Wiesenkräutern zu einer verbesserten Stickstoffnutzung in der Wiederkäuerernährung beizutragen. Eine erste Einschätzung erfolgte anhand der Gehalte an kondensierten Tanninen (CT), Gesamtphenolen (GP) und dem Vermögen das Modellprotein Bovines Serum Albumin (BSA) zu binden.

### **Material und Methoden**

Sechs Wiesenkräuterarten (Zichorie, Kleiner Wiesenknopf, Spitzwegerich, Löwenzahn, Kümmel, Schafgarbe), Deutsches Weidelgras und zehn Futterleguminosen (Gelber und Weißer Steinklee, Weißklee, Rotklee, Gelbklee, Schwedenklee, Galega, Esparsette, Luzerne, Hornklee) wurden in einem zweijährigen Versuch (drei Wiederholungen, Split-Plot-Design) auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsgut Lindhof (sL, Ø 40 Bodenpunkte) etabliert. Die Laboranalysen wurden anhand gefriergetrockneter Proben des ersten Aufwuchses (31.05.2010) des ersten Hauptnutzungsjahres durchgeführt. Die Gehalte an kondensierten Tanninen und Gesamtphenolen wurden kolorimetrisch mittels der Butanol-HCl-Methode und der Folin-Ciocalteu-Methode bestimmt. Die Erfassung des BSA-Bindungsvermögens erfolgte modifiziert nach Osbourne und McNeill (2001). Zusätzlich wurde die Zusammensetzung des Rohproteins gemäß dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System bestimmt.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Es konnte kein eindeutiges Verhalten der Arten bezüglich der untersuchten Parameter gezeigt werden. Entsprechend den Erwartungen zeigten Esparsette und Hornschotenklee überdurchschnittliche Gehalte an kondensierten Tanninen. Deutlichere Variationen wiesen die Gesamtphenolgehalte auf (Abb. 1). Im Gegensatz zu Esparsette und Hornklee sind die hohen Phenolkonzentrationen von Schafgarbe, Spitzwegerich, Zichorie, Kümmel und Kleiner Wiesenknopf nicht auf ebenso hohe CT-Konzentrationen zurückzuführen.



**Abb. 1:** Statistische Verteilung und jeweiliges Gesamtmittel (-) der CT- und GP-Konzentrationen und dem BSA-Fällungsvermögen aller 17 Arten (erster Aufwuchs im ersten Hauptnutzungsjahr 2010)

Ein signifikant über dem Gesamtmittel liegendes BSA-Bindungsvermögen konnte für Esparsette, Hornklee und Kleinen Wiesenknopf ermittelt werden. Für die Gruppe der untersuchten Leguminosen zeigte sich ein positiver Zusammenhang zwischen dem BSA-Bindungsvermögen und der CT-Konzentration ( $R^2 = 0,98$ ,  $p \leq 0,001$ ). Für die Gruppe der Kräuter gilt gleiches hinsichtlich der Beziehung der GP-Gehalte und dem BSA-Bindungsvermögen ( $R^2 = 0,73$ ,  $p \leq 0,001$ ).

Dem Kieler Versuch lag die Hypothese zu Grunde, dass für tanninhaltige Arten eine hinsichtlich der NUE günstigere Verteilung der Stickstofffraktionen (geringere Anteile Fraktion A zu Gunsten der Fraktionen B3 und C) zu erwarten ist. Für Esparsette konnte mit 20% ein geringer Anteil an leicht löslichem Stickstoff, sowie ein deutlich über dem Mittel liegender Anteil an Fraktion C-Stickstoff gezeigt werden. Obwohl Letzterer dem Tier nicht zur Verfügung steht, ist ein erhöhter Anteil aufgrund reduzierter Umweltwirkung des ausgeschiedenen Stickstoffs sowie einer geringeren Belastung des tierischen Stoffwechsels positiv zu bewerten. Für Hornklee zeigte sich im Vergleich zu Luzerne, Rot- und Weißklee eine günstigere Verteilung des Stickstoffs. Im Vergleich zur Esparsette weist diese jedoch nicht auf einen Proteinschutzmechanismus der enthaltenen Tannine hin. Eine Erklärung liefern die geringere Konzentration und eine vermutete geringere Bindungskapazität der kondensierten Tannine des Hornklees. Überraschendes Potential konnte für den Kleinen Wiesenknopf ausgemacht werden: Trotz niedriger messbarer CT-Gehalte, lässt das BSA-Bindungsvermögen und die Verteilung der Proteinfraktionen auf hohe Anteile an pansenstabilem Protein schließen.

## Literatur

Häring, D., Scharenberg, A., Heckendorn, F., Dohme, F., Lüscher, A., Maurer, V., Suter, D. & H. Hertzberg (2008): Tanniferous forage plants: Agronomic performance, palatability and efficacy against parasitic nematodes in sheep. *Renewable Agriculture and Food Systems*: 23, 19-29.

Osborne, N. und McNeill, D. (2001): Characterisation of Leucaena condensed tannins by size and protein precipitation capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*: 81, 1113-1119.

## **Impact of fertilization on crop yield anomalies in the long-term experiment Dikopshof**

Hubert Hüging, Stefan Siebert and Frank Ewert

Institute of Crop Science and Resource Conservation, University of Bonn, Bonn. E-Mail: h.hueging@uni-bonn.de

### **Introduction**

While it is well agreed in the scientific literature that fertilization has a major impact on crop yields, little knowledge is available so far on the impact of different fertilization treatments on magnitude and direction of yield anomalies.

### **Material and Methods**

In the present study we analyzed the impact of the fertilization treatment (no fertilizer application; synthetic fertilizer; manure; synthetic fertilizer and manure) on yield anomalies of winter wheat, winter rye, sugar beet and potatoes observed for the period 1953 to 2009 at the long-term experiment Dikopshof (Wesseling, Germany). To detrend the time series, yield anomalies were computed as difference of crop yields in a specific year to 11-year moving average crop yields. Furthermore we investigated variability and trends in yield anomalies.

### **Results and Discussion**

We found that the fertilization treatment had little effect on mean yield anomalies computed for the whole period.

Absolute values of yield anomalies were largest for crops with the highest yield, namely sugar beet and potatoes. However, despite of large differences in crop yields between fertilizer treatments, the median and mean of yield anomalies for winter wheat, winter rye and sugar beet were very similar between the treatments. Similarities in absolute yield anomalies and large differences in yield levels between the treatments and large differences in 11-year moving average yields resulted in larger relative yield anomalies in the unfertilized treatment as compared to the fertilized treatments. For the sugar beet we identified a relatively high increase of the relative yield anomalies in the unfertilized treatment over the time.

In contrast, magnitude and direction of yield anomalies for specific years were affected by fertilization with the largest disagreement between yield anomalies time series of the unfertilized treatment and the treatment with synthetic fertilizer and manure ( $r^2 = 0.09 - 0.17$ ). This means that the impact of other yield-determining factors like climate or occurrence of weeds, pests or diseases was strongly modified by type and amount of applied fertilizers. This needs to be considered in particular for statistical analyses when correlating time series of climate variables to time series of crop yields.

## Optimierung der Wintergerstendüngung unter Berücksichtigung des Biomasseaufwuchses

Andreas Kern<sup>1</sup> und Franz-Xaver Maidl<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft, Freising;

<sup>2</sup>TU München, Lehrstuhl für ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising.

E-Mail: andreas.kern@hswt.de

### Einleitung

Zur Steuerung der Stickstoffdüngung von Getreide stehen verschiedene Systeme der Bodenuntersuchung und der N-Simulation zur Verfügung. Hier soll über ein Verfahren berichtet werden, das sich an der ertragsabhängigen Stickstoffaufnahme der Pflanzen orientiert.

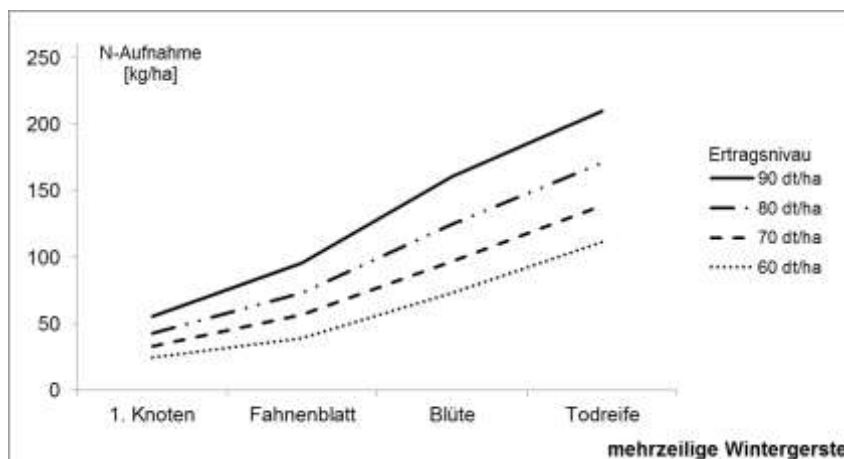
### Material und Methoden

Auf mehreren Standorten um Freising sowie auf der Versuchsstation Roggenstein wurden in den letzten Jahren Stickstoffdüngungsversuche zu zwei- und mehrzeiliger Wintergerste durchgeführt. Die Versuche umfassen 12 bis 16 N-Stufen von 0 bis 230 kg N/ha. Ein wichtiges Kriterium für die Standortwahl war stets die Ertragsfähigkeit. In den Versuchen wurden zu 5 Terminen (BBCH 30, 32, 49, 65, Totreife) Biomasseproben entnommen und diese auf den N-Gehalt untersucht um den TM-Ertrag und die N-Aufnahme ableiten zu können. Zur Totreife erfolgte eine Trennung nach Korn und Stroh, um die angegebenen Parameter an Korn und Stroh bestimmen zu können.

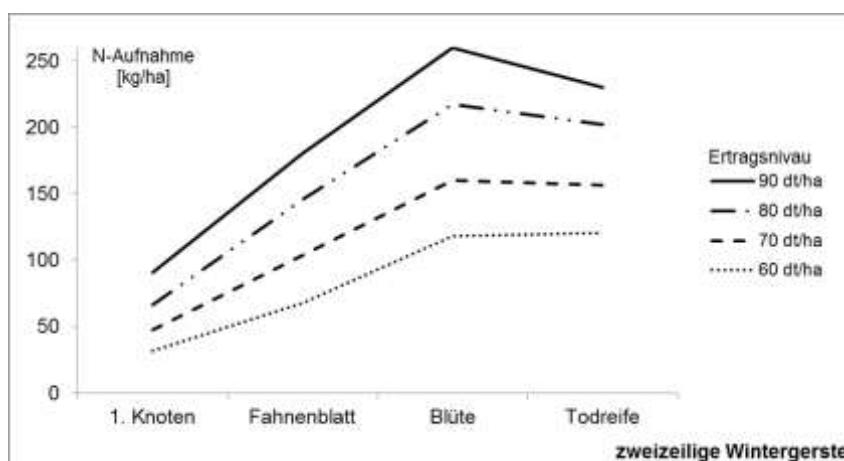
### Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 und 2 zeigen den Verlauf der optimalen N-Aufnahme von zwei- und mehrzeiliger Wintergerste in Abhängigkeit vom Ertragspotential. Sowohl bei zwei- als auch bei mehrzeiliger Wintergerste ist eine deutliche Abstufung der optimalen Stickstoffaufnahme in Abhängigkeit des Ertragspotentials festzustellen. Um den gleichen Ertrag wie bei der mehrzeiligen Gerste realisieren zu können sind bei der zweizeiligen Gerste stets höhere N-Aufnahmemengen notwendig. Besonders groß sind die Unterschiede in der optimalen N-Aufnahme zwischen beiden Gerstenformen bis zur Blüte. Bei der mehrzeiligen Wintergerste wurde die maximale N-Aufnahme stets zur Ernte erreicht, während bei der zweizeiligen Wintergerste die maximale N-Aufnahme stets zur Blüte gegeben war. Die höhere N-Aufnahme der zweizeiligen Wintergerste resultiert sowohl aus höheren Biomasseaufwüchsen als auch auf höheren N-Gehalten in der Biomasse.

Ziel dieser Untersuchungen war die N-Aufnahme von Wintergerste aus dem Biomasseaufwuchs zu schätzen. In Abbildung 3 sind die Faktoren zur Umrechnung des Frischmasseertrags (kg/m<sup>2</sup>) in die Stickstoffaufnahme (kg N/ha) angegeben. Die Faktoren unterscheiden sich zwischen zwei- und mehrzeiliger Wintergerste als auch bei einer Art zwischen den EC-Stadien. Da die Aufnahme nur wenig von der N-Konzentration in der Biomasse beeinflusst wird, war der Schätzfehler mit maximal 8 % erstaunlich niedrig. Aus der tatsächlichen N-Aufnahme und der Kenntnis der optimalen N-Aufnahme lässt sich der Düngerbedarf über einen entsprechenden Algorithmus ableiten.



**Abb. 1:** Verlauf der N-Aufnahme von mehrzeiliger Wintergerste in Abhängigkeit vom Ertragsniveau und Entwicklungsstadium



**Abb. 2:** Verlauf der N-Aufnahme von zweizeiliger Wintergerste in Abhängigkeit vom Ertragsniveau und Entwicklungsstadium

mehrzeilige Wintergerste:		zweizeilige Wintergerste:	
BBCH	Faktoren	BBCH	Faktoren
30 - 31	57	30 - 31	73
32 - 39	43	32 - 39	50
45 - 59	42	45 - 59	47
60 - 67	47	60 - 67	45

**Abb. 3:** Faktoren zur Schätzung der N-Aufnahme von zwei- und mehrzeiliger Wintergerste unter Berücksichtigung des Entwicklungsstadiums

### Literatur

Schmid, A., 2007: Erfassung des aktuellen Stickstoffstatus von Kulturpflanzen mit berührungsloser Sensorik zur Optimierung der teilflächenspezifischen Bestandesführung. Diss. Weihenstephan, Herbert Utz Verlag München.

Schächtl, J., 2004: Sensorgestützte Bonitur von Aufwuchs und Stickstoffversorgung bei Weizen- und Kartoffelbeständen. Diss. Weihenstephan, Shaker Verlag Aachen

## **Einfluss unterschiedlicher N-Düngestrategien auf den Stroh- und Kornertrag sowie den Harvest-Index bei einem Winterweizen - Kompensationstyp**

Thomas Makary<sup>1</sup>, Rudolf Schulz<sup>1</sup>, Carola Pekrun<sup>2</sup> und Torsten Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Düngung und Bodenstoffhaushalt (340i) Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart, <sup>2</sup>Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Fg. Pflanzenbau, 72622 Nürtingen E-Mail: Thomas.Makary@uni-hohenheim.de

### **Einleitung**

Winterweizensorten unterscheiden sich hinsichtlich der Harvest-Indices und somit in den Korn- und Stroherträgen. Dieses sortenspezifische Merkmal kann auch über das N-Düngeregime beeinflusst werden. Eine N-Düngung zu BBCH 25/27 bedeutet i.d.R. einen starken Biomassezuwachs und somit einen erhöhten Strohertrag. Im Gegensatz zu den Biomasse produzierenden Betrieben (Biogas), besteht das vordergründige Produktionsziel von Marktfruchtbetrieben im Erreichen hoher Kornerträge und Rohproteingehalte. In der Praxis werden jedoch häufig bereits zu frühen Terminen hohe N-Gaben appliziert, um mögliche N-Mangelsituationen zu vermeiden. Ziel dieses Versuchs war es, unterschiedliche Düngestrategien mit Kalkammonsalpeter (KAS) auf den Harvest-Index bei einem Winterweizen-Kompensationstyp zu untersuchen.

### **Material und Methoden**

Neben der konventionellen dreigeteilten N-Düngung wurden gabenreduzierte Varianten bei gleicher N-Düngungshöhe getestet (Tab.1). Das N-Düngungsniveau lag auf Standort 1 bei 155kg, auf Standort 2 bei 185 kg und auf Standort 3 bei 180 kg N ha<sup>-1</sup>.

**Tab. 1:** Gabenaufteilung der Düngevarianten

	<b>BBCH 25/27</b>	<b>BBCH 29/31</b>	<b>BBCH 49/51</b>
3xKAS betriebsüblich	30%	40%	30%
2xKAS spät		70%	30%
1xKAS früh	100%		
1xKAS spät		100%	

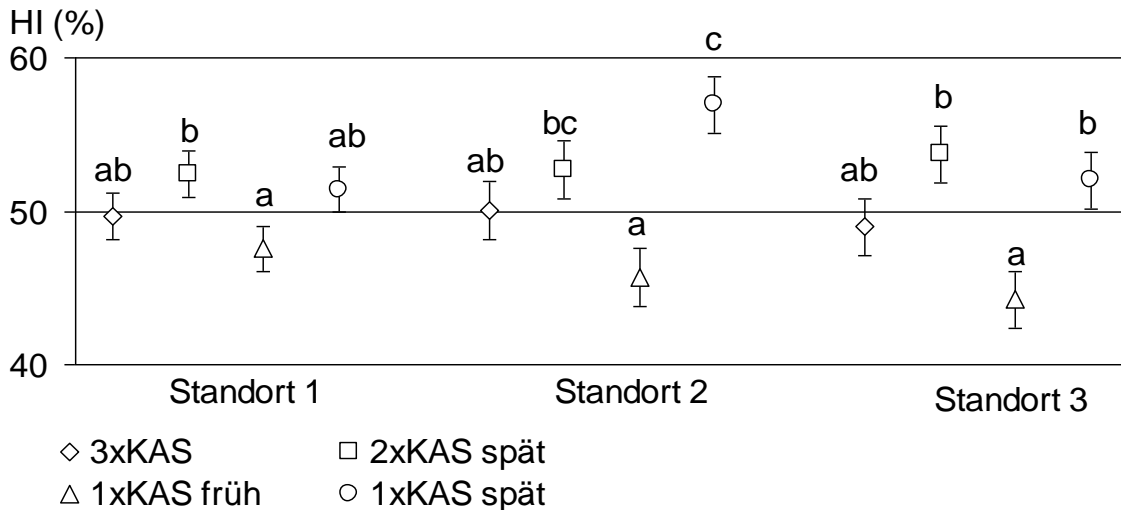
Weiter wurden neben Korn- und Stroherträgen die N-Gehalte im Korn und damit die Rohprotein-Gehalte (Faktor 5,7) ermittelt.

Zudem wurden die Harvest-Indices [(Kornertrag\*100)/Gesamtertrag] berechnet.

Versuchsstandorte waren drei tiefgründige Parabraunerden aus Löß in Südwestdeutschland, auf denen die Versuche vier- bis fünffach wiederholt als Blockanlage angelegt wurden.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Zwischen den Düngevarianten konnten signifikante Unterschiede in den Harvest-Indices berechnet werden. So zeigten sich an allen drei Standorten die geringsten Harvest-Indices bei der Variante 1xKAS früh und die höchsten bei den Varianten 2xKAS spät und 1xKAS spät (Abb. 1). Detaillierter lässt sich dies bei den Stroh- und Kornerträgen der einzelnen Varianten nachvollziehen. So zeigten sich am Standort 1 zwar keine signifikanten Unterschiede im Strohertrag der einzelnen Varianten, jedoch erbrachte die Variante 2xKAS spät bei vergleichbarem Strohertrag gegenüber der Variante 3xKAS einen signifikant höheren Kornertrag (Tab.2).



**Abb. 1:** Harvest-Indices der Düngevarianten auf den verschiedenen Standorten (unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, t-Test bei  $p < 0,05$ , Fehlerbalken= Standardfehler, HI= Harvest-Index)

Deutlicher war dieser Effekt auf Standort 2 und 3 zu beobachten. Die Varianten 1xKAS spät und 2xKAS spät erzielten die gleichen Kornerträge wie die Varianten 1xKAS früh oder 3xKAS, allerdings bei ca.  $2 \text{ t ha}^{-1}$  weniger Strohertrag. Die Variante 1xKAS früh zeigte in nahezu allen Fällen signifikant geringeren Rohproteingehalte als eine der Varianten 1xKAS spät, 2xKAS spät oder 3xKAS.

**Tab. 2:** Korn- und Stroherträge ( $\text{t TM ha}^{-1}$ ) sowie Rohproteingehalte (% XP in TM) der Düngevarianten an den einzelnen Standorten (unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, t-Test bei  $p < 0,05$ )

	Standort 1			Standort 2			Standort 3		
	Korn	Stroh	XP	Korn	Stroh	XP	Korn	Stroh	XP
3xKAS	6,8 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>	15,9 <sup>b</sup>	7,8 <sup>a</sup>	7,9 <sup>bc</sup>	15,3 <sup>b</sup>	6,8 <sup>a</sup>	7,1 <sup>b</sup>	13,0 <sup>ab</sup>
2xKAS spät	7,6 <sup>b</sup>	6,9 <sup>a</sup>	16,2 <sup>b</sup>	7,4 <sup>a</sup>	6,6 <sup>ab</sup>	16,4 <sup>c</sup>	6,5 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>	14,0 <sup>b</sup>
1xKAS früh	7,0 <sup>ab</sup>	7,9 <sup>a</sup>	14,4 <sup>a</sup>	7,3 <sup>a</sup>	8,6 <sup>c</sup>	13,4 <sup>a</sup>	6,9 <sup>a</sup>	8,7 <sup>b</sup>	11,6 <sup>a</sup>
1xKAS spät	7,3 <sup>ab</sup>	7,0 <sup>a</sup>	15,6 <sup>b</sup>	7,9 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>	15,8 <sup>bc</sup>	6,1 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>	13,2 <sup>b</sup>

Die Ergebnisse zeigen, dass durch eine hohe N-Applikation zu einem frühen Zeitpunkt (BBCH 25/27) der Strohertrag erhöht werden kann, so dass sich bei gleichen Kornerträgen wie bei einer stärkeren Betonung der späten N-Applikationen geringere Harvest-Indices ergeben. Durch eine frühe N-Applikation erhöht sich allerdings das Risiko, geringere Rohproteingehalte zu erzeugen, wie die Variante 1xKAS früh zeigt.

## Ist eine gezielte Bestandesführung bei modernen Winterweizen-Sortentypen noch notwendig?

Thomas Makary<sup>1</sup>, Rudolf Schulz<sup>1</sup>, Torsten Müller<sup>1</sup> und Carola Pekrun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Düngung und Bodenstoffhaushalt (340i) Universität Hohenheim 70593 Stuttgart, <sup>2</sup>Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Fg. Pflanzenbau 72622 Nürtingen E-Mail: Thomas.Makary@uni-hohenheim.de

### Einleitung

Die N-Düngung zu Winterweizen erfolgt traditionell in Teilgaben zu Vegetationsbeginn Mitte Bestockung (BBCH 25), Beginn Schossen (BBCH 29/31) und Beginn Ährenschieben (BBCH 49/51), wobei die jeweilige Düngermenge bei verschiedenen Sortentypen unterschiedlich hoch ist. Demnach müssten Bestandesdichtetypen (BT) mit hoher Bestockungsneigung bei einer späten ersten N-Gabe zu BBCH 29/31 geringere Erträge haben, während bei Einzelährentypen (ET) ein Verschieben der ersten Gabe auf den Schossbeginn keine Ertragsverluste zur Folge haben dürfte. Ziel dieses Versuchs war es, bei Sorten mit unterschiedlicher Bestockungsneigung die Wirkung der Aufteilung der N-Düngung mit Kalkammonsalpeter (KAS) zu testen.

### Material und Methoden

In einer randomisierten Blockanlage mit 4 Wiederholungen wurden an einem Kompensationstyp (KT, Einstufung: 5), einem Bestandesdichtetyp (BT, Einstufung: 6) und einem Einzelährentyp (ET, Einstufung: 4) (Beschreibende Sortenliste, 2011) die in Tabelle 1 dargestellten Düngestrategien getestet. Neben Kornerträgen wurden die Ertragskomponenten Ähren je m<sup>2</sup>, Körner/Ähre und die Tausendkornmasse bestimmt. Um die Rohproteingehalte zu errechnen, wurden die ermittelten N-Gehalte im Korn mit dem Faktor 5,7 multipliziert. Das N-Düngungsniveau lag bei allen Sortentypen und Düngevarianten bei 180 kg ha<sup>-1</sup>. Versuchsstandort war ein tiefgründiger Lößboden in Südwestdeutschland.

**Tab. 3:** N- Gabenaufteilung der Düngevarianten

	BBCH 25/27	BBCH 29/31	BBCH 49/51
3xKAS betriebsüblich	30%	40%	30%
2xKAS früh	70%		30%
2xKAS spät		70%	30%
1xKAS früh	100%		
1xKAS spät		100%	

### Ergebnisse und Diskussion

Generell konnten bei den drei untersuchten Sortentypen zwischen den getesteten Düngevarianten keine signifikanten Kornertragsunterschiede gemessen werden. Allerdings zeigten die Sortentypen bei den Varianten 3xKAS, 2xKAS spät und 1xKAS spät jeweils die höchsten Rohproteingehalte, während die Variante 1xKAS früh die niedrigsten Gehalte aufwies. Zudem konnten bei dem Kompensations- und dem Bestandesdichtetyp zwischen den Varianten 1xKAS früh und 2xKAS früh signifikante Unterschiede im Rohproteingehalt gemessen werden. Der Einzelährentyp zeigte diese Unterschiede nicht.

Die Ertragsstrukturanalyse ergab für den Kompensationstyp bei der Variante 1xKAS früh gegenüber den Varianten mit spätem Applikationstermin und der Variante



3xKAS eine signifikant höhere Bestandesdichte. Im Gegensatz dazu zeigten sich bei der Variante 1xKAS früh bei allen Sortentypen signifikant geringere Tausendkornmassen. Die Ertragskomponente Körner/Ähre ließ bei allen drei Sortentypen keine eindeutige Interpretation zu (Tab. 2).

**Tab. 4:** Ertrag, Rohproteingehalte und Ertragskomponenten im Vergleich (ET= Einzelährentyp, KT= Kompensationstyp, BT= Bestandesdichtetyp, TM= Trockenmasse, XP= Rohprotein, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, t-Test bei  $p < 0,05$ )

		3xKAS	2xKAS früh	2xKAS spät	1xKAS früh	1xKAS spät
E T	Kornertrag t TM ha <sup>-1</sup>	7,2 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>	7,2 <sup>a</sup>	7,6 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>
	% XP in TM	12,2 <sup>bc</sup>	11,6 <sup>ab</sup>	13,2 <sup>d</sup>	11,0 <sup>a</sup>	12,4 <sup>c</sup>
	Ähren m <sup>-2</sup>	474 <sup>ab</sup>	360 <sup>a</sup>	398 <sup>ab</sup>	509 <sup>b</sup>	413 <sup>ab</sup>
	Körner/Ähre	32 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	33 <sup>a</sup>	35 <sup>a</sup>	34 <sup>a</sup>
	Tausendkornmasse	53,4 <sup>c</sup>	52,7 <sup>bc</sup>	53,4 <sup>c</sup>	49,0 <sup>a</sup>	51,2 <sup>b</sup>
K T	Kornertrag t TM ha <sup>-1</sup>	6,8 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	6,5 <sup>a</sup>	6,9 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>
	% XP in TM	13,0 <sup>b</sup>	12,8 <sup>b</sup>	14,0 <sup>c</sup>	11,6 <sup>a</sup>	13,2 <sup>bc</sup>
	Ähren m <sup>-2</sup>	479 <sup>ab</sup>	555 <sup>bc</sup>	391 <sup>a</sup>	609 <sup>c</sup>	428 <sup>a</sup>
	Körner/Ähre	33 <sup>ab</sup>	25 <sup>a</sup>	36 <sup>b</sup>	26 <sup>a</sup>	32 <sup>ab</sup>
	Tausendkornmasse	51,4 <sup>b</sup>	51,6 <sup>bc</sup>	53,2 <sup>c</sup>	49,0 <sup>a</sup>	51,6 <sup>bc</sup>
B T	Kornertrag t TM ha <sup>-1</sup>	6,6 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>	6,8 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>
	% XP in TM	12,9 <sup>bc</sup>	12,6 <sup>b</sup>	13,4 <sup>c</sup>	11,3 <sup>a</sup>	12,9 <sup>b</sup>
	Ähren m <sup>-2</sup>	426 <sup>a</sup>	470 <sup>a</sup>	509 <sup>a</sup>	430 <sup>a</sup>	430 <sup>a</sup>
	Körner/Ähre	33 <sup>ab</sup>	28 <sup>ab</sup>	25 <sup>a</sup>	33 <sup>ab</sup>	35 <sup>b</sup>
	Tausendkornmasse	56,4 <sup>bc</sup>	54,7 <sup>bc</sup>	57,2 <sup>d</sup>	50,9 <sup>a</sup>	53,4 <sup>b</sup>

Den Ergebnissen zufolge scheint eine dreigeteilte N-Düngung zu Winterweizen aufgrund des hohen Kompensationsvermögens moderner Sorten nicht mehr zwingend notwendig zu sein, um hohe Erträge und Rohproteingehalte zu erzielen.

#### Literatur

Beschreibende Sortenliste 2011

[http://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/bsl\\_getreide\\_2011.pdf](http://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/bsl_getreide_2011.pdf)

f

## Wirkungen erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentration und Trockenstress auf das Wurzelwachstum von Mais und Sorghum

Benedikt Paeßens<sup>1</sup>, Andreas Pacholski<sup>1</sup>, Remy Manderscheid<sup>2</sup>, Hans-Joachim Weigel<sup>2</sup> und Henning Kage<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Acker- und Pflanzenbau, Kiel; <sup>2</sup>Johann Heinrich von Thünen Institut, Institut für Biodiversität, Braunschweig.  
E-Mail: paessens@pflanzenbau.uni-kiel.de

### Einleitung

Im Zuge des Klimawandels werden die Niederschläge in Deutschland in der Vegetationsperiode zurück- und vermehrt als Starkregen niedergehen. In Kombination mit prognostizierten, steigenden Temperaturen wird es dann voraussichtlich zu häufiger auftretenden Trockenstressereignissen kommen. C<sub>4</sub>-Pflanzen sind durch ihren Stoffwechsel besser an Trockenstress und hohe Temperaturen angepasst als C<sub>3</sub>-Pflanzen. Insbesondere ist Sorghum durch sein ausgeprägtes Wurzelsystem gut an Trockenheit adaptiert. Die steigende atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration [CO<sub>2</sub>] führte bei Sorghum unter Trockenstress zu einer Wachstumssteigerung (Ottman et al., 2001). Auch in wenigen Jahrzehnten, wenn sich die Auswirkungen des Klimawandels deutlich zeigen werden, sollten ertragreiche und an die neuen Gegebenheiten angepasste Pflanzen für die Landwirtschaft zur Verfügung stehen. In einem Feldversuch sollte untersucht werden, ob sich das Wurzelwachstum von Mais und Sorghum unter [CO<sub>2</sub>] und Trockenstress unterscheidet. und Sorghum in Mitteleuropas unter diesen Bedingungen gegenüber Mais vorzugswürdig ist.

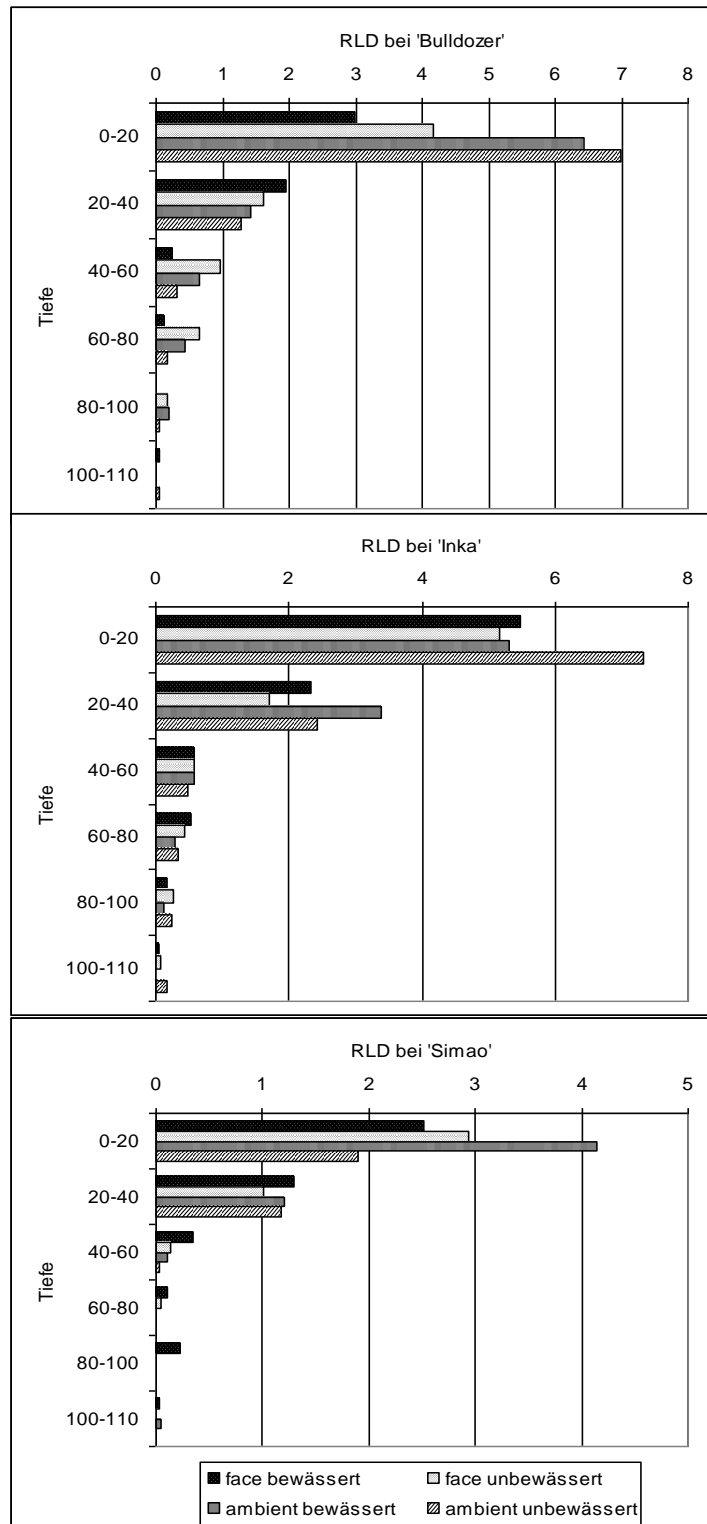
### Material und Methoden

Auf dem Versuchsfeld des Johann Heinrich von Thünen Instituts in Braunschweig wurden sechs Versuchsflächen zur Untersuchung der Spross- und Wurzelentwicklung von einer Maissorte (*Zea mays* L. cv. ‚Simao‘) und zwei Sorghumsorten (*Sorghum bicolor* Moench cv. ‚Bulldozer‘ und *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* cv. ‚Inka‘). angelegt. Jeweils eine Hälfte eines Plots wurde mit ausreichend Wasser versorgt, während auf der anderen Hälfte durch eine Zeltkonstruktion Trockenstress erzeugt wurde. In drei Plots wurde [CO<sub>2</sub>] mit Hilfe einer Free Air Carbon dioxide Enrichment Anlage auf 600 ppm erhöht. Die anderen drei Plots wurden unter aktueller [CO<sub>2</sub>] als Kontrolle belassen. Zwischen dem 04.10.2011 und dem 06.10.2011 wurden zur Ernte Wurzelproben aus der Mitte zwischen den Reihen (Reihenabstand 75 cm) genommen. Hierzu diente eine Bohrsonde mit einer Länge von 110 cm und einem Durchmesser von 9,5 cm. Die Bodenproben wurden in fünf 20 cm lange und einer 10 cm langen Teilprobe aufgeteilt. Die Wurzeln wurden mit einer Wurzelwaschanlage vom Boden getrennt und dann gereinigt. Die gesäuberten Proben wurden gescannt und mit dem Computerprogramm WinRhizo Wurzellängendichten (RLD) bestimmt.

### Ergebnisse und Diskussion

Die drei Kulturen zeigten eine unterschiedliche Reaktion der RLD auf die gesteigerte [CO<sub>2</sub>] (Abb. 1). Der Sorghum ‚Bulldozer‘ wies in der obersten Schicht (0-20 cm) eine

Reduktion der RLD unter gesteigerter  $[\text{CO}_2]$  gegenüber aktueller  $[\text{CO}_2]$  auf. Ab 40 cm Tiefe hatte die unbewässerte Variante durchgehend mit gesteigerter  $[\text{CO}_2]$  für die jeweilige Tiefe die höchste RLD. Bei Sorghum ‚Inka‘ lagen die RLD-Werte der Varianten mit gesteigerter  $[\text{CO}_2]$  stets niedriger oder ähnlich wie die Varianten unter aktueller  $[\text{CO}_2]$ . Insgesamt zeigte der Mais ‚Simao‘ sehr geringe RLD-Werte, die ab einer Tiefe von 40 cm ziemlich stark abnahmen. Gesteigerte  $[\text{CO}_2]$  führten bis 40 cm Tiefe zu keiner Erhöhung der RLD, tiefer als 40 cm fanden sich die höchsten RLD-Werte bei gesteigerter  $[\text{CO}_2]$  und Bewässerung. Die Stimulation des Wurzelwachstums unter Trockenstress bei gesteigerter  $[\text{CO}_2]$  bei ‚Bulldozer‘ ab 40 cm Tiefe könnte ein Teilaspekt einer ähnlich schon von Ottman et al. 2001 bei Sorghum beobachteten Trockenadaptation sein. Bei ‚Inka‘ war keine Tendenz auszumachen, während sich bei ‚Simao‘ sogar ein positiver  $\text{CO}_2$ -Effekt auf die RLD unter Bewässerung zeigte. Dieser Effekt könnte eventuell durch eine geringere Plastizität des Wurzelwachstums bei Mais in Abhängigkeit von Umweltfaktoren sein. Sorghum scheint auch in Mitteleuropa aufgrund seines stärker entwickelten und anpassungsfähigeren Wurzelsystems besser an Trockenheit adaptiert zu sein.



**Abb. 1:** RLD bei ‚Bulldozer‘, ‚Inka‘ und ‚Simao‘ die Tiefe. Face = erhöhte  $[\text{CO}_2]$  (600 ppm), ambient = aktuelle  $[\text{CO}_2]$

## Literatur

Ottman, M. J., B. A. Kimball, P. J. Pinter, G. W. Wall, R. L. Vanderlip, S. W. Leavitt, R. L. LaMorte, A. D. Matthias und T. J. Brooks (2001): Elevated  $\text{CO}_2$  increases sorghum biomass under drought conditions. *New Phytologist* 150, 261-273

## **Ansäuerung von Rindergülle zur Minderung der NH<sub>3</sub>-Verluste nach Feldausbringung**

Achim Seidel<sup>1</sup>, Andreas Pacholski<sup>1</sup>, Tavs Nyord<sup>2</sup> und Henning Kage<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abt. Acker- u. Pflanzenbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. <sup>2</sup>Dept. of Biosystems Engineering, Aarhus University.  
E-Mail: seidel@pflanzenbau.uni-kiel.de

### **Einleitung**

Gasförmige Ammoniak(NH<sub>3</sub>)-Emissionen verursachen Umweltprobleme durch Stickstoffeinträge in N-sensitive Ökosysteme oder die Begünstigung der Feinstaubbildung. In Deutschland entstammten im Jahr 2005 etwa 95% des emittierten NH<sub>3</sub> aus der Landwirtschaft und hiervon 84% aus der Tierhaltung und den ausgebrachten Wirtschaftsdüngern. Als politisch vereinbartes Ziel besteht die deutsche Emissionshöchstmenge für Ammoniak von 550 kt a<sup>-1</sup> (UBA 2007). Dieses Ziel konnte 2011 eingehalten werden, dennoch besteht Bedarf bei der Emissionsreduzierung. Neben den emissionsmindernden Applikationstechniken wie dem Eingrubbern von Gülle bei Ausbringung oder der Injektion von Gülle wird seit ca. 2 Jahren in Dänemark das SyreN-System<sup>®</sup> zur Ansäuerung von Gülle während der Feldausbringung kommerziell eingesetzt. Durch die Erniedrigung der pH-Werte kann die Dissoziation des Ammoniums zu NH<sub>3</sub> + H<sup>+</sup> unterdrückt und damit NH<sub>3</sub>-Verluste vermieden werden. Um die Wirksamkeit der Gülleansäuerung bezüglich der Verminderung von NH<sub>3</sub>-Emissionen sowie der Ertragswirksamkeit im Vergleich zu Schleppschlauchausbringung und Gülleinjektion zu testen, wurden in Kooperation von der CAU Kiel, der Universität Aarhus und der dänischen Landwirtschaftskammer im Jahr 2012 Feldversuche in Schleswig-Holstein und Dänemark durchgeführt.

### **Material und Methoden**

Der Feldversuch wird an 3 verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Böden auf mehrjährigem Dauergrünland durchgeführt. Standort 1 liegt in der deutschen Nordseemarschregion (40% Ton, 4-schnittige Nutzung), Standort 2 und 3 in Süddänemark (Sandboden und lehmiger Sand, 3-schnittige Nutzung). An allen Standorten wird die Ertragsleistung, an den Standorten 1 und 2 wird die NH<sub>3</sub>-Verflüchtigung mit einer Kombination von Passivsammlern und kalibrierter Kammermethode ermittelt (Gericke et al. 2011). Bei diesen Versuchen handelt es sich um ein vollständig randomisiertes Blockdesign mit 4 Wiederholungen. Die Größe der Messparzellen beträgt 9x9 m und zwischen den Parzellen wurde jeweils eine Freifläche derselben Größe zur Verminderung der NH<sub>3</sub>-Drift zwischen den Parzellen angelegt. Die verwendete Rindergülle wird standortspezifisch bezogen. Folgende Varianten wurden geprüft: 1. Kontrolle, 2. Schleppschlauchausbringung, 3. Ansäuerung A (pH 6,5), 4. Ansäuerung B (pH 6,0), 5. Gülleinjektion A (17,5 cm Reihenabstand), 6. Gülleinjektion B (35 cm Reihenabstand). Um einen Schwefeldüngungseffekt durch Schwefelsäure zu vermeiden, wurde eine S-Ausgleichsdüngung von 50 kg S ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> mit Kieserit in allen Parzellen ohne Ansäuerung vorgenommen. Die Höhe der Gülledüngung wurde NH<sub>4</sub>-N basiert durchgeführt und auf 100% der standortüblichen Düngehöhe gesetzt (Standort 1 = 320 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> in 4 Teilgaben und Standorte 2 und 3 = 240 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> in 3 Teilgaben). Zur Ansäuerung der Gülle wurde die Schwefelsäure direkt vor der Ausbringung in den Vorratstank

homogen eingemischt. Die Ertragerfassung wurde zum standorttypischen Schnittzeitpunkt mit einem Parzellen-Feldfütterernter durchgeführt.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der ersten Gülleapplikation von beiden Standorten zeigten erwartungsgemäß die höchsten relativen  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Verluste ( $\text{NH}_3\text{-N}$   $\text{NH}_4\text{-N}^{-1}$ ) bei der Schleppschlauchausbringung (11,2 – 12,7%). Eine deutliche Verminderung der  $\text{NH}_3$ -Verflüchtigung konnte bei der Gülleinsäuerung auf pH 6,0 und bei Injektion B mit 3,1 – 4,2% nachgewiesen werden (Abb. 1). An beiden Standorten zeigte die Injektion A eine verringerte  $\text{NH}_3$ -Verflüchtigung, die Gülleinsäuerung auf pH 6,5 zeigte lediglich an Standort 2 eine Verringerung der Ammoniakemission. Nur eine Absenkung des Gülle-pH-Wertes auf Werte um 6 scheint zu einer nachhaltigen Erniedrigung der  $\text{NH}_3$ -Verluste zu führen.

Standort	Variante	Relative $\text{NH}_3$ -Verluste [%]	Ertrag [t TM ha <sup>-1</sup> ]
1	Schleppschlauch	11,15 <sup>a</sup>	3,51 <sup>a</sup>
1	Ansäuerung pH 6,5	11,09 <sup>a</sup>	3,75 <sup>a</sup>
1	Ansäuerung pH 6,0	4,03 <sup>a</sup>	3,54 <sup>a</sup>
1	Injektion A	8,60 <sup>a</sup>	3,76 <sup>a</sup>
1	Injektion B	3,11 <sup>a</sup>	3,67 <sup>a</sup>
1	Kontrolle	--	1,73 <sup>a</sup>
2	Schleppschlauch	12,66 <sup>a</sup>	4,94 <sup>b</sup>
2	Ansäuerung pH 6,5	8,06 <sup>ab</sup>	5,31 <sup>ab</sup>
2	Ansäuerung pH 6,0	4,23 <sup>b</sup>	5,65 <sup>a</sup>
2	Injektion A	7,63 <sup>ab</sup>	4,94 <sup>b</sup>
2	Injektion B	3,28 <sup>b</sup>	5,31 <sup>ab</sup>
2	Kontrolle	--	1,33 <sup>c</sup>

**Tabelle 5:** Kumulierte relative  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Verluste nach der ersten Gölledüngung (jeweils 80 kg  $\text{NH}_4\text{-N}$  ha<sup>-1</sup>) und Erträge des ersten Schnittes an Standort 1 und 2. Statistische Unterschiede bei  $\text{NH}_3$ -Verlusten und Erträgen sind standortspezifisch errechnet ( $p = 0,05$ ). Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin.

An Standort 1 wurde zum ersten Schnitt kein signifikanter Ertragsunterschied zwischen den angewendeten Applikationstechniken festgestellt. An Standort 2 zeigten sich signifikante Ertragsunterschiede nur zwischen Schleppschlauchausbringung und Ansäuerung auf pH 6,0. Eine abschließende Aussage zur Wirksamkeit der Gülleinsäuerung kann erst nach Beendigung der gesamten Versuchsreihe gemacht werden. Diese vielversprechende Applikationstechnik bedarf bezüglich der Anwendung in anderen Kulturen oder der Ansäuerung von Gärresten weiterer Untersuchungen.

### Literatur

Gericke, D., Pacholski A, Kage, H., 2011. Measurement of ammonia emissions in multi plot field experiments. *Biosystems Engineering* 108 (2), 164-173, 2011.  
 Umweltbundesamt (UBA), 2007. Luftreinhaltung 2010 – Nationales Programm zur Verminderung der Ozonkonzentration und zur Einhaltung der Emissionshöchstgrenzen. UBA-Texte, Berlin 2007.

## **Optimierung der Winterrapsdüngung unter Berücksichtigung des Biomasseaufwuchses**

Andreas Spicker und Franz–Xaver Maidl

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, 85350 Freising-Weihenstephan.  
E-Mail: andreas.spicker@mytum.de

### **Einleitung**

Der Anbauumfang von Winterraps stieg in Deutschland seit Mitte der siebziger Jahre auf derzeit etwa 1,3 Mio Hektar an. Damit ist Raps hinter Mais die zweitwichtigste Blattfrucht. Problematisch ist jedoch die schlechte N-Verwertung und die damit einhergehenden hohen N-Überbilanzen dieser Kulturart. Ziel dieser Arbeit war es deshalb mithilfe langjähriger N-Düngungsversuche die für die Ertragsbildung optimale Stickstoffversorgung nach Menge und Terminierung zu erfassen, um somit den N- Überschuss minimieren zu können.

### **Material und Methoden**

Seit dem Jahr 2005 werden von der TUM auf mehreren Standorten unterschiedlicher Ertragsfähigkeit N-Dünungsversuche zu Winterraps durchgeführt. In die Versuche wurden bis zu 24 N-Stufen integriert, die sich zum einen durch die Stickstoffmenge zum anderen durch die Verteilung dieses Nährstoffs sowohl zum Herbst, als auch in früh- bzw. spätbetonte Gaben unterschieden. Zu allen wichtigen Entwicklungsstadien wurden Biomasseschnitte mit Bestimmung des N-Gehalts durchgeführt; zur Ernte waren Kornertrag und die Ertragsparameter erfasst worden.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Der Kornertrag konnte durch Steigerungen in der N- Menge deutlich von 20 dt/ha bei 0 kg N/ ha auf maximal 55 dt/ha erhöht werden. Ab einer Menge von 180 kg N/ ha waren die Ertragssteigerungen durch zusätzlichen Dünger-N normalerweise gering. Ein sichtbarer Effekt war häufig durch die Herbstdüngung zu erkennen. Hier konnte die Ertragsleistung durch ein Anheben der Herbstdüngung von 0 auf 40 kg N/ ha um 2 dt/ha erhöht werden. Zugleich wurde erkannt, dass vor allem bei einem hohen Düngenniveau eine spätbetonte N-Düngung zum Schossen einen zusätzlichen Kornertragszuwachs gegenüber einer frühbetonten Stickstoffdüngung brachte. Dagegen war die N-Verteilung unter weniger intensiven Bedingungen für den Kornertrag unbedeutend, während der Ölertrag von einer spätbetonten N- Düngung zu profitieren schien.

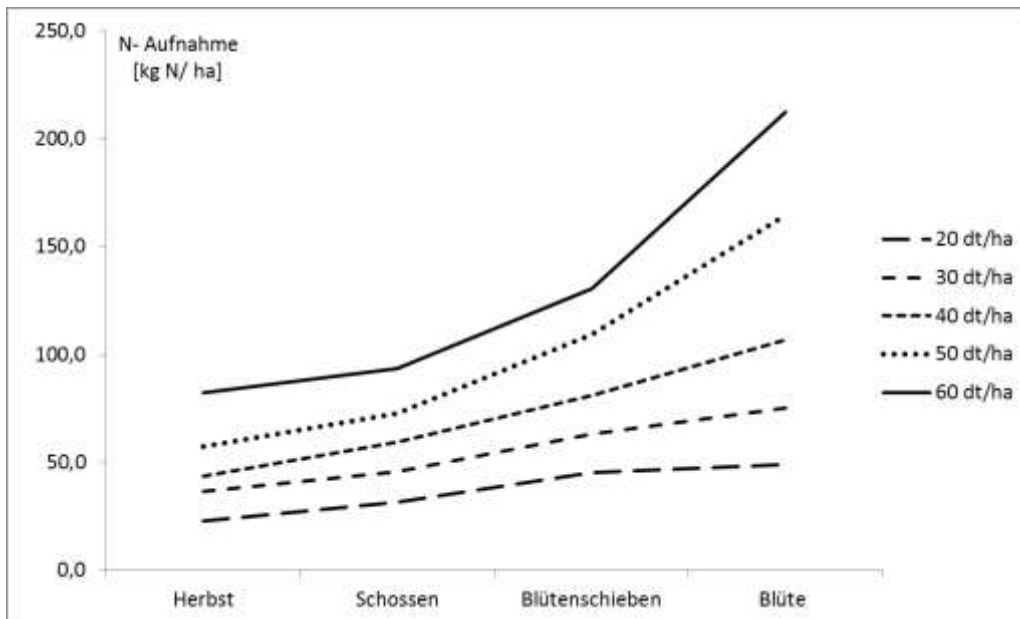
Die optimale N-Düngung war jedoch sehr stark von der jahrgangs- und standortabhängigen N- Aufnahme der Rapspflanzen beeinflusst. Ein sehr stabiler Parameter hingegen war die N-Aufnahme der Pflanzen. Es zeigte sich, dass zum Erreichen gewisser Ertragsleistungen zu bestimmten EC-Stadien ganz charakteristische optimale N- Aufnahmewerte anzustreben sind (Abb. 1)

Um den vom Pflanzenbestand bereits aufgenommenen Stickstoff in die Düngemaßnahmen miteinfließen zu lassen wurden aus der Biomasse und der N-Aufnahme des Rapsbestandes N-Aufnahmefaktoren für die Entwicklungsstadien Herbst, Schossen, Blütenschieben und Blüte errechnet.

Die N-Aufnahme eines Rapsbestandes errechnet sich folgendermaßen:

$$\text{Frischmasse kg/m}^2 \times \text{N-Aufnahmefaktor}$$

Durch die ermittelten Faktoren konnte die N-Aufnahme eines Rapsbestandes sehr genau geschätzt werden kann. Dies zeigen die Testergebnisse bei denen die Differenz zwischen geschätzter und tatsächlicher N-Aufnahme maximal 8 kg N/ha betrug.



**Abb. 6:** Darstellung des Verlaufs der N- Aufnahme bei Raps nach Ertragsniveau in Abhängigkeit von den Entwicklungsstadien

Die N-Düngermenge ergibt sich aus der Differenz zwischen N- Aufnahme Soll und tatsächlicher N-Aufnahme addiert um die für das weitere Wachstum nötige N-Menge und mit dem Faktor DIMA multipliziert. Dieser Faktor steht für die Wirkungskdauer, die N Immobilisierung und N-Mineralisierung sowie für die Düngerausnutzungsrate.

## Literatur

- Colnenne, C., J. M. Meynard, R. Reau, E. Justes and A Merrien (1998): Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Oilseed Rape. *Annals of Botany* 81: 311 – 317.
- Henke, J. 2007: Entwicklung und Bewertung von Strategien zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz im Winterrapsanbau. Dissertation Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Rathke, G.-W., T. Behrens and W. Diepenbrock 2006: Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117: 80 – 108.

## Fluoreszenz- und Ertragsdaten im Vergleich unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Stickstoffdüngungsvarianten in Winterraps

Christoph W. Zecha<sup>1</sup>, Johanna Link-Dolezal<sup>1</sup> und Wilhelm Claupein<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (340a), Fruwirthstr. 23, 70599 Stuttgart. E-Mail: Christoph.Zecha@uni-hohenheim.de

### Einleitung

Der Schutz des Bodens vor Erosion ist durch verminderte Bodenbearbeitung zu erzielen. Eine Möglichkeit hierbei bietet Strip-till. Diese Technik zeichnet sich durch die Lockerung nur des Streifens aus, in den auch die Saat ausgebracht wird. Er ist vor allem für Reihenkulturpflanzen sinnvoll, bei denen die Bestandsentwicklung nur zu einem langsamen Reihenschluss führt. Weitere positive Effekte lassen sich durch die gute Konservierung von Bodenfeuchte im unbearbeiteten Feldbereich feststellen, die zusätzlich zur besseren Infiltrationsrate und einer schnellen Bodenerwärmung im Frühjahr den Pflanzen gute Wachstumsbedingungen bieten. Durch die konsequente Trennung von Ernterückständen und Saatkorn wird beim Strip-till Verfahren eine optimale Wurzel- und damit Einzelpflanzenentwicklung ermöglicht (Hermann, 2008; Plugfelder, 2012). Ziel der Untersuchungen war die Erfassung des Versorgungszustandes von Raps bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung.

### Material und Methoden

Im Jahr 2011 wurde dieses Verfahren bei Winterraps in Einzelkornsaat angewandt. Es wurden die Ertragsbildung im Hinblick auf drei verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren (Strip-till, Mulchsaat, Mulch + Strip-till) sowie eine variierende Stickstoffdüngung ( $170 - 210 \text{ kg ha}^{-1}$ ) untersucht. Mit dem Fluoreszenzsensor Multiplex (Fa. Force-A, Orsay, France) wurden an zwei Terminen vor der Hauptblüte Messungen vorgenommen.

### Ergebnisse und Diskussion

Der Ertrag war bei der Strip-till Variante leicht niedriger als bei den beiden Mulchsaatvarianten, jedoch nicht signifikant verschieden. Da die Variante mit  $190 \text{ kg ha}^{-1}$  der betriebsüblichen Stickstoffaufwandsmenge entspricht, kann kein Verfahren nachteilig beurteilt werden. Beim Vergleich der Fluoreszenzsignale konnten geringe Unterschiede zwischen den Variablen Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung festgestellt werden. Die Fluoreszenz korrelierte positiv mit dem Ertrag; die Signifikanz zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten war zu gering. Das trockene Frühjahr im Jahr 2011 kann eine Erklärung dafür sein, so dass die positiven Effekte des Strip-till Verfahrens im Zusammenhang mit einer Einzelkornsaat nicht in den Vordergrund traten.

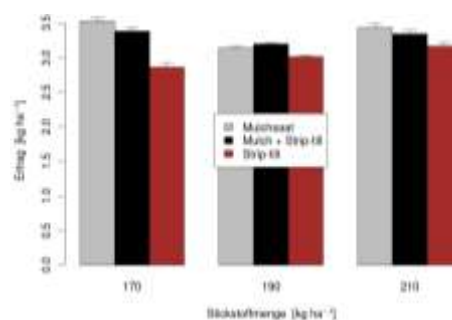


Abb. 10: Ertrag zw. drei versch. Saatverfahren und N-Mengen

### Literatur

- Hermann, W. 2008: Strip-Till – Streifenlockerung bei Zuckerrüben, Raps und Mais – Alternative zur Mulch- und Direktsaat, Landwirtschaft ohne Pflug 7/2008, S. 31-34.  
Plugfelder, M. 2012: Für Rüben nur noch Streifen lockern, Land & Forst 03/2012, <http://landundforst.agrarheute.com/>, 27.03.2012.



## Die Bestimmung der Antioxidativen Kapazität von Brot-Getreide

Feng Yan, Lena Hermann und Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität, Schubertstraße 81, 35392 Gießen. E-Mail: feng.yan@agrar.uni-giessen.de

### Einleitung

Das Brotgetreide spielt eine zentrale Rolle in der Humanernährung. Es liefert den Menschen nicht nur essentielle Nährstoffe wie Proteine und Kohlenhydrate, sondern auch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe wie Phenolsäuren oder Polyphenole, die als Antioxidanzien für eine gesunde Ernährung eine essentielle Bedeutung spielen.

Die Quantifizierung der Antioxidativen Kapazität des Getreides ist relativ kompliziert und deswegen bisher nicht als Qualitätsmerkmal für die Bewertung der Getreidequalität herangezogen. Eine einfache und schnelle Methode für die Bestimmung der Antioxidativen Kapazität des Brotgetreides ist eine Voraussetzung für die Integration dieser Methode als Qualitätsmerkmal für die Getreideanalyse.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, eine einfache und schnelle Methode für die Bestimmung der Antioxidativen Kapazität von Getreide zu entwickeln, um die Getreideanalyse bezüglich der Antioxidativen Kapazität zu ermöglichen.

### Material und Methoden

Das für die Analyse zur Verfügung stehende Pflanzenmaterial stammt aus einem Feldversuch mit 9 alten und 4 neuen Weizensorten. Als alte Sorten wurden mitteleuropäische Sorten (Märkischer Landweizen, Ungarischer Landweizen, Nördlinger Roter, Roter Breisgauer Landweizen, Cimbals Gelbweizen, Heines IV, Rimpaus Brauner, Arnims Ciewener), amerikanische Sorten (Red Winter, Amerikanischer Landweizen) und Japanische Weizen ausgewählt. Die untersuchten neuen Sorten wurden nach 2001 zugelassen und in der Praxis genutzt.

Die Anlage des Versuchs erfolgte als einfaktorielle randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen ( $15 \times 4 = 60$  Parzellen, Fläche:  $13,5 \text{ m}^2$ ). Der Versuch wurde auf einem schluffigem Tonboden (Bodentyp Brauner Auenboden, Allochtone Vega) durchgeführt.

Für die Extraktion der Gesamtphenole wurden 15 ml 5 M NaOH in einen 100 ml Erlenmeyerkolben einpipettiert. 1,000 g Mehl der zuvor vermahlene Probe wurde abgewogen und langsam unter Schwenken zu der Laugenlösung gegeben. Nach der Abdeckung mit Parafilm wurde der Erlenmeyerkolben für drei Stunden vor UV-Licht geschützt auf den Schüttler gesetzt.

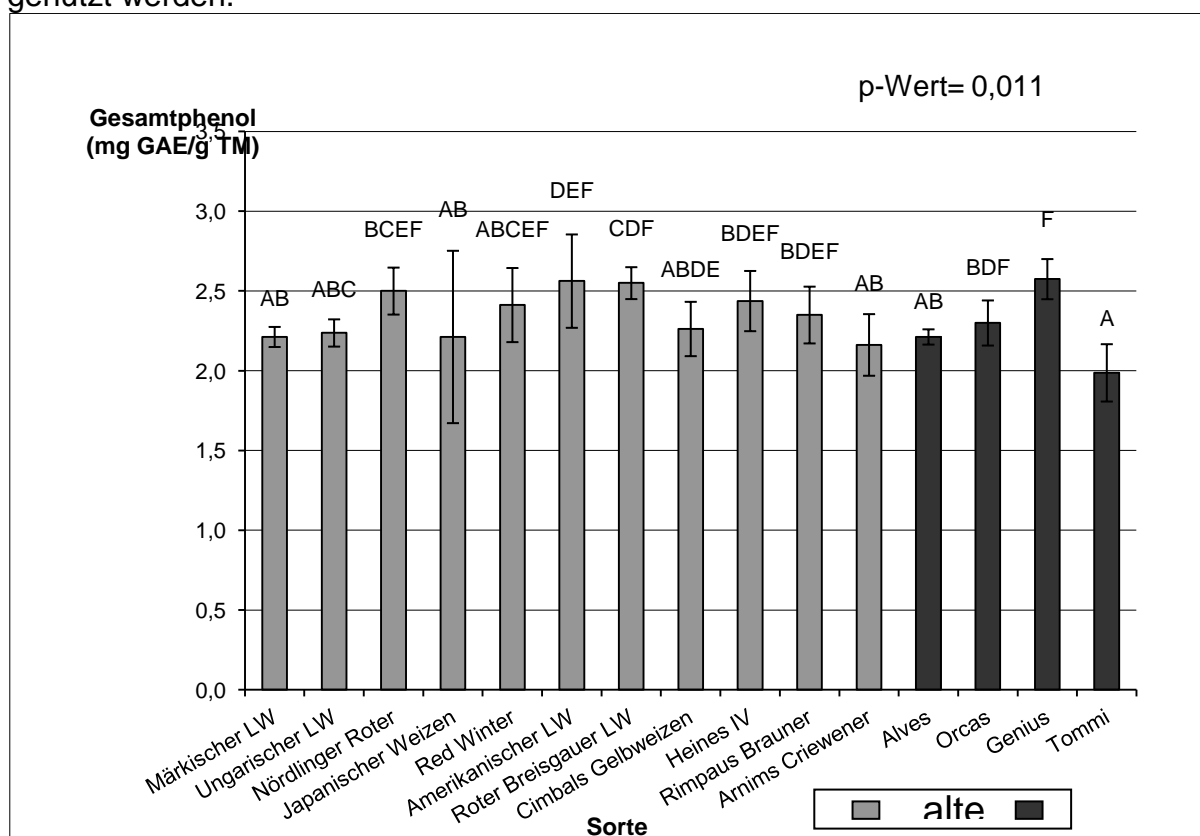
Anschließend wurden 15 ml 5 M HCl hinzu gegeben, um die Aufschlussreaktion zu stoppen. Der Inhalt des Erlenmeyerkolbens wurde quantitativ in einen 250 ml Messkolben überführt, mit dest. Wasser aufgefüllt. Um einen möglichst klaren Überstand zu erlangen, wurde die Lösung 2-fach verdünnt. Die Probenlösung wurde 15 Minuten bei ca. 4500 U/min zentrifugiert. 10 ml des Überstandes und 6 ml Ethylacetat wurden in einen Scheidetrichter pipettiert und 30 s geschüttelt. Nach ca. 5 min Wartezeit hatten sich zwei Phasen gebildet. Die untere wässrige Phase wurde in ein Becherglas abgelassen, die obere Phase, in die die Phenole übergegangen sind, wurde in einen Spitzkolben abgelassen. Die wässrige Phase wurde wieder in den Scheidetrichter gegeben und nochmals mit Ethylacetat extrahiert. Es fand eine dreimalige Wiederholung der Prozedur statt, um eine möglichst vollständige

Extraktion zu erreichen. Im Anschluss wurde Ethylacetat bei 40°C mittels eines Rotationsverdampfers abgedampft. Zurück blieb eine wässrige Lösung, die mit dest. Wasser in einen 10 ml Kolben überführt wurde.

Die Bestimmung der Gesamtphenole der Probenlösung erfolgte mittels Folin-Ciocalteu-Methode mit Gallussäure als Standardsubstanz. Die Ergebnisse werden als Gallussäure-Äquivalent (GAE) ausgedrückt.

### Ergebnisse und Diskussion

Der Gehalt an Gesamtphenole schwankt zwischen 2,0 bis 2,6 mg GAE/g TM (Abb. 1). Es gibt signifikante Unterschiede sowohl für alte als auch für neue Sorten. Der gemessene Gehalt an Gesamtphenolen von Weizen stimmt mit den Werten in der Literatur relativ gut überein. Die Bestimmung der Gesamtphenole von Weizen wurde bisher mit einer relativ aufwendigen Methode durchgeführt, wobei drei Fraktionen (lösliche freie Phenolsäuren, lösliche verestete Phenolsäuren, nicht-lösliche Phenolsäuren) aus dem Weizen extrahiert und gemessen wurden. Dabei machen nicht-lösliche Phenolsäuren mehr als 90% aus. Die hier vorgestellte einfache Extraktion ist eine Alternative für die Routine-Laboranalyse und kann deswegen leicht für die Qualitätskontrolle des Weizens oder anderer Getreidearten in der Praxis genutzt werden.



**Abb.1:** Gesamtphenolgehalte alter und neuer Weizensorten, Feldversuch 2011. Inklusive Angabe der Standardabweichung. Bei unterschiedlichen Buchstaben bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten, ermittelt anhand der GD bei 5% Grenzwahrscheinlichkeit.

# Anforderungen an unbemannt fliegende Sensorplattformen (Unmanned Aircraft Systems) als Entscheidungshilfe im Pflanzenbaumanagement

Jakob Geipel<sup>1</sup> und Wilhelm Claupein<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, Stuttgart.  
E-Mail: jakob.geipel@uni-hohenheim.de

## Einleitung

Traditionelle Fernerkundung von Anbauflächen mit Hilfe von Satelliten oder bemannten Flugzeugen bietet seit langem die Möglichkeit zur Erhebung teilflächenspezifischer Parameter für die Verbesserung des Ressourcenmanagements. Als Grundlage dienen meist Fernerkundungsdatensätze, welche zum Teil sehr teuer und nicht zu jedem Zeitpunkt verfügbar sind.

Mit dem Aufkommen leistungsstarker, leichter und kostengünstiger Elektronik entstehen jedoch immer mehr ferngesteuerte, unbemannt fliegende Sensorplattformen, sogenannte *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. Diese bieten gegenüber traditionellen Fernerkundungsplattformen die Möglichkeit der Verwendung eigener, geeigneter Sensorik, in einer selbst wählbaren, hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität der zu erfassenden Daten (Lan et al., 2010).

Um das Potential dieser UAS sinnvoll nutzen zu können definiert diese Arbeit die Anforderungen an solche Sensorplattformen und die Beschränkungen der mitgeführten Sensorik im Hinblick auf die Erzeugung von Fernerkundungsdaten als Hilfe im Entscheidungsprozess für pflanzenbauliche Maßnahmen.

## Material und Methoden

Diese Arbeit konzentriert sich auf die technischen Rahmenbedingungen für den Einsatz von UAS mit einem maximalen Abfluggewicht von 5 kg. Die Anforderungen wurden für typische Sensorplattformen dieser Gewichtsklasse für den Bereich des *Precision Farmings* abgeleitet.

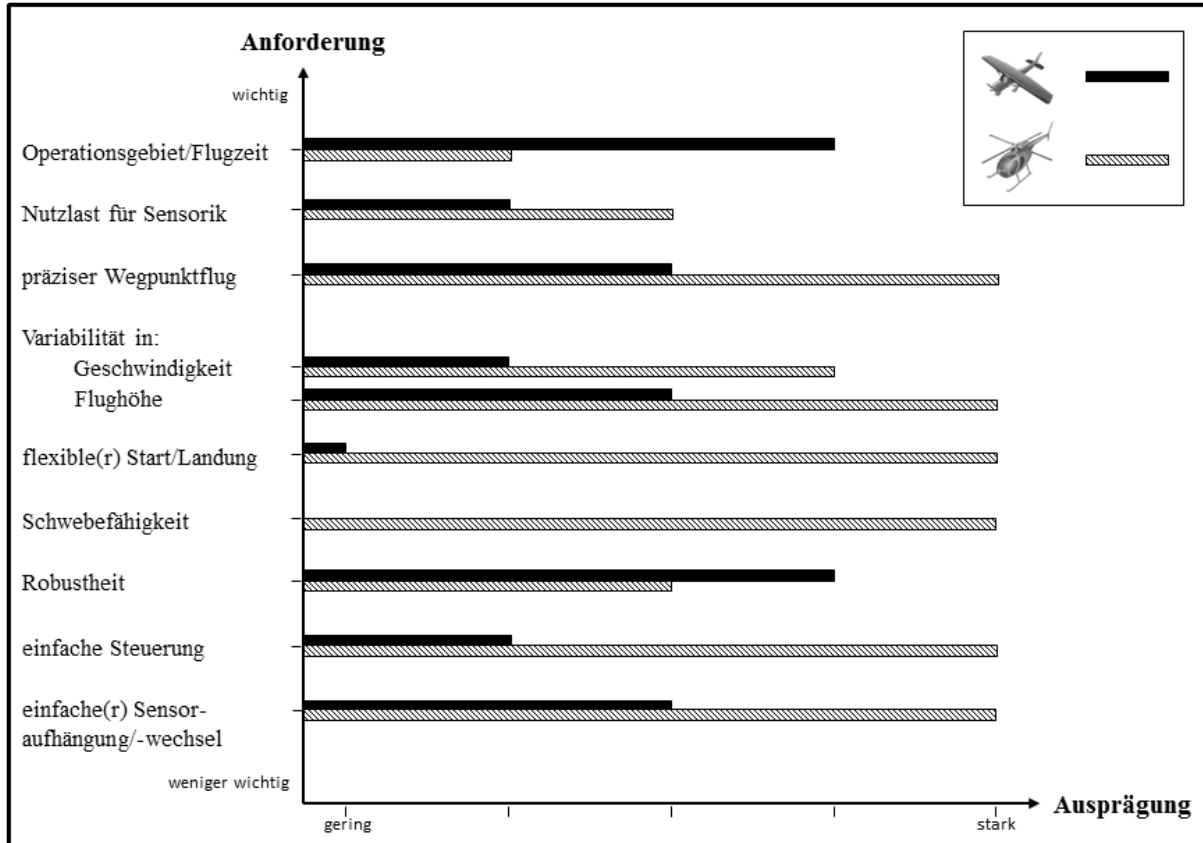
Der Fokus lag dabei auf den zwei vorherrschenden Kategorien der Starr- und Drehflügler. Dabei wurden in erster Linie technische Produktblätter von kommerziellen Herstellern untersucht, Interviews über persönliche Erfahrungen von Anwendern geführt, sowie erste Testflüge von derzeit entwickelten Prototypen betrachtet. Anschließend wurden die wichtigsten Anforderungen an UAS benannt, subjektiv gewichtet und der Grad der Ausprägung in der jeweiligen Untersuchungskategorie abgeschätzt.

Auf Basis dieser Anforderungen wurden Beschränkungen für die mitzuführende Sensorik abgeleitet und somit die Grundlage für den Aufbau verbesserter UAS an der Universität Hohenheim geschaffen.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abb. 1 zusammengefasst. Auf der Y-Achse sind die jeweiligen Anforderungen mit aufsteigendem Gewicht angetragen. Die X-Achse definiert den Grad der Ausprägungen, die den Anforderungen zugehörig sind. Für Starrflügler wurden schwarze, für Drehflügler schraffierte Balken gewählt. Dieser Grad wurde in fünf Stufen von gering bis stark unterteilt.

Als wichtigste Anforderungen wurden die Flugzeit und die damit erreichbare Größe des Operationsgebiets bei gleichzeitig möglichst hoher Nutzlast für zusätzliche Sensorik identifiziert. Nachfolgend stehen die Fähigkeiten des präzisen, automatisierten Wegpunktflugs und die Variabilität in der räumlichen und zeitlichen Auflösung durch verschiedene Flughöhen und Fluggeschwindigkeiten.



**Abb. 1:** Gewichtete Anforderungen an UAS mit jeweiliger Ausprägung in den Kategorien der Starr- und Drehflügerplattformen.

Die Einstufung zeigt, dass die Sensorik auf die als wichtigste Kategorien definierten Anforderungen Flugzeit und Nutzlast angepasst sein muss. Da sich die Flugzeit vor allem aus den Komponenten Gewicht und Energieverbrauch zusammensetzt, ist es zielführend, Sensoren zu wählen, die möglichst klein, leicht und energiearm sind. Ein dadurch einhergehender möglicher Qualitätsverlust der Sensortechnik ist somit in Kauf zu nehmen.

Betrachtet man die beiden Plattformkategorien, so zeigt sich, dass die Wahl eines Starrflüglers, im Hinblick auf ein im *Precision Farming* wichtiges, möglichst großes Operationsgebiet, die ökonomischste und zielführendste Variante darstellt. In fast allen weiteren Anforderungen überwiegen aber die Vorteile von Drehflüglern. Diese zeichnen sich vor allem durch eine hohe zeitliche und räumliche Variabilität, durch eine einfache Steuerung, eine robuste Wegpunktnavigation und der Fähigkeit des Senkrechtstarts und der Senkrechtlandung aus.

## Literatur

Lan, Y.; S. J. Thomson; Y. Huang; W. C. Hoffmann und H. Zhang 2010: Current status and future directions of precision aerial application for site-specific crop management in the USA. *Computers and Electronics in Agriculture* 74: 34-38.

## **Phytosanitäre und ertragsphysiologische Wirkungen von Zwischenfrüchten im ökologischen Kartoffelanbau**

Sebastian Grabendorfer<sup>1</sup>, Hans Jürgen Reents<sup>1</sup> und Max Kainz<sup>1</sup>

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

### **Einleitung**

Zwischenfrüchte besitzen eine große Bedeutung im ökologischen Kartoffelanbau. Im Rahmen einer Befragung ökologisch wirtschaftender Kartoffelbaubetriebe im Frühjahr 2012 konnte ein Anteil von 86% der befragten Betriebe ermittelt werden, die Zwischenfrüchte vor Kartoffeln anbauen. Als Motivation für den Anbau werden neben symbiontischer Stickstofffixierung, Nährstoffkonservierung und Erosionsschutz auch phytosanitäre Aspekte genannt.

Zur genaueren Untersuchung der Wirkungen von Zwischenfrüchten werden im Rahmen des Forschungsprojekts „Kupferminimierungs- und Vermeidungsstrategien für den ökologischen Kartoffelanbau – Teilprojekt: Ackerbauliche Strategien“ (gefördert durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, FKZ 09OE114, Laufzeit Juli 2011 bis Januar 2015) neben ertragsphysiologischen Aspekten insbesondere phytosanitäre Wirkungen von Zwischenfrüchten bezüglich *Phytophthora infestans* bei der Folgefrucht Kartoffel untersucht.

Es folgt eine erste Vorstellung des Teilprojekts.

### **Material und Methoden**

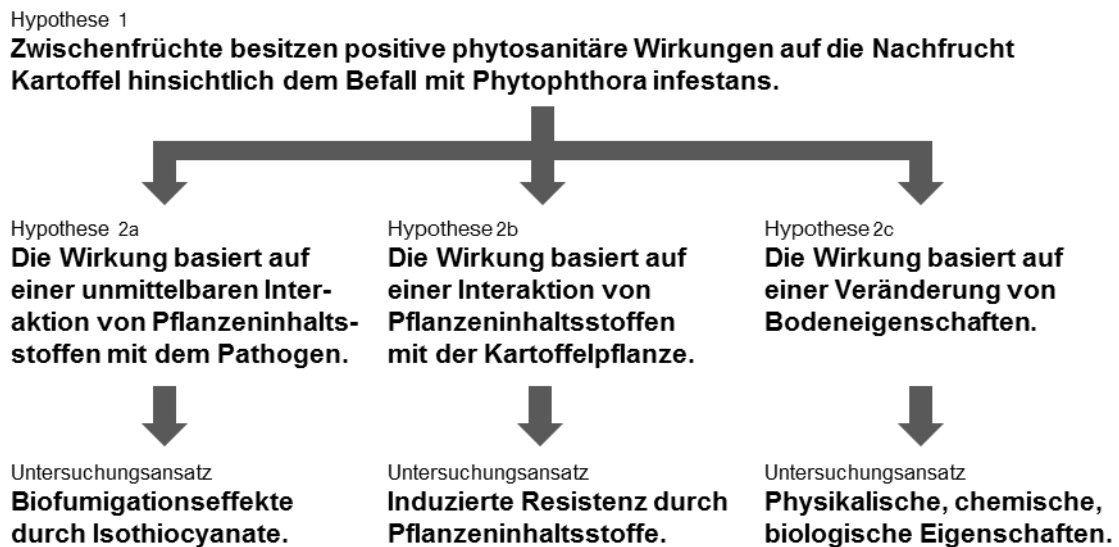
Neben nährstoff- und folglich ertragsrelevanten Wirkungen von Zwischenfrüchten werden in der Literatur phytosanitäre Aspekte des Zwischenfruchtanbaus angeführt, beispielsweise durch den Begriff bzw. der Methode der Biofumigation (vgl. Björkman et al., 2011). Durch Zerkleinern und Einarbeiten glucosinolatreicher Pflanzen, beispielsweise *Brassicaceen* wird dabei die Bildung antiphytopathogen wirksamer Isothiocyanate angeregt (vgl. Morra und Kirkegaard, 2002).

Grundlage des Teilprojekts Ackerbauliche Strategien stellt die Hypothese dar, dass Zwischenfrüchte unterschiedliche positive phytosanitäre Wirkungen auf die Folgefrucht Kartoffel besitzen (vgl. Abb. 1). Eine Präzisierung in Subhypothesen kann entsprechend möglicher Wirkmechanismen erfolgen, d.h. eine unmittelbare Interaktion von Pflanzeninhaltsstoffen mit dem Pathogen, eine Interaktion von Pflanzeninhaltsstoffen mit der Kartoffelpflanze oder eine Wirkung über veränderte Bodeneigenschaften.

Das antiphytopathogene Potenzial verschiedener Zwischenfrüchte und insbesondere die Wirksamkeit der Methode der Biofumigation (vgl. Abb. 1, Hypothese 2a) im ökologischen Kartoffelanbau wird im Rahmen von Feldversuchen überprüft. Hierfür steht ein dreifaktorieller Feldversuch mit vier Wiederholungen als Spaltanlage mit dem Faktor Zwischenfrucht (Winterrübse, Ölrettich, Sareptasenf, Winterwicke) in Kleinteilstücken und den Faktoren Grundbodenbearbeitung (Herbst, Frühjahr) und Legetiefe (Bodenniveau, 5 cm unter Bodenniveau) in Spalten zur Verfügung. Ver-

suchsstandort ist eine langjährig ökologisch bewirtschaftete Fläche (Bodenart humoser sandiger Lehm, Ackerzahl 40) eines Kartoffelbaubetriebes in der Nähe der Versuchsstation Roggenstein, 25 km nordwestlich von München.

Erfasst werden insbesondere Frischmasse, Trockenmasse und Nährstoffgehalte der Zwischenfruchtaufwüchse vor der Einarbeitung,  $N_{\min}$ -Gehalte zu Vegetationsbeginn sowie 20 Tage nach dem Legen der Kartoffeln, Entwicklung des Befalls mit *Phytophthora infestans*, Knollenentwicklung 65, 75 und 85 Tage nach dem Legen, sowie der Knollenertrag nach Abreife.



**Abb. 1:** Hypothesen

## Ergebnisse und Diskussion

Zu Beginn des Projekts liegen noch keine Ergebnisse vor, werden aber sobald verfügbar im weiteren Projektverlauf veröffentlicht.

## Literatur

- Björkman, M.; Klingen, I.; Birch, A.N.E.; Bones, A.M.; Bruce, T.J.A.; Johansen, T.J.; Meadow, R.; Mølmann, J.; Seljåsen, R.; Smart, L.E., Stewart, D. 2011: Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health – Influences of climate, environment and agronomic practice. *Phytochemistry* 72: 538-556.
- Morra, M.J. und Kirkegaard, J.A. 2002: Isothiocyanate release from soil-incorporated Brassica tissues. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1683-1690.

# Reduzierung der Verunkrautung durch Untersaaten in Ökomais

Rüdiger Jung und Rolf Rauber

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Göttingen. E-Mail: rjung@uni-goettingen.de

## Einleitung

Das Interesse am Anbau von Mais im ökologischen Landbau wächst erkennbar. Die Unkräuter sind jedoch eines der größten Probleme des ökologischen Maisanbaus. In einem Kooperationsprojekt (2011 bis 2014) soll untersucht werden, inwieweit Unkräuter durch Untersaaten im Mais unterdrückt werden können. Diejenige Kombination aus Mais-Genotyp und Untersaat (US) soll identifiziert werden, die im Hinblick auf die Unkrautunterdrückung und Ertragsbildung am besten miteinander harmonisiert. Im ersten Versuchsjahr 2011 wurden u.a. das Wachstums der Untersaaten und Unkräuter sowie deren Einfluss auf die Deckfrucht Mais beobachtet.

## Material und Methoden

Auf ökologisch bewirtschafteten Flächen an den Standorten Reinshof (Georg-August-Universität Göttingen) und Wiebrechtshausen (KWS SAAT AG) wurden im Jahr 2011 in Kombination der Untersuchungsfaktoren „Maissorte“ (Ricardinio, Colisee, Ronaldinio) und „Untersaat“ (Tab. 1) zweifaktorielle Feldversuche angelegt.

**Tab. 1:** Aussaatstärke (Körner m<sup>-2</sup>), Tausendkornmasse (TKM in g), Keimfähigkeit (Kf. in %) und Aussaatmenge (kg ha<sup>-1</sup>, gerundet) der Untersaaten.

Untersaat-Varianten	Abk.	K m <sup>2</sup>	TKM (g)	Kf. (%)	kg ha <sup>-1</sup>
<b>Reinsaaten</b>					
1 Winterroggen	R	500	35	95	183
2 Welsches Weidelgras	W	1000	2,8	96	30
3 Erdklee	K	1000	5,5	95	58
4 Wegwarte „Grasslands Puna“	P	800	1,3	54	13,3
<b>Mischsaaten</b>					
5 Winterroggen	RP	250	35	95	92
Wegwarte „Grasslands Puna“		400	1,3	54	6,7
6 Welsches Weidelgras	WP	500	2,8	96	15
Wegwarte „Grasslands Puna“		400	1,3	54	6,7
7 Erdklee	KP	500	5,5	95	29
Wegwarte „Grasslands Puna“		400	1,3	54	6,7
8 Winterroggen	RPB	170	35	95	62
Wegwarte „Grasslands Puna“		270	1,3	54	4,5
Buchweizen		125	24	80	38

Die Mais-Einzelkornsaat (10,6 Pfl. m<sup>-2</sup>) erfolgte am 11.05. (Reinshof) bzw. 02.05. (Wiebrechtshausen). Die Untersaaten wurden am 15.06. (Reinshof) und am 07.06. (Wiebrechtshausen) zwischen die Maisreihen gesät. Zur Kontrolle wurden Mais-Parzellen ohne Untersaat integriert. Zwischen Juni und Oktober wurden die Grünmasse-Erträge und die Deckungsgrade der Untersaaten und Unkräuter regelmäßig ermittelt. Mitte Oktober erfolgte die Ernte der Deckfrucht als Körnermais.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Untersaaten erreichten zur ersten Teilernte (26.07., 02.08., siehe Tab. 2) im Mittel über alle Varianten am Standort Reinshof 19 g TM pro m<sup>2</sup> und am Standort Wiebrechtshausen 37 g TM pro m<sup>2</sup>. Die Unkräuter (Kontrollvariante ohne US) zeigten TM-Erträge in Höhe von 18 bzw. 20 g TM pro m<sup>2</sup> (Tab. 2). Die relativ geringen Erntemengen sind vermutlich auf das trockene Frühjahr 2011 zurückzuführen. Die Ergebnisse in Tab. 2 zeigen, dass alle Untersaaten die Unkräuter zurückdrängten, jedoch gab es Unterschiede zwischen den Varianten und Standorten.

**Tab. 2:** Grünmasse der Unkräuter im Mais absolut (Kontrolle ohne US) und relativ (Kontrolle = 100%) zu zwei Erntezeitpunkten an den Standorten Reinshof und Wiebrechtshausen. Abkürzungen Untersaaten siehe Tab. 1.

	Reinshof		Wiebrechtshausen	
	Ernte 02. Aug.	Ernte 17. Okt.	Ernte 26. Juli	Ernte 11. Okt.
Kontrolle abs. (g TM m <sup>-2</sup> )	18,4	4,6	20,4	3,2
Kontrolle rel. (%)	100	100	100	100
<b>Maissorten rel. (%)</b>				
Ricardinio	30	26	55	52
Colisee	77	81	72	80
Ronaldinio	29	31	56	40
Mittelwert	45	46	61	58
<b>Untersaaten rel. (%)</b>				
R	37	49	46	72
W	35	17	70	33
K	41	43	50	84
P	52	71	58	41
RP	38	51	61	43
WP	36	33	46	25
KP	46	27	73	59
RPB	21	23	39	53
Mittelwert	38	39	56	51

Vergleichsweise wenige Unkräuter fanden sich in der US-Mischung mit Buchweizen (RPB) sowie in den US-Varianten mit Weidelgras (W und WP) am Standort Reinshof. Der Lichtmangel unter Mais reduzierte den anfangs reichen Wuchs des Winterroggens (R) nachhaltig, so dass dort Unkräuter später wieder zunahmten.

Die Körnermais-Erträge betragen im Mittel 136 dt ha<sup>-1</sup> (Reinshof) bzw. 129 dt ha<sup>-1</sup> (Wiebrechtshausen) bei 86% TS. Am Standort Reinshof bewegten sich die Mais-Erträge der US-Varianten zwischen 134 und 139 dt ha<sup>-1</sup>, die Kontrolle lag mit 138 dt ha<sup>-1</sup> auf ähnlichem Niveau. Am Standort Wiebrechtshausen waren die Unterschiede zwischen den US-Varianten größer (120 bis 138 dt ha<sup>-1</sup>). Am besten schnitten hier W und WP ab (138 bzw. 136 dt ha<sup>-1</sup>). Die Kontrolle zeigte einen geringeren Kornertrag (117 dt ha<sup>-1</sup>) als die US-Varianten. Ob hier die Untersaaten den Mais tatsächlich förderten, ist noch unklar. Konsistente Aussagen zum Einfluss der Untersaaten auf den Maisertrag sind auf Basis der vorliegenden Daten noch nicht möglich.



## Sortenleistung ausgewählter landwirtschaftlicher Fruchtarten unter verschiedenen Standortbedingungen in Brandenburg 2010/2011

Julian Klepatzki, Janna Sayer und Frank Ellmer

Humboldt Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin. E-Mail: Julian.Klepatzki@agrar.hu-berlin.de

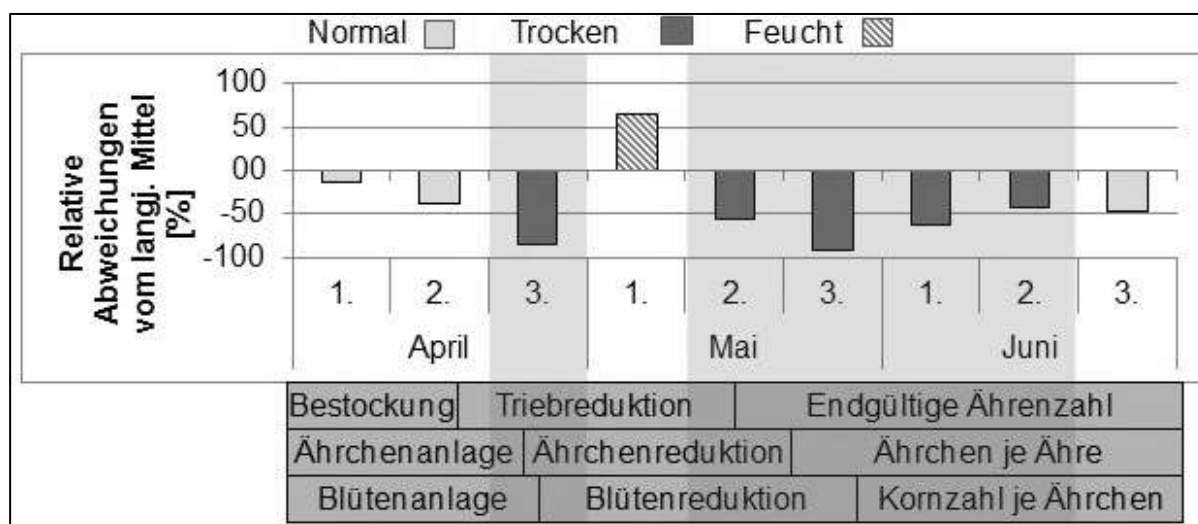
### Einleitung

Im Rahmen des Verbundvorhabens „Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg-Berlin“ (INKA-BB), gefördert durch das BMBF, werden im Teilprojekt 8 die landwirtschaftlichen Fruchtarten Winterweizen, Winterroggen, Winterraps und Silomais auf vier Landwirtschaftsbetrieben untersucht. Ziel ist die Auswertung von Ergebnissen der Prüfung ausgewählter Sorten hinsichtlich Standorteignung und Toleranz gegenüber klimatisch bedingten Extremsituationen. Derzeit liegen Ergebnisse aus dem Erntejahr 2010 für Silomais und aus dem Erntejahr 2011 für alle vier Fruchtarten vor.

### Material und Methoden

Datengrundlage sind die Ernteergebnisse aus den On-Farm Versuchen, die damit verbundene Erhebung der Ertragsstruktur und die Laboranalysen. Des Weiteren die Witterungsdaten der auf jedem Betrieb aufgestellten mobilen Wetterstationen. Außerdem die Ackerzahlen der Untersuchungsflächen aus den Bodenschätzungskarten. Mithilfe des Simulationsmodells REMO wurden die langjährigen Niederschlagshöhen (1971 – 2000) für die Untersuchungsstandorte simuliert. Abschließend wurde die Ontogenese von Winterweizen und Winterroggen auf den Untersuchungsstandorten mit dem SIMONTO – Modell (nach ROßBERG et. al. 2005) simuliert.

### Ergebnisse und Diskussion



**Abb. 1:** Niederschlagsverteilung in Dekaden vom 01.04. bis 30.06. 2011 und Ontogenese von Winterroggen am Standort BAG - Neu Sacrow

Durch die vorliegenden Simulationsergebnisse konnten die Witterungsverläufe der verschiedenen Standorte mit den einzelnen Wachstumsstadien (BBCH – Code) von Winterweizen und Winterroggen in einen sinnvollen Zusammenhang gebracht werden. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Kombination aus Abweichungen der Niederschlagshöhen vom langjährigen Mittel und die in diesem Zeitraum ablaufende Ontogenese von Winterroggen. Daraus geht hervor, dass am Standort Neu Sacrow insbesondere im Bereich der Kornfüllungsphase, also im Zeitraum Mitte Mai bis Mitte Juni Trockenheit vorherrschte.

**Tab. 1:** Sortenranking der vier Standorte nach Winterroggenertrag 2011

<b>Passow AZ 52 - 53</b>		<b>Groß Schönebeck AZ 19 - 28</b>		<b>Trebbin AZ 15 - 29</b>		<b>BAG – Neu Sacrow AZ 30 - 47</b>	
Sorte	Relativ	Sorte	Relativ	Sorte	Relativ	Sorte	Relativ
1. Brasetto	115	1. Brasetto	107	1. Brasetto	103	1. Brasetto	107
2. Conduct	85	2. Conduct	93	2. Conduct	97	2. Conduct	93
<b>Mittelwert (dt ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>70.6</b>	<b>Mittelwert (dt ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>40.5</b>	<b>Mittelwert (dt ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>41.2</b>	<b>Mittelwert (dt ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>34.1</b>

Bei Betrachtung der Kornerträge an den Standorten fällt auf, dass der Standort Neu Sacrow den geringsten Kornertrag beim Winterroggen erreichte. Trotzdem dieser Standort bei Vergleich der Ackerzahlen im oberen Bereich lag. Werden die Ertragsstrukturparameter der Standorte mit einbezogen, so waren die Tausendkorngewichte am Standort Neu Sacrow mit Abstand am geringsten. Wofür sicherlich die vorher genannte Trockenperiode mit eine Ursache war. Die Hybridroggensorte Brasetto zeigte über alle Standorte hinweg den höchsten Kornertrag (Tab. 1). Möglicherweise konnte die Hybridsorte die in Abbildung 1 dargestellte Trockenperiode besser kompensieren. Dies gilt es jedoch in weiteren Versuchsjahren zu untersuchen.

Für die Fruchtart Silomais wurden die TM – Erträge der untersuchten Sorten in einem Ranking dargestellt. Dort traten in Folge günstiger Witterungsverläufe im Erntejahr 2011 überdurchschnittlich hohe Trockenmasseerträge auf. Sortenunterschiede sind erkennbar, können aber erst mit den Ergebnissen des dritten Versuchsjahres 2012 genauer analysiert und evaluiert werden.

Aus den bisherigen Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass auf allen Untersuchungsstandorten Vorsommertrockenheit im Erntejahr 2011 erkennbar war, aber mit unterschiedlich starker Ausprägung. Auf der Grundlage der monatlichen Dekaden von April bis Juni konnten deutliche Unterschiede im Witterungsverlauf an den Standorten aufgezeigt werden, womit die Unterschiede in den Sortenleistungen erklärbar sind. Die mobilen Wetterstationen an allen Untersuchungsstandorten haben sich als unverzichtbar herausgestellt, um den Einfluss der Witterung möglichst genau quantifizieren zu können.

## Literatur

ROßBERG, D., E.JÖRG, K.FALKE 2005: SIMONTO – ein neues Ontogenesemodell für Wintergetreide und Winterraps. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 57 (4), S. 74-80.

## Ertragsphysiologische Messmethoden zur Erfassung der Trockenstresstoleranz von Winterroggen

Kottmann Lorenz<sup>1</sup>, Wittich Klaus-Peter<sup>2</sup>, Wilde Peer<sup>3</sup>, Richter Nicole<sup>1</sup>, Lilienthal Holger<sup>1</sup>, Giesemann Anette<sup>4</sup>, Fangmeier Andreas<sup>5</sup> und Schittenhelm Siegfried<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Julius Kühn-Institut, Braunschweig; <sup>2</sup>Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung, Braunschweig; <sup>3</sup>KWS Lochow GmbH, Bergen-Wohlde; <sup>4</sup>Institut für agrarrelevante Klimaforschung, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig; <sup>5</sup>Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie, Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: lorenz.kottmann@jki.bund.de

### Einleitung

Roggen wird voraussichtlich infolge des Klimawandels besonders stark von trockenstressbedingten Ertragsreduktionen betroffen sein, da er vorwiegend auf leichten Böden mit geringem Wasserhaltevermögen angebaut wird. Die züchterische Selektion auf Biomasse- bzw. Kornertrag wird unter Trockenstressbedingungen durch vergleichsweise hohe Fehlervarianzen und mithin niedrige Heritabilitäten erschwert. Im vorliegenden Versuch soll geprüft werden, ob sich der Züchtungsfortschritt durch Berücksichtigung der ertragsphysiologischen Messmethoden Bestandestemperatur und Kohlenstoffisotopendiskriminierung beschleunigen lässt.

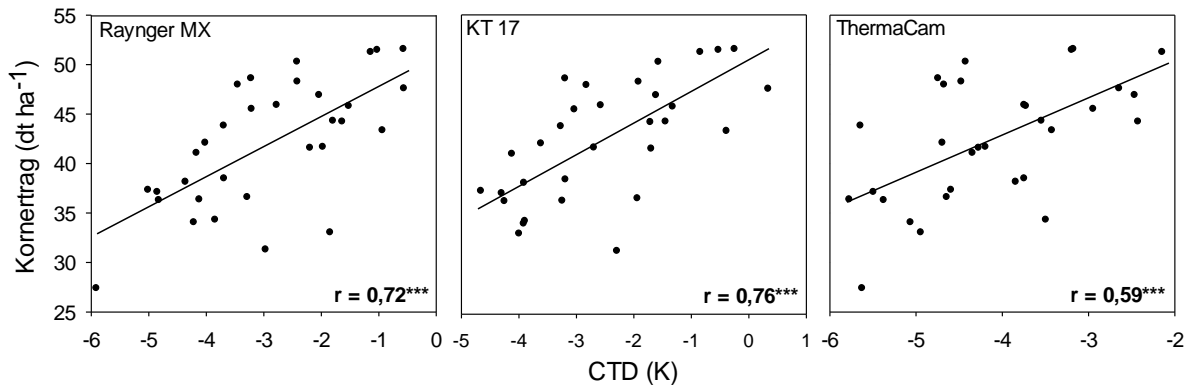
### Material und Methoden

Im Jahr 2011 wurden in Braunschweig auf dem Gelände des Julius Kühn-Instituts 16 Winterroggenprüfglieder, bestehend aus drei Elternlinien, 12 Kreuzungsnachkommen und der kommerziellen Vergleichssorte „Palazzo“, untersucht. Die Prüfglieder wurden in einem 4 x 4 Zweisatzgitter in zwei Umwelten angebaut. Die Trockenstressumwelt in einem Folientunnel erhielt nach dem Aufziehen der Folie zu Beginn des Schossens keinen natürlichen Niederschlag mehr und wurde auch nicht zusätzlich bewässert. Die benachbarte Kontrollumwelt wurde durch Einsatz von Tropfschläuchen optimal mit Wasser versorgt. An acht Terminen wurde die Bestandestemperatur gegen Mittag mittels der Infrarotthermometer Raynger MX (Raytek) und KT17 (Heitronics) sowie der Infrarotkamera ThermoCam PM675 (FLIR Systems) gemessen und damit die „Canopy Temperature Depression“ ( $CTD = T_{Luft} - T_{Bestand}$ ) errechnet. Die Kohlenstoffisotopendiskriminierung erfolgte an Fahnenblättern, welche zum Zeitpunkt der Vollreife geerntet wurden, mittels eines Isotopenhäufigkeitsmassenspektrometers (Delta Plus, Thermo Fischer Scientific). Die Kohlenstoffisotopendiskriminierungsrate ( $\Delta$ ) wurde nach Farquar et al. (1989) berechnet. Korn-, Stroh- und Biomasseerträge wurden bei der Vollreife bestimmt.

### Ergebnisse und Diskussion

Korn-, Stroh- und Biomasseertrag nahmen unter Trockenstress um 56, 37 bzw. 47% ab. Der Kornertrag war deutlich stärker vom Trockenstress betroffen als der Strohertrag, da der Stress im Verlauf der Pflanzenentwicklung zunahm. Die Pflanzen unter Trockenstress hatten eine signifikant höhere Bestandestemperatur (geringere CTD) als die Pflanzen unter Kontrollbedingungen. Gemittelt über alle Messungen lag die Differenz zwischen den Umwelten für das Raynger MX bei 2,3 Kelvin (K), das KT17 bei 3,6 K und die ThermoCam bei 3,3 K. Unter Trockenstressbedingungen zeigte die CTD signifikant positive Korrelationen zum Korn-, Stroh- und

Biomasseertrag (max.  $r = 0,76$ ), in der Kontrolle wurde dagegen keine signifikante Beziehung zwischen CTD und Korn-, Stroh- und Biomasseertrag festgestellt. Das KT17 lieferte bei allen Messungen die engste Korrelation (Abb. 1). Den stärksten Einfluss auf die Messungen hatte jedoch das Wetter. So waren aussagekräftige Messergebnisse, d.h. enge Korrelationen zwischen CTD und Korn-, Stroh- und Biomasseertrag nur an Tagen mit hohen Strahlungswerten ( $>700 \text{ W m}^{-2}$ ), hohen Temperaturen ( $>20 \text{ °C}$ ) und geringen Windgeschwindigkeiten ( $< 3 \text{ m s}^{-1}$ ) zu erzielen.



**Abbildung 1:** Beziehung zwischen CTD und Korntrag für unterschiedliche IR-Messgeräte in der Trockenstressumwelt am 6. Juni 2011.

Die Kohlenstoffisotopendiskriminierungsraten ( $\Delta$ ) mit und ohne Trockenstress lagen zwischen 19,7 und 21,0‰ bzw. 22,1 und 23,3‰. Die Genotypen und Umwelten unterschieden sich signifikant ( $P < 0,05$ ) in den Diskriminierungsraten. Unter Trockenstress war  $\Delta$  signifikant positiv mit dem Korn-, Stroh- und Biomasseertrag korreliert. Die Korrelationskoeffizienten waren jedoch mit maximal  $r = 0,45$  sehr schwach. Möglicherweise war der experimentell erzeugte Trockenstress zu stark, um im Folientunnel engere Korrelationen zu erreichen. So fanden Merah et al. (2004) unter dem Einfluss von mildem Trockenstress eine signifikante Korrelationen zwischen Fahrenblatt- $\Delta$  und dem Korntrag ( $r = 0,82$ ). Aus diesem Grund wurden die Versuche im Jahr 2012 mit einem zusätzlichen milden Trockenstress durchgeführt.

Mit der Bestandestemperatur konnten somit Aussagen über das Pflanzenwachstum unter Trockenstress getroffen werden. So lässt sich der Pflanzenwasserstatus im Feld durch die CTD zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien zerstörungsfrei und schnell bestimmen. Die Eignung der Kohlenstoffisotopendiskriminierung für die Roggenzüchtung wird gegenwärtig noch weiter untersucht.

## 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—5
- Merah, O.; E. Deleens; B. Teulat and P. Monneveux 2002: Association between yield and carbon isotope discrimination value in different organs of durum wheat under drought. *J. Agron. Crop Sci.* 188: 426-434.

## Einfluss des Ernteverfahrens auf Ertrag und Qualität bei Zuckerrüben

Jorita Krieger<sup>1</sup>, Michael Baumecker<sup>1</sup>, Andreas Muskolus<sup>2</sup> und Frank Ellmer<sup>1</sup>

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

### Einleitung

Hohe Zuckererträge werden vorrangig durch eine Maximierung des Rübenenertrages erreicht. Potential zur Ertragserhöhung steckt hierbei in einer Reduktion des Kopfanteils bei der Ernte. Im Jahr 2011 wurden in Feldversuchen in der Region Berlin-Brandenburg verschiedene Ernteverfahren bei Zuckerrüben getestet, um deren Einfluss auf Ertrag und Qualität zu quantifizieren.

### Material und Methoden

Die Versuchsstandorte Berge, Berlin-Dahlem und Thyrow repräsentieren die sandigen Ackerbaugebiete des Nordostdeutschen Tieflandes und umfassen schwach schluffige bis anlehmige Sandböden (Tab. 1).

**Tab. 1:** Bodentextur (Gew. %), Nährstoffangebot (mg 100 g Boden<sup>-1</sup>) im Oberboden und Wasserangebot (mm)

Standort	Körnungsart			Bodenfruchtbarkeit			Niederschlagshöhe		
	Sand	Schluff	Ton	P <sub>DL</sub>	K <sub>DL</sub>	Mg <sub>CaCl</sub>	IjM	2011	Bereg.
Berge	75,6	16,6	7,8	20,7	15,9	7,1	516	656	-
Berlin-Dahlem	72,1	25,0	2,9	28,0	9,9	4,6	562	602	-
Thyrow	83,1	14,2	2,7	10,1	16,1	3,5	510	611	35

Legende: IjM langjähriges Mittel (1981 – 2010); Bereg. Beregnung

Im Feldversuch wurden zwei Sorten (N-Typ, Z-Typ) unter abgestufter N-Düngung (0, 80, 120, 160 kg ha<sup>-1</sup> N) getestet. Als Ernteverfahren kamen neben dem normalen Köpfschnitt unterhalb der lebenden Blattansätze ein um ca. 2 cm höherer Köpfschnitt (Minimalköpfen) sowie eine Variante Entblatten (Schlägeln) zum Einsatz. Die Ertrags- und Qualitätsparameter wurden im Labor der Firma Syngenta<sup>®</sup> analysiert. Zur statistischen Datenauswertung wurde die Statistiksoftware SAS<sup>®</sup> Version 9.2 verwendet.

### Ergebnisse und Diskussion

Im Jahr 2011 wurde u.a. aufgrund der günstigen Niederschlagsverteilung auf allen drei Standorten ein überdurchschnittlich hohes Ertragsniveau erzielt.

Eine Reduktion des Kopfanteils bei der Zuckerrübenernte führte zur erwarteten Erhöhung des Rübenenertrages. Hierbei wurde bereits mit einem um ca. 2 cm höheren Köpfschnitt ein signifikanter Mehrertrag erreicht (Tab. 2). Der Ertragszuwachs auf den Standorten Berge und Thyrow lag bei 10 % bzw. 13 %. Ein weiterer Ertragsanstieg durch das Verfahren Schlägeln zeigte sich in der Tendenz nur auf dem Standort Berge. In Berlin-Dahlem war insgesamt kein Einfluss des Ernteverfahrens auf die Ertragsparameter feststellbar. Der Zuckergehalt wurde durch eine Reduktion des Kopfanteils in Berlin-Dahlem und in Thyrow signifikant reduziert, während hierbei in Berge kein Effekt nachweisbar war. Der Zuckerertrag wurde wie bereits der Rübenenertrag durch Minimalköpfen signifikant gefördert. Der Mehrertrag lag auf beiden

Standorten bei 10 %. In Thyrow wurde der geringste Zuckerertrag im Verfahren Schlägeln erzielt, was auf vergleichsweise geringe Werte bei Rüben-ertrag und Zuckergehalt zurückzuführen ist.

Einhergehend mit von der Wurzel zur oberen Sprossachse hin ansteigenden Gehalten an Melassebildnern (Mahn, 2000) wurde der Standardmelasseverlust (SMV) durch einen um ca. 2 cm höheren Köpfschnitt signifikant erhöht. Der Einfluss des Verfahrens Schlägeln auf den SMV entsprach demgegenüber lediglich auf dem Standort Berge den Erwartungen. In Berlin-Dahlem und Thyrow hingegen lag der SMV auf gleichem Niveau wie im Verfahren Normalköpfen. Dies ist wahrscheinlich auf höhere Ernteverluste durch stärkere Verletzungen des Rübenkopfes zurückzuführen und würde gleichzeitig das in diesem Verfahren vergleichsweise geringe Ertragsniveau erklären. Folglich fiel der Bereinigte Zuckerertrag auf beiden Standorten im Verfahren Schlägeln geringer aus als im Verfahren Normalköpfen (Tab.2).

**Tab. 2:** Einfluss des Ernteverfahrens auf Ertrags- und Qualitätsparameter in Abhängigkeit vom Standort (Mittelwerte, Tukey-Test,  $\alpha = 0,05$ )

Standort	Ernteverfahren	Rüben-ertrag (t ha <sup>-1</sup> )	Zuckergehalt (% a. R.)	Zuckerertrag (t ha <sup>-1</sup> )	Standardmelasseverlust (% a. R.)	Bereinigter Zuckerertrag (t ha <sup>-1</sup> )
Berge	NK	90,86 a	16,17 a	14,67 a	1,14 a	13,08 a
	MK	99,57 b	16,24 a	16,15 b	1,20 b	14,35 ab
	SG	104,64 b	16,29 a	17,03 b	1,19 ab	15,15 b
Berlin-Dahlem*	NK	123,40 a	17,21 a	21,23 a	1,29 a	18,89 a
	SG	125,89 a	16,45 b	20,70 a	1,30 a	18,31 a
Thyrow	NK	90,63 a	18,62 a	16,87 a	1,09 a	15,33 a
	MK	102,04 b	18,22 b	18,58 b	1,15 b	16,80 b
	SG	91,41 a	17,82 c	16,27 c	1,11 a	14,70 c

Legende: \* Verfahren MK wurde nicht geprüft, NK Normalköpfen, MK Minimalköpfen, SG Schlägeln

Unabhängig vom Standort wurde der höchste Rüben-ertrag mit der Sorte vom N-Typ erreicht, während bei Zucker- und Bereinigtem Zuckerertrag die zuckergehaltsbetonte Sorte maximale Werte erzielte. Ausschlaggebend hierfür waren der höhere Zuckergehalt sowie ein geringerer Amino-N-Gehalt der Z-Sorte. Die mineralische N-Düngung war in Abhängigkeit des Standortes unterschiedlich ertragswirksam. Bei Rüben-, Zucker- und Bereinigtem Zuckerertrag wurde in Berlin-Dahlem kein Ertragseffekt festgestellt, während in Berge und Thyrow bereits mit 80 kg ha<sup>-1</sup> N signifikante Mehrerträge erreicht wurden. Die Sorte vom N-Typ reagierte deutlicher mit den Qualitätsparametern auf steigende N-Düngung als die Sorte vom Z-Typ.

Insgesamt führte eine Reduktion des Kopfanteils zu einer Verschlechterung der Qualität. Diese wurde allerdings im Verfahren Minimalköpfen durch eine Erhöhung des Rüben-ertrages kompensiert, was schließlich den Bereinigten Zuckerertrag gegenüber dem Normalköpfen signifikant erhöhte. Entscheidend für die erfolgreiche Durchführung des Schlägelns ist u.a. die optimale Einstellung der Schlägler zur Reduzierung von Bruchverlusten am Rübenkopf. Die Versuche werden 2012 wiederholt.

## Literatur

Mahn, K. (2000): Menge und Verteilung von Inhaltsstoffen im Rübenkörper und deren Bedeutung für die technische Qualität von Zuckerrüben. Dissertation, Universität Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen

## Genotypische Wassernutzung und Alterung bei verschiedenen Sorghumgenotypen

Jorita Krieger und Helmut Herzog

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Berlin.

E-Mail: Jorita.Krieger@agrar.hu-berlin.de

### Einleitung

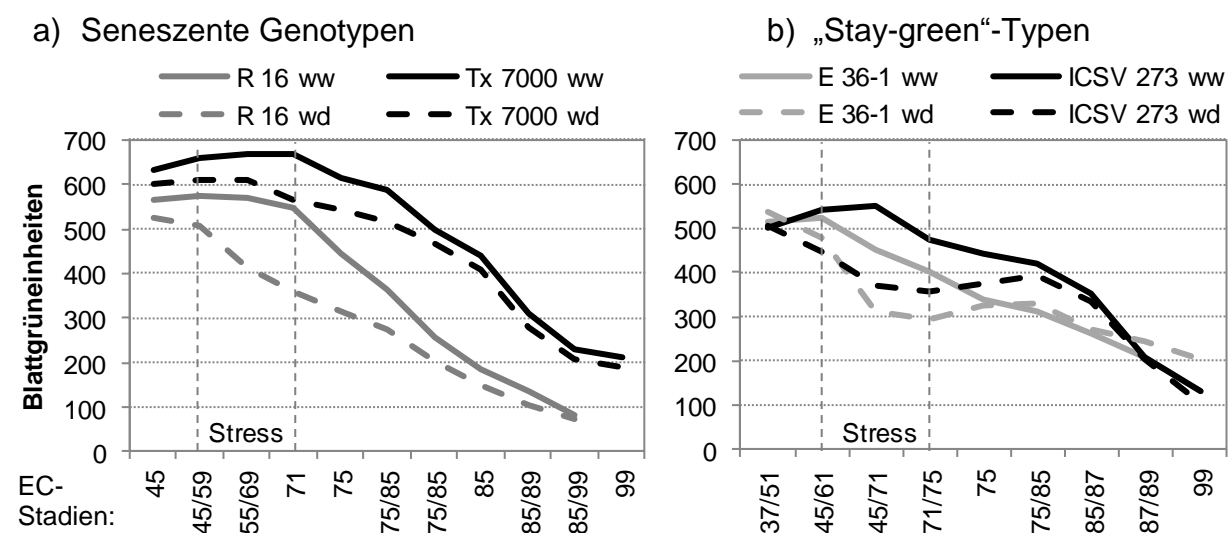
Sorghum zeichnet sich durch eine ausgeprägte Trockentoleranz aus, welche häufig mit einer verlangsamten Alterungsrate, insbesondere bei sogenannten „stay-green“-Typen, in Zusammenhang gebracht wird (Harris et al., 2007). Diese Hypothese wurde an verschiedenen Genotypen in mehreren Gefäßversuchen getestet. Ergebnisse aus dem Jahr 2011 werden nachfolgend vorgestellt.

### Material und Methoden

Die Sorghum-Pflanzen wurden ab März im Gewächshaus unter annähernd optimalen Bedingungen angezogen. Prüffaktoren waren Genotyp und Bewässerung (ww = optimal, wd = restriktiv; 7 Wdh.). Die Genotypen unterschieden sich in Herkunft (Indien, Texas), Habitus und Trockentoleranz bzw. „stay-green“-Ausprägung. Ab EC 45 wurde der Bodenwassergehalt in der Trockenstress-Variante (wd) für drei Wochen statt bei voller Feldkapazität (FK) (ww, ~26±2 Vol.%; Substrat: lehmiger Sand) bei 40 % der FK gehalten. Untersucht wurden die Entwicklung der Blattgrün- ausprägung als Maß der Alterung (wöchentlich, YARA® N-Tester), der Wasserverbrauch, die Biomassebildung (oberirdisch) und der Ertrag.

### Ergebnisse und Diskussion

Der Verlauf der Blattgrünwerte zeigte genotypische Unterschiede. In der optimal bewässerten Variante setzten bei beiden normal-seneszenten Genotypen und dem „stay-green“-Typ ICSV 273 ab EC 71 deutliche Alterungsprozesse ein, während diese bei E 36-1 bereits zur Blüte begannen (Abb. 1).



**Abb. 1:** Entwicklung des Blattgrüns in Abhängigkeit von Genotyp und Bewässerung (Mittelwert aus Fahnenblatt, dritt- und fünftjüngstem Blatt)

Trockenstress beschleunigte die Alterung generell. Bei den normal-seneszenten Genotypen reagierte R 16 früher und deutlicher auf den Stress als Tx 7000. Im Gegensatz dazu zeigten die „stay-green“-Typen (wd) ab Stressmitte längere Zeit nahezu konstante Werte. Die von Thomas et al. (2000) erwähnte schnelle Alterung von E 36-1 unter optimaler Bewässerung sowie eine verlangsamte Alterung unter Trockenstress konnten damit bestätigt werden. Bei allen Genotypen wurden ab EC 85 die Werte der optimal bewässerten Pflanzen erreicht.

Hinsichtlich Biomasse- und Ertragsbildung, Ernteindex und Wassernutzungseffizienz bestanden zwischen den Faktoren Genotyp und Bewässerung keine signifikanten Interaktionen. Bei allen Merkmalen ergaben sich aber signifikante genotypische Unterschiede in der Hauptwirkung (Tab. 1).

**Tab. 1:** Einfluss von Genotyp und Bewässerung auf Trockenmasse, Kornertrag, Ernteindex und Wassernutzungseffizienz (WNE), (Mittelwert, Tukey-Test,  $\alpha = 0,05$ )

Prüffaktoren	Biomasse (TM, g Pflanze <sup>-1</sup> )		Kornertrag (g Pflanze <sup>-1</sup> )		Ernteindex		WNE (g L <sup>-1</sup> )	
Genotyp								
Tx 7000	55,0	ab	33,0	c	0,60	b	1,64	b
R 16	57,9	b	29,6	bc	0,51	b	1,29	b
E 36-1*	59,9	b	16,5	a	0,28	a	0,84	a
ICSV 273*	45,5	a	25,6	b	0,56	b	1,56	b
Bewässerung								
ww	60,2	b	29,6	b	0,50	a	1,33	a
wd	48,7	a	22,7	a	0,47	a	1,34	a

Legende: \* stay-green, TM Trockenmasse, ww optimale Bewässerung, wd restriktive Bewässerung,

In der Biomasse blieb ICSV 273 mit 45,5 g deutlich hinter den anderen Genotypen zurück. Die Ertragsleistung war bei den „stay-green“-Typen geringer als bei den normal-seneszenten Genotypen. Bezüglich der Merkmale Ernteindex und Wassernutzungseffizienz war E 36-1 den anderen Genotypen erheblich unterlegen.

Trockenstress minderte sowohl die gebildete Biomasse als auch den Kornertrag im Versuchsmittel um 19 bzw. 23 %. Der Ernteindex blieb hiervon allerdings unbeeinflusst. Zudem zeigten die Genotypen eine unterschiedliche Trockenstressempfindlichkeit der Ertragskomponenten. Trockenstress führte bei allen Genotypen zu einer signifikanten Reduktion der Kornanzahl, welche bei E 36-1 mit 40 % doppelt so hoch ausfiel wie bei Tx 7000. Die geringste Minderung wurde mit 13 % bei R 16 festgestellt. Tx 7000 und ICSV 273 kompensierten dies zum Teil durch ein um 11 bzw. 15 % höheres Einzelkorngewicht, während R 16 und E 36-1 hierbei um 12 bzw. 21 % geringere Werte aufwiesen. Dementsprechend bestand hier eine signifikante Interaktion zwischen den Prüffaktoren. Ein Einfluss der Bewässerung auf die Wassernutzungseffizienz wurde nicht festgestellt. Eine grundsätzlich unterschiedliche Trockenstressempfindlichkeit im Ertrag zwischen den getesteten normal-seneszenten und den stay-green-Genotypen war nicht nachweisbar.

## Literatur

Harris K., Subudhi P. K., Borrell A., Jordan D., Rosenow D., Nguyen H., Klein P., Klein R., Mullet J. (2007): Sorghum stay-green QTL individually reduce post-flowering drought-induced leaf senescence. J. Exp. Bot., Vol. 56, No. 2:327 – 338

Thomas H., Howarth C. J. (2000): Five ways to stay green. J. Exp. Bot., Vol. 51:329 – 337



## Erhebung aeraler Multispektraldaten in Winterweizen

Johanna Link-Dolezal<sup>1</sup>, Jakob Geipel<sup>1</sup>, Christoph Zecha<sup>1</sup> und Wilhelm Claupein<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Kulturpflanzenwissenschaften/Universität Hohenheim, Stuttgart; E-Mail: johanna.link@uni-hohenheim.de

### Einleitung

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass mittels spektralen Informationen der Zustand eines Pflanzenbestandes ermittelt werden kann. So kann der Stickstoffgehalt, die Wasserversorgung (Abuzar et al., 2009), oder die Ertragsentwicklung (Osborne et al., 2002) eines Pflanzenbestandes aus Spektraldaten abgeleitet und als Grundlage für Applikationskarten genutzt werden. Vor diesem Hintergrund wurde der Einsatz eines UAV (unmanned aerial vehicle) zur Erfassung von aeralen Multispektraldaten in Winterweizen untersucht. Ziel war zu klären, ob die variable Ertragsstruktur im Schlag über den Sensoreinsatz aus der Luft erfasst werden kann.

### Material und Methoden

Als UAV wurde ein E-Trainer (Graupner) mit dem Miniaturspektrometer MMS 1 enhanced (Tec5) und dem Autopilot mp2028 (MicroPilot) ausgerüstet. Der Autopilot diente neben der Realisierung wiederholbarer Messflüge auch der Aufzeichnung der relevanten Lageparameter des UAV in der Luft. Der Weizenschlag wurde mehrmals in der Vegetationsperiode anhand festgelegter Way-Points in einer Höhe von 100 m befliegen. Die erhobenen Multispektraldaten wurden basierend auf einem virtuellen Grid-Layout mit den im Feld erfassten Daten (Biomasse, Ertrag) anhand von Vegetationsindizes, wie dem TCARI (Haboundane et al., 2002) verrechnet.

### Ergebnisse und Diskussion

Die ersten Regressionsanalysen lassen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Multispektraldaten und den erhobenen Pflanzenparametern erkennen. Einzelne Trends, wie positive Korrelationen zwischen dem TCARI und der Biomasse zu verschiedenen Messterminen und dem Kornertrag, lassen aber vermuten, dass bei einer Korrektur der Daten um die Lage und die Lichtintensität, eine Optimierung der Aussagefähigkeit erzielt werden kann. Entsprechende Analysen und Korrekturen, sowie gegebenenfalls eine Optimierung der Messflüge, stehen noch aus.

### Literatur

Abuzar, M., O'Leary, G., Fitzgerald, G. 2009. Measuring water stress in a wheat crop on a spatial scale using airborne thermal and multispectral imagery, *Field Crops Res.*, 112, 1, 55-65.

Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J., Dextraze, L. 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Rem. Sens. of Env.*, 81, 416-426.

Osborne, S.L., Schepers, J.S., Francis, D.D., Schlemmer, M.R. 2002. Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen- and water-stressed corn. *Crop Sci.* 42, 165-171

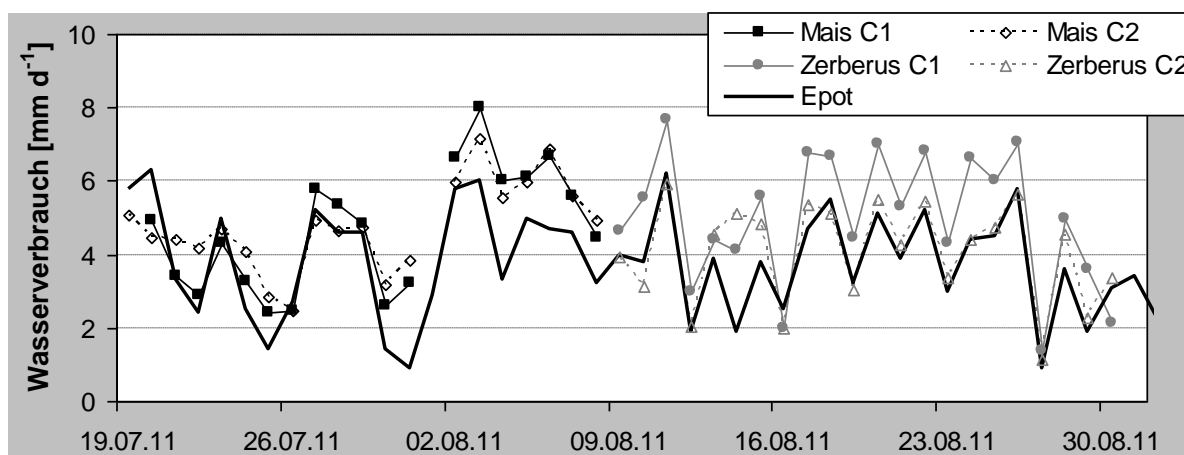
## Auswirkung erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf den Wasserhaushalt von Mais und Sorghum-Hirse

Martin Erbs<sup>1</sup>, Remy Manderscheid<sup>1</sup>, Benita Burghardt<sup>2</sup>, Ria Duensing<sup>3</sup>, Karin Fiedler<sup>3</sup>, Jürgen Burkhardt<sup>4</sup> und Hans-Joachim Weigel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Thünen-Institut für Biodiversität, Braunschweig; <sup>2</sup>Institut für Allgemeinen Pflanzenbau / Ökologischer Landbau, Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg; <sup>3</sup>Institut für Biologische Produktionssysteme – Systemmodellierung Gemüsebau, Leibniz Universität Hannover; <sup>4</sup>Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
E-Mail: martin.erbs@vti.bund.de

### Einleitung

Der Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration ([CO<sub>2</sub>]) wird zu einer Reduktion der stomatären Leitfähigkeit und einer Änderung des Wasserhaushalts von Pflanzenbeständen führen. Im vorliegenden Projekt wurde geprüft, ob dies unter Feldbedingungen zutrifft. Hierzu wurden die Auswirkungen einer erhöhten [CO<sub>2</sub>] auf den Wasserhaushalt der Versuchspflanzen mittels Saftflussmessungen (Transpirationsstrom der ganzen Pflanze) und Blattgaswechselformen erfasst. Diese Daten ermöglichen eine Abschätzung der Reduktion der Bestandestranspiration und des Wasserverbrauchs der Pflanzen aufgrund der erhöhten [CO<sub>2</sub>].



**Abb. 1:** Saftfluss-Tagesmittelwerte für zwei CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (C1: Außenluft, C2: erhöht 600 ppm) und potentielle Evapotranspiration ( $E_{pot}$ , DWD Agrarmeteorologie).

### Material und Methoden

Eine Maissorte (cv. Simao) und vier Sorghum-Sorten (*Sorghum bicolor* x *sudanese* cv. Inka; *Sorghum bicolor* cvs. Bulldozer, Zerberus, Tarzan) wurden unter praxisüblichen Bedingungen bei unterschiedlicher Wasser- und CO<sub>2</sub>-Versorgung angebaut (Manderscheid et al., 2011a). Die Erhöhung der [CO<sub>2</sub>] erfolgte mittels einer Freiland-CO<sub>2</sub>-Anreicherungsanlage (FACE) mit je drei Versuchsflächen pro CO<sub>2</sub>-Stufe (385 ppm und 600 ppm). Zur Auswertung kommen hier nur die Daten der gut bewässerten Varianten von Mais und Zerberus. Der Transpirationsstrom der ganzen Pflanze wurde mit Saftflussmanschetten (Dynamax, Houston, TX, USA) gemessen und mit Daten des DWD zur potentiellen Verdunstung ( $E_{pot}$ ) (berechnet nach Penman) verglichen. In einer 2-tägigen Messkampagne im August wurden Lichtsättigungskurven der Transpirations- und Nettophotosyntheserate an sonnenexponierten Blättern (LiCor LI-6400, Lincoln, NE, USA).

		Mais C1	Mais C2	Zerb. C1	Zerb. C2
Differenz zu $E_{pot}$ (gesamt)	[%]	+ 22	+ 21	+ 33	+ 8
Korrelation zu $E_{pot}$ (gesamt)	Pearson'scher Korrelationsk.	0.81	0.70	0.90	0.84
<b>CO<sub>2</sub>-Effekt Wasserverbrauch</b>	<b>[%]</b>		<b>+ 2</b>		<b>- 19</b>
Differenz zu $E_{pot}$ ( $E_{pot} > 4\text{mm}$ )	[%]	+ 12	+ 6	+ 30	+ 2
Korrelation zu $E_{pot}$ ( $> 4\text{mm}$ )	Pearson'scher Korrelationsk.	0.34	0.08	0.85	0.78
<b>CO<sub>2</sub>-Effekt Wasserverbrauch</b>	<b>[%]</b>		<b>- 6</b>		<b>- 22</b>

**Tab. 1:** Vergleich des Wasserverbrauchs von Mais und Zerberus zur potentiellen Evapotranspiration ( $E_{pot}$ ) bei zwei CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (C1: Außenluft, C2: erhöht 600 ppm) sowie relativer CO<sub>2</sub>-Effekt. Oben: gesamte Messkampagne; Unten: Tage mit hohem Verdunstungsanspruch ( $E_{pot} > 4\text{mm}$ ).

### Ergebnisse und Diskussion

Der aus den Saftflussdaten errechnete tägliche Wasserverbrauch von Mais und der Sorghum-Hirse Zerberus lag über der potentiellen Evapotranspiration ( $E_{pot}$ , Abb. 1, Tab. 1). Dies entspricht den Erwartungen, da  $E_{pot}$  für Grünland als Referenzkultur berechnet wird. An Tagen mit hohem Verdunstungsanspruch ( $E_{pot} > 4\text{mm}$ ) fielen die Differenzen zwischen dem Wasserverbrauch von beiden Kulturen und  $E_{pot}$  unter erhöhter [CO<sub>2</sub>] geringer aus als unter Kontrollbedingungen (Tab. 1). Die höchste Differenz zu  $E_{pot}$  hatte Zerberus unter CO<sub>2</sub>-Außenluft. Bei Betrachtung der gesamten Messzeiträume wurden hohe Korrelationen zwischen Wasserverbrauch und  $E_{pot}$  gefunden. Für Tage mit hohem Verdunstungsanspruch wurden bei Mais jedoch deutlich geringere Korrelationen gefunden. Ein Unterschied in der Reaktion von Mais und Zerberus findet sich ebenso beim CO<sub>2</sub>-Effekt auf den Wasserverbrauch. Während beim Mais nur ein geringer CO<sub>2</sub>-Effekte vorzufinden war, kam es bei Zerberus unter hoher [CO<sub>2</sub>] zu einer klaren Reduktion des Wasserverbrauchs (Abb. 1, Tab. 1). Umgekehrt betrachtet bedeutet dies, dass es bei Zerberus unter normaler [CO<sub>2</sub>] bei hohem Verdunstungsanspruch weiterhin zu einer Steigerung des Wasserverbrauchs kommt und die CO<sub>2</sub>-bedingte Transpirationsminderung anhält, während er sich beim Mais abschwächt. Dies wird auch von Resultaten der Blattgaswechsellmessung bestätigt. Sie ergaben bei Zerberus eine konstante Transpirationsminderung (um ca. -40%), während bei Mais unter hoher Einstrahlung ein Abschwächung der Transpirationsminderung auf ca. -20% festgestellt wurde.

Die Resultate belegen für beide C<sub>4</sub>-Pflanzen die Reduktion der Transpiration unter erhöhter [CO<sub>2</sub>]. Es scheint jedoch, dass Sorghum insgesamt über eine höhere Wasserabgabekapazität verfügt als Mais. Dies passt auch zu der höheren Stomatadichte bei Sorghum im Vergleich zu Mais (Manderscheid et al., 2011b).

### Literatur

Manderscheid, R, M. Erbs and H.J. Weigel et al. (2011b). Vergleichende Untersuchung zur Wirkung erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Stomatadichte bei Mais und Sorghum-Hirse. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.23, 167.

Manderscheid, R, M. Erbs and H.J. Weigel et al. (2011a). Untersuchung zur Wechselwirkung unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und Wasserversorgung auf das Wachstum von Mais und Sorghum-Hirse. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.23, 168-169.

## **Integrierte Multiskalenmodelle: ein neuer systemübergreifender Ansatz bei Kulturpflanzen zur Anwendung in der Biomasse- und Klimafolgenforschung auf der Grundlage innovativer Experimente**

Remy Manderscheid<sup>1</sup>, Frank Ewert<sup>2</sup>, Henning Kage<sup>3</sup>, Johannes Müller<sup>4</sup>, Stefan Siebert<sup>2</sup> und Hans-Joachim Weigel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Thünen-Institut für Biodiversität (vTI), Braunschweig; <sup>2</sup>Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn (INRES); <sup>3</sup>Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität (CAU) Kiel; <sup>4</sup>Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Martin-Luther-Universität (MLU) Halle-Wittenberg. E-Mail: remy.manderscheid@vti.bund.de

### **Einleitung**

Die Pflanzenbauwissenschaften stehen mit den aktuellen Fragestellungen der Biomasse- und Klimafolgenforschung vor vielschichtigen Herausforderungen. Die Komplexität dieser Problemstellungen erfordert einen systemorientierten Forschungsansatz, der nur durch eine Kombination von experimentellen Untersuchungen und leistungsfähigen Systemmodellen erreicht werden kann. Dazu ist eine integrierte Betrachtung von Zusammenhängen über mehrere Skalen, beginnend von den physiologischen Prozessen auf Organ- und Pflanzenebene und weiter über den Pflanzenbestand bis hin zur Region notwendig. Derartige skalenübergreifende Kulturpflanzenmodelle sind bisher nicht verfügbar und sollen daher im Rahmen dieses Projektverbundes initiiert und zur Simulation der Auswirkungen der prognostizierten Klimaänderungen unter besonderer Berücksichtigung von Dürre und Hitzestress auf das Weizenwachstum in Deutschland getestet werden (vgl. Abb.1).

### **Schwerpunkte der Teilprojekte**

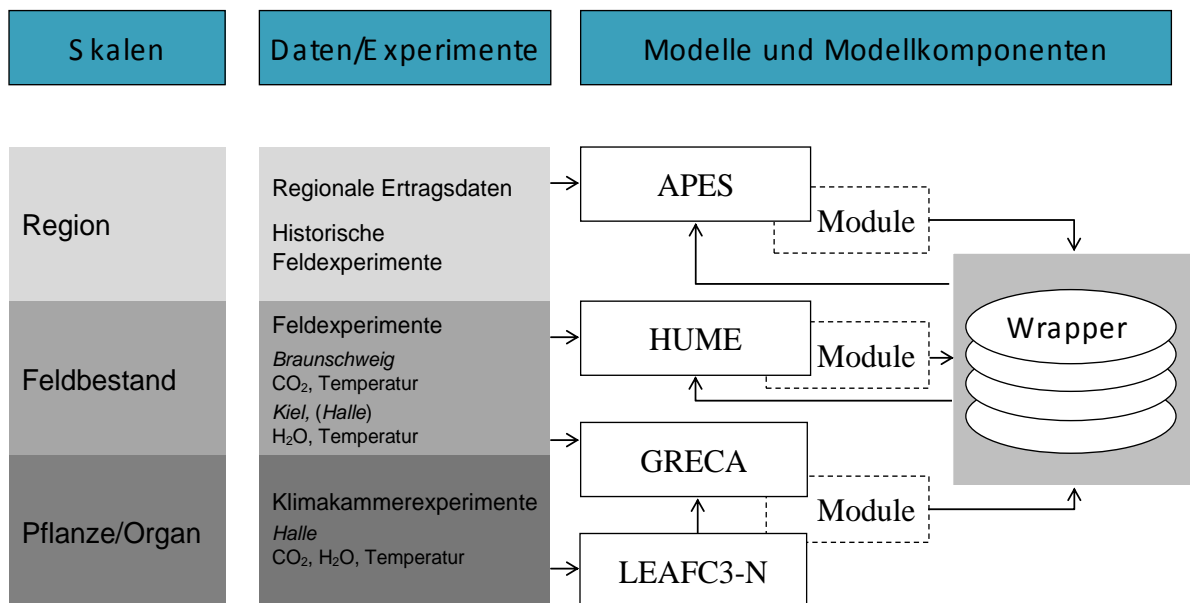
Am *vTI Braunschweig* werden Feldexperimente zu den Auswirkungen der Klimafaktoren CO<sub>2</sub> und erhöhte Temperatur bzw. Hitzestress auf Weizen durchgeführt. Dazu wird eine europaweit einzigartige Versuchsanordnung eingesetzt, die es gestattet, die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration und die Temperatur in Feldversuchspartzellen zu manipulieren ohne das Mikroklima der Pflanzenbestände zu beeinflussen. Ein zentrales Ziel des Projektes ist die Untersuchung von Wachstums- und Entwicklungsprozessen, speziell der Kornanlage, von Weizen bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration und dem Auftreten von kurzzeitigen Hitzeperioden unmittelbar vor der Blüte sowie im Verlauf der Kornfüllung. Für die Modellentwicklung der Partner wird ein vereinbarter Standarddatensatz aus den durchgeführten Untersuchungen bereitgestellt.

Im Teilprojekt der *MLU Halle* werden bereits vorhandene Modelle (LEAFC3-N und GRECA) für die gekoppelten Prozesse von Photosynthese, Wasserhaushalt und thermischem Energieaustausch auf Blatt- bzw. Bestandesebene weiterentwickelt hinsichtlich der Wirkung von erhöhtem CO<sub>2</sub>, Hitze- und Trockenstress auf Weizen. Anschließend werden daraus abgeleitete Module in die Kulturpflanzenmodelle der Gruppen Kage und Ewert integriert. Für die Modellentwicklung werden eigene Versuche in Klimakammern sowie in teilklimatisierten Parzellenküvetten im Freiland unter dem Einfluss von erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration sowie Hitze- und Trockenstress durchgeführt und die experimentellen Daten des *vTI Braunschweig* sowie der *CAU Kiel* genutzt.

Die *CAU Kiel* untersucht auf der Feldskala die Effekte von Hitzestress in Kombination mit Trockenstress auf die Ertragsbildung von Weizen in einem Ansatz der experimentelle und modellgestützte Arbeiten kombiniert. In Zusammenarbeit mit

dem *vTI Braunschweig* und der *MLU Halle* wird hierzu eine modular aufgebaute Modellfamilie zur Abbildung und Prognose der Hitzestresswirkungen auf Weizen innerhalb der Modellumgebung HUME erstellt. Die *CAU Kiel* übernimmt die Kopplung der Photosynthese- und Transpirationsmodelle mit den eigenen Modellmodulen zur Stoffverteilung und Biomasse- bzw. Ertragsbildung von Weizen und stellt verschiedene Modellmodule zur Verwendung innerhalb der Modellumgebung APES der AG Ewert als gekapselte Komponenten zur Verfügung.

An der *Uni Bonn* werden Regionalisierungen des Weizenwachstumsmodells basierend auf den Modulen der *MLU Halle* und *CAU Kiel* vorgenommen (Abb. 1). Dabei werden verschiedene räumliche und zeitliche Auflösungen in den Ein- und Ausgabedaten sowie Modellierungsansätze mit unterschiedlich detaillierten Ansätzen zur Modellierung pflanzenphysiologischer Prozesse berücksichtigt. Die Regionalisierungsmethoden werden evaluiert und zu Abschätzungen des Einflusses des Klimawandels auf Weizen bundesweit für den Zeitraum 2031-2060 für ausgewählte Klimaszenarien (A1B, B1) und regionale Klimamodelle (WETTREG, COSMO-CLM) angewendet.



**Abb. 1:** Modell- und Dateninterkonnektivität im geplanten Modellverbund

„Integrierte Multiskalenmodelle“

Der Projektverbund wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert (PAK 478)

## Untersuchung der Reaktionen verschiedener Gerstegenotypen auf zukünftige atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentrationen

Mitterbauer Esther<sup>1#</sup>, Erbs Martin<sup>1#</sup>, Enders Matthias<sup>2</sup>, Habekuß Antje<sup>2</sup>, Kilian Benjamin<sup>3</sup>, Giesemann Anette<sup>1+</sup>, Ordon Frank<sup>2</sup>, Weigel Hans-Joachim<sup>1#</sup>  
und Bender Jürgen<sup>1#</sup>

<sup>1#</sup>Institut für Biodiversität / <sup>1+</sup>Institut für Agrarrelevante Klimaforschung,  
Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei,  
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

<sup>2</sup>Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, Julius Kühn-Institut (JKI),  
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Erwin-Baur-Straße 27, 06484 Quedlinburg

<sup>3</sup>Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK),  
Corrensstr. 3, 06466 Gatersleben

### Einleitung

Die atmosphärische CO<sub>2</sub> Konzentration ist seit dem vorindustriellen Zeitalter von 280 ppm auf ein Niveau von derzeit rund 385 ppm gestiegen und Modelle sagen einen weiteren Anstieg der Konzentration auf über 700 ppm zum Ende dieses Jahrhunderts voraus (IPCC, 2007). Grundsätzlich stimulieren höhere CO<sub>2</sub> Konzentrationen die Photosynthese und führen so zu einem Anstieg der Biomasse und des Ertrages von C3 Pflanzen, eine Reaktion, die daher auch als „CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt“ bezeichnet wird. In verschiedenen Untersuchungen ist jedoch festgestellt worden, dass der potentielle CO<sub>2</sub>-Effekt auf die Photosynthese sich nicht in entsprechend großen Biomasse- bzw. Ertragszuwächsen wiederfindet (Ainsworth et al., 2008). Darüber hinaus sind bei Getreide genotypische Unterschiede in der Reaktion auf erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bekannt.

Ziel dieser Untersuchung soll daher sein, Informationen über die genetische Variabilität bezüglich der Ausnutzung erhöhter CO<sub>2</sub>-Gehalte bei Wintergerste zu erhalten und ihre Fähigkeit, die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration in höhere Erträge umzusetzen, zu evaluieren. Im Anschluss an die Phänotypisierung werden sich genetische Assoziationsstudien und Expressionsanalysen anschließen.

### Material und Methoden

Anhand einer Clusteranalyse, basierend auf 6807 SNP-Markern, wurden 100 Wintergerste-Genotypen mit höchst-möglicher genetischer Distanz selektiert. Die Genotypen wurden seit September 2011 unter Feldbedingungen angebaut und über die gesamte Wachstumsperiode in open-top Kammern unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen ausgesetzt (Außenluft: ~385 ppm CO<sub>2</sub> [NF], angereicherte Außenluft: ~700 ppm CO<sub>2</sub> [CO<sub>2</sub>]).

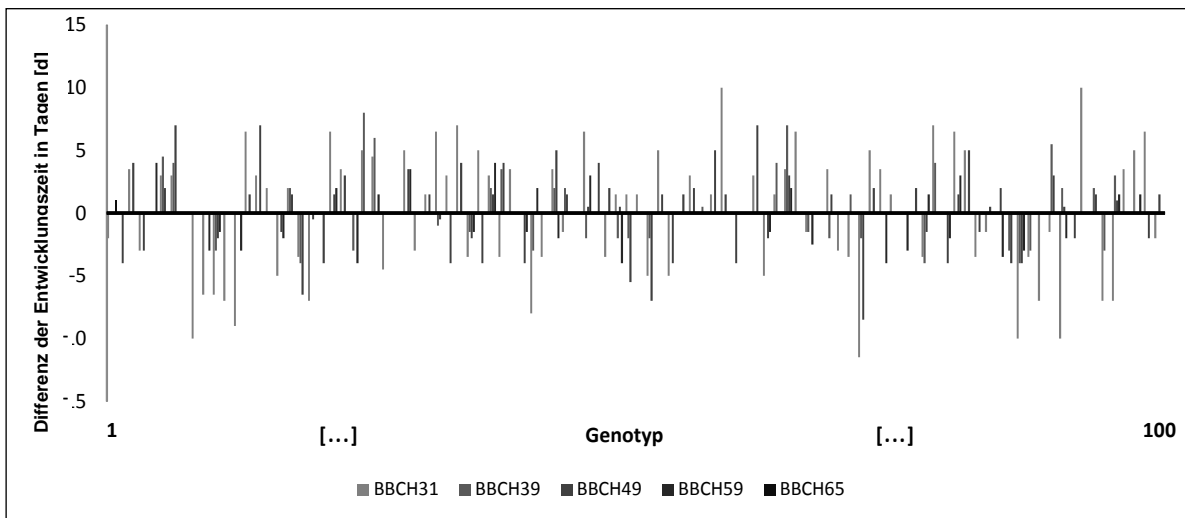
Während der Wachstumsperiode wurden die Pflanzenentwicklungsstadien und photosyntheserelevante (z.B. Chlorophyllgehalt) sowie agronomisch bedeutende Parameter erfasst. Das zum Zeitpunkt der Kornreife geerntete Material wird im Hinblick auf Biomasseproduktion, Ertrag und Ertragsqualität hin analysiert.

In einem Vorversuch wurde die Kohlenstoff-Isotopendiskriminierung junger Blätter von zehn Genotypen ermittelt.

## Ergebnisse und Diskussion

Erste deskriptive Auswertungen zeigen, dass die Genotypen während ihrer Entwicklung unterschiedlich auf  $[\text{CO}_2]$  reagierten. 25% und 20% der Genotypen benötigten länger bzw. weniger lange, um das jeweilige Entwicklungsstadium zu erreichen. Bei 23% der Genotypen beeinflusste  $[\text{CO}_2]$  die Entwicklungsdauer nicht und bei 32% war das Ergebnis nicht eindeutig. Letztgenannte reagierten in unterschiedlichen Entwicklungsstadien mit einer Reduktion oder Verlängerung der jeweiligen Entwicklungsdauer (Abb. 7).

54% aller Genotypen reagierten konsistent mit einer Halmverlängerung bzw. -verkürzung auf  $[\text{CO}_2]$  im Vergleich zu  $[\text{NF}]$ , während 9% und 46% der Genotypen nicht bzw. zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlich reagierten.



**Abb. 7:** Die Entwicklungsdauer von 100 Genotypen im Anbau unter  $[\text{CO}_2]$  relativ zur Entwicklungsdauer bei Anbau unter  $[\text{NF}]$  bis zum Erreichen verschiedener BBCH-Stadien (31, 39, 49, 59, 65). Positive Ergebnisse bedeuten eine Verlängerung der Entwicklung (in Tagen, [d]) durch  $[\text{CO}_2]$ .

Die Ergebnisse des laufenden Versuchsjahres lassen genotypische Unterschiede in den Reaktionen auf  $[\text{CO}_2]$  sowie ihrer Isotopendiskriminierung vermuten.

In den nächsten beiden Jahren werden die Untersuchungen wiederholt, um gesicherte Erkenntnisse über den  $\text{CO}_2$ -Düngeeffekt zu erhalten und mögliche Folgen für den Einsatz von Genotypen mit positiver Reaktion auf  $[\text{CO}_2]$  in Zuchtprogrammen abschätzen zu können.

## Literatur

Ainsworth, E.A.; C. Beier, C. Calfapietra, et al. 2008: Next generation of elevated  $[\text{CO}_2]$  experiments with crops: a critical investment for feeding the future world. *Plant Cell and Environment* 31(9): 1317-1324.

IPCC 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

*Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.*

## **Möglichkeiten der Nutzung von Cycloxydim-resistenten Maisgenotypen für den Gemengeanbau mit Sonnenblumen**

Carola Pekrun<sup>1</sup>, Carolin Zimmermann<sup>1</sup> und Walter Schmidt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, 72622 Nürtingen; <sup>2</sup>KWS Saat AG, Einbeck. E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

### **Einleitung**

Der Maisanbau für die Biogasanlage stellt ein sehr sicheres und ertragreiches Anbausystem dar. Die Zunahme der Anbauflächen mit Mais hat allerdings Dimensionen erreicht, die regelmäßig in der Kritik stehen. Als Alternative zu reinem Maisanbau könnte der Gemengeanbau von Mais mit Sonnenblumen gelten. Der Ölgehalt der Sonnenblumen-Achänen verspricht eine erhöhte Biogasausbeute, so dass selbst bei im Vergleich zu reinem Mais verminderten Trockenmasseerträgen eventuell gleich hohe Gaserträge erzielt werden könnten.

Die Verfügbarkeit von Cycloxydim-resistenten Maisgenotypen vereinfacht die Herbizidanwendung im Mais-Sonnenblumen-Gemenge. Aufgrund der Resistenz dieser Maisgenotypen gegen das Gräsermittel Focus Ultra können Gräser und Ausfallgetreide im Nachauflauf bekämpft werden. Diese Genotypen erweitern somit die Anbaumöglichkeiten im Gemenge mit dikotylen Kulturen.

Im vorliegenden Beitrag werden einjährige Versuchsergebnisse vom Standort Tachenhausen in Südwestdeutschland vorgestellt.

### **Material und Methoden**

2011 wurden auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Hofgut Tachenhausen (20 km südlich von Stuttgart: 360 m ü NN, 10 °C Jahresdurchschnittstemperatur, 840 mm Jahresniederschlag, Parabraunerde aus Löß) der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) drei Versuche mit Cycloxydim-resistentem Mais und Sonnenblumen angelegt. Die Versuche wurden zu drei Saatterminen mit jeweils angepassten Sorten etabliert: 20.04. (Mais Ronaldinio S 260 und Sonnenblumen Metharoc Reifebonitur 9), 05.05. (Mais Ricardinio S 230 K 220 und Sonnenblumen Heliacan) und 25.05.2011 (Fabregas S 210 K 220 und Sonnenblumen Heliaroc Reifebonitur 6). Innerhalb jedes Versuchs wurden die folgenden drei Varianten (4 Wiederholungen) getestet:

1. Reinsaat Mais (= Kontrolle)
2. Reinsaat Sonnenblumen
3. Gemengeanbau Mais/Sonnenblumen (2 Reihen Mais, 2 Reihen Sonnenblumen)

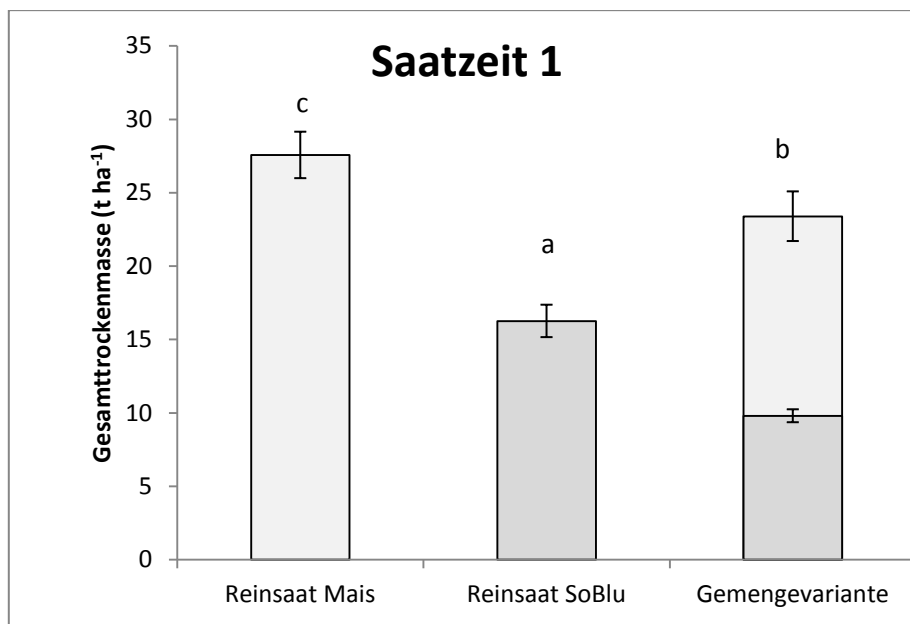
Die N-Düngung erfolgte zu einem geringen Teil als Unterfußdüngung zusammen mit P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Der überwiegende Teil der Nährstoffe wurde jedoch in Form von ENTEC perfect verabreicht. Dieser Volldünger mit stabilisiertem N wurde gewählt, damit die Düngewirkung der von organischem Dünger möglichst nahe kommt.

Im Verlauf des Versuchs wurde die Ertragsbildung im Reinanbau und im Gemenge festgehalten. Am Ende des Versuchs wurden der Trockenmasseertrag, der Trockensubstanzgehalt sowie der Methanertrag ermittelt. Saatzeit 1 und 2 wurden am 30.08.2011 geerntet, Saatzeit 3 wurde drei Wochen später, am 21.09.2011 gehäckselt.



## Ergebnisse und Diskussion

Ähnlich wie bei Versuchen in Österreich von Dabbagh Mohammadi Nassab et al. (2011) blieb der erhoffte Synergieeffekt des Gemengeanbaus aus. Der Trockenmasseertrag ebenso wie der Methanertrag des Gemenges lag in allen Fällen deutlich unter dem des Maisreinanbaus, allerdings auch deutlich über dem des alleinigen Sonnenblumenanbaus. In Abb. 1 sind die Ergebnisse exemplarisch für Saatzeit 1 dargestellt. Dieselben Relationen ergaben sich bei Saatzeit 2 und 3. Einen Nachteil brachten die Sonnenblumen nicht nur aufgrund der geringen Biomasseleistung, sondern außerdem aufgrund unzureichender Trockensubstanzgehalte. Mit 20 % bei Saatzeit 1 und 2 wurde Siloreife nicht erreicht. Hinzu kommt, dass die Ernte der Sonnenblumen auch in technischer Hinsicht große Schwierigkeiten bereitete, da die Sonnenblumenpflanzen vor dem Häcksler umknickten und nur mit zusätzlicher Handarbeit in den Häcksler eingeführt werden konnten.



**Abb. 1:** Trockenmasseerträge (t ha<sup>-1</sup>) der ersten Saatzeit mit Mais Ronaldinio und Sonnenblume Metharoc. Unterschiedliche Kleinbuchstaben bedeuten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gesamttrockenmasseerträgen bei p=0,05 (Tukey Kramer).

## Literatur

Dabbagh Mohammadi Nassab, A.; Amon, T. and H.-P. Kaul 2011: Competition and yield in intercrops of maize and sunflower for biogas. *Industrial Crops and Products* 34: 1203-1211.

## **Stoppelbearbeitung und Ertragsbildung – kausale Zusammenhänge?**

Carola Pekrun und Sabine Hubert

Institut für Angewandte Agrarforschung (IAAF) der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, 72622 Nürtingen; E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

### **Einleitung**

Über die Wirkung der Stoppelbearbeitung gibt es wenig fundierte Daten. Die Erfahrung der Landwirte sagt, dass Stoppelbearbeitung mehrere positive Wirkungen zeitigt: Sie soll ausgefallene Kulturpflanzen- und Unkrautsamen zur Keimung anregen, die Strohrotte fördern, den kapillaren Wasseraufstieg unterbrechen und allgemein positiv auf die Ertragsbildung der folgenden Kultur wirken. Versuche zur Wirkung der Stoppelbearbeitung auf Unkräuter ergaben in der Vergangenheit ein uneinheitliches Bild. Während die Wirkung auf perennierende Unkräuter stets eindeutig positiv war, zeigte sich bei annuellen Unkräutern keine so eindeutige Wirkung (Koch & Rademacher, 1966). Bei Kulturpflanzensamen sind ebenfalls z.T. keine eindeutigen Effekte festzustellen. Bei Raps wird die Überdauerung durch zeitige Stoppelbearbeitung eher gefördert als dass frühzeitige Stoppelbearbeitung die Keimung erhöht und damit die Überdauerung der Samen vermindert (Gruber et al., 2005). Auch die Wirkung auf den Wasserhaushalt scheint nicht unbedingt der praktischen Vorstellung zu entsprechen. Um Klarheit über die Wirkung der Stoppelbearbeitung zu erhalten, wurde 2007 auf dem Lehr – und Versuchsbetrieb der Hochschule Nürtingen-Geislingen ein Dauerversuch angelegt.

### **Material und Methoden**

Der Stoppelbearbeitungsversuch Tachenhausen wurde 2007 auf einem Produktionsschlag des Lehr- und Versuchsbetriebs Hofgut Tachenhausen (20 km südlich von Stuttgart: 360 m ü NN, 10 °C Jahresdurchschnittstemperatur, 840 mm Jahresniederschlag, Parabraunerde aus Löß) der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) angelegt. Innerhalb des Schlages erfolgen alle pflanzenbaulichen Maßnahmen einheitlich. Die Grundbodenbearbeitung wird in der Regel pfluglos durchgeführt. Der Versuch ist als Blockanlage mit folgenden Varianten und 4 Wiederholungen angelegt:

- 1.) Grubber 2 x
- 2.) Scheibenegge 2 x
- 3.) Grubber 1 x
- 4.) Scheibenegge 1 x
- 5.) Grubber spät
- 6.) Kontrolle: keine Stoppelbearbeitung

In Variante 1 und 2 erfolgt die Stoppelbearbeitung jeweils sofort nach der Ernte und ein zweites Mal dann, wenn die Stoppel wieder ergrünt ist. Die Stoppelbearbeitung in den Varianten 3 und 4 erfolgt jeweils zeitgleich mit dem zweiten Stoppelbearbeitungsgang in Variante 1 und 2. In der Variante 5 wird die Stoppelbearbeitung erst kurz vor der Grundbodenbearbeitung durchgeführt.

## Ergebnisse und Diskussion

In den Winterungen, d.h. in Winterweizen und Winterraps wurden bisher keine Unterschiede im Ertrag festgestellt (Tab. 1). Dagegen zeigten die Sommerungen Hafer und Sommergerste deutliche Ertragseinbußen durch unterlassene Stoppelbearbeitung. Die Ursachen für diese Ertragseinbußen sind einstweilen ungeklärt.

Fruchtfolgekrankheiten und –schädlinge traten bisher nicht in nennenswertem Umfang auf. Eine Bonitur auf Parasitären Halmbruch (*Pseudocercospora herpotrichoides*) im Jahr 2009 ergab in den Parzellen mit Stoppelbearbeitung tendenziell mehr Halmbruch (nicht dargestellt) als in der Kontrolle. Auch Untersuchungen des Bodenwassergehalts auf der Stoppel und im folgenden Frühjahr gaben keinen Hinweis darauf, dass durch Stoppelbearbeitung Wasser im Boden gespeichert werden kann, welches den folgenden Kulturen zusätzlich zur Verfügung stünde (nicht dargestellt). Unkraut und Ausfallgetreide war im Frühjahr jeweils in allen Parzellen nur sehr wenig vorhanden, so dass auch die potentiell sanierende Wirkung der Stoppelbearbeitung auf Ausfallgetreide und Unkräuter nicht ertragsbestimmend gewesen sein kann (nicht dargestellt).

Möglicherweise bewirkten Unterschiede in der Umsetzungsgeschwindigkeit des Strohs die Ertragsunterschiede. Denkbar ist, dass schlecht eingearbeitetes Stroh langsamer umgesetzt wird. Die Abbaudynamik des Strohs wurde bisher nicht untersucht. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass in den Parzellen ohne Stoppelbearbeitung die Bodenstruktur im Frühjahr ungünstiger war. Sommergerste ist bekannt als eine Kultur, die sehr stark auf Strukturschäden reagiert.

**Tab. 1:** Kornerträge (t/ha bezogen auf 14 % Feuchte bei Getreide, bezogen auf 9 % Feuchte bei Raps) im Stoppelbearbeitungsversuch Tachenhausen in den Jahren 2008 - 2011. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen innerhalb eines Jahres hin.  $p < 0,05$ .

Kultur	Jahr	Kontrolle	1 x Grubber	2 x Grubber
Hafer	2008	8,64 b	9,10 ab	9,23 a
Winterweizen	2009	8,08 a	8,12 a	8,05 a
Sommergerste	2010	8,73 b	9,07 a	9,18 a
Raps	2011	5,05 a	5,16 a	5,07 a

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass eine intensive Stoppelbearbeitung – wie in der Praxis i.d.R. durchgeführt – insgesamt gesehen eine positive Wirkung auf die Ertragsbildung auszuüben scheint. Insofern sollte auf diese Bodenbearbeitungsmaßnahme nicht verzichtet werden. Eine Verschiebung um einige Wochen, wie zur Verminderung der Überdauerung von Rapssamen sinnvoll, scheint keine negativen Wirkungen zu erzielen.

## Literatur

Gruber, S., Pekrun, C., Claupein, W., 2005: Life cycle and potential gene flow of volunteer oilseed rape in different tillage systems. *Weed Research* 45, 83-93.

Koch, R. & Rademacher, B., 1966: Einfluß verschiedenartiger Stoppelbearbeitung auf die Verunkrautung. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 123, 395 – 409

## Einfluss von Winterzwischenfrüchten auf den Ertrag von Energiemais

Thies Fellenberg und Rolf Rauber

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen. E-Mail: tfellenberg@web.de

### Einleitung

Winterzwischenfrüchte vor Mais können die Nmin-Gehalte im Boden über Winter absenken, Erosion vermindern, zur Humusreproduktion beitragen und selbst als Substrat für die Methanerzeugung genutzt werden (Menke 2011). Im folgenden Experiment sollte untersucht werden, inwieweit Winterzwischenfrüchte den Ertrag des nachfolgenden Mais (Ganzpflanze) beeinflussen.

### Material und Methoden

Im Leinetal (Auenlehm) wurden im August 2010 Zottelwicke, Wickroggen, Inkarnat- klee, Spitzwegerich, Winterroggen und Deutsches Weidelgras angebaut, Schwarz- brache als Kontrolle. Die Zwischenfrüchte wurden nicht gedüngt und einmal früh (Ende April 2011) und einmal spät (Ende Mai 2011) geerntet. Danach wurde Ener- giemais (Fernandez, KWS) gesät. Der Mais wurde auf zwei Stickstoff-Düngungs- stufen angebaut, ungedüngt und mit 160 kg N/ha (KAS). Versuchsdesign: dreistufige Spaltanlage. Das Frühjahr 2011 war ausgesprochen trocken.

### Ergebnisse und Diskussion

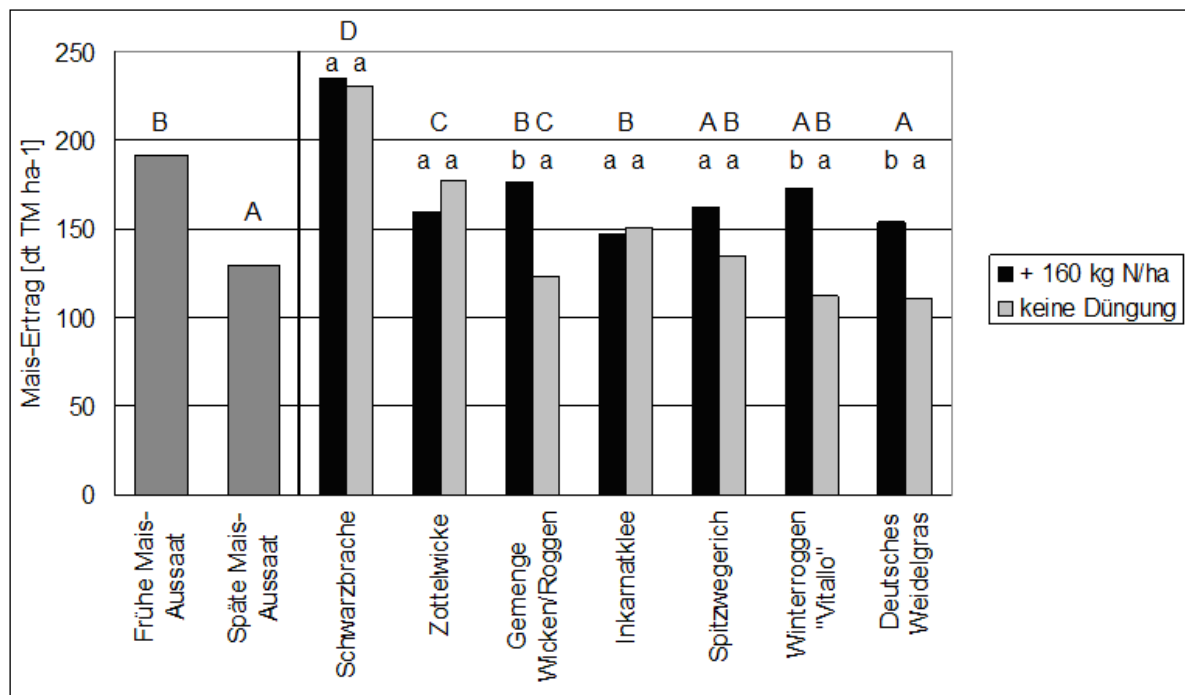
Nach der späten Ernte der Zwischenfrüchte lag der Maisertrag signifikant niedriger als nach der frühen Ernte der Zwischenfrüchte (Abb. 1, links). Zum Zeitpunkt der späten Aussaat des Maises waren die Wassergehalte im Boden deutlich niedriger als zum frühen Aussaatzeitpunkt, insbesondere auch in den oberen Bodenschichten, d.h. im Keimhorizont des Maises (Tab. 1, links). Dadurch wurden der Aufgang und die Jugendentwicklung des Maises bei der späten Aussaat stark in Mitleidenschaft gezogen. Dieser negative Effekt beeinträchtigte den Mais letztlich bis zur Ernte.

**Tab. 1:** Bodenwassergehalt (Gewichts-%) am 5. Mai (früh) und 30. Mai 2011 (spät), jeweils kurz nach der Maissaat und nach den Winterzwischenfrüchten im Mittel der Aussaattermine. Die Signifikanztests wurden getrennt für die Saattermine und die Zwischenfrüchte durchgeführt. Zwei Kleinbuchstaben pro Wert beschreiben einen überlappenden Buchstabenbereich (z.B. ac → a,b,c). Sowohl für die Saattermine als auch für die Zwischenfrüchte können alle Werte miteinander verglichen werden. Werte mit verschiedenen Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede an,  $P \leq 0,05$  (Tukey-Test).

Sbr = Schwarzbrache, ZW = Zottelwicke, ZW/WR = Wickroggen, Ikl = Inkarnatklee, SW = Spitzwege- rich, WR = Winterroggen, DW = Deutsches Weidelgras.

Horizont [cm]	Saattermin		Zwischenfrucht						
	früh	spät	Sbr	ZW	ZW/WR	Ikl	SW	WR	DW
0-10	11,3 cd	5,2 a	9,7 bi	8,6 be	8,0 ab	7,5 ab	8,3 bd	8,3 bf	7,3 b
10-20	13,5 e	8,8 b	14,0 kn	11,9 hj	10,6 dh	9,7 bg	11,0 ci	10,8 di	10,0 ag
20-30	13,3 e	9,9 c	14,8 n	12,4 ik	11,2 ei	9,7 be	10,8 ci	11,4 gi	10,9 di
30-100	15,1 f	12,8 de	16,1 o	13,0 jl	13,3 jm	13,4 km	14,1 mn	13,9 ln	14,16 mn

Im Mittel der Zwischenfrüchte erreichte der Maisertrag nur 68 %, verglichen mit dem Maisertrag nach Schwarzbrache (Abb. 1). Vermutlich spielt auch hier der Wasserhaushalt im Boden eine Rolle. Gerade in den Bodenschichten tiefer 10 cm lag der Wassergehalt in den ehemaligen Zwischenfruchtparzellen niedriger als in der ehemaligen Schwarzbrache (Tab. 1). Zusätzlich traten große ertragsmindernde Effekte in jenen Parzellen auf, in denen die Zwischenfrucht von der frühen zur späten Ernte viel Trockenmasse zugelegt hatte, z.B. in den Inkarnatklee-Parzellen. Hier war der Wassergehalt meist nochmals niedriger als in den übrigen Zwischenfrucht-Parzellen (Tab. 1). Offensichtlich wurde dadurch die erwartete Stickstoff liefernde und für den Mais ertragsfördernde Leistung des Inkarnatklees sogar überdeckt.



**Abb. 1:** Maiserträge (Ganzpflanze) in Abhängigkeit vom Saattermin des Mais (4. Mai und 27. Mai 2011) von der vorausgegangenen Winterzwischenfrucht und von der Stickstoffdüngung zum Mais. Verschiedene Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede innerhalb einer vorausgegangenen Zwischenfrucht an. Verschiedene Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Aussaatterminen bzw. zwischen den vorausgegangenen Zwischenfrüchten an,  $P \leq 0,05$  (Tukey-Test).

In den ehemaligen Parzellen der Poaceen-Zwischenfrüchte (Wickroggen, Winterroggen, Deutsches Weidelgras) kommt für die abfallenden Maiserträge zusätzlich wohl ein weiterer Effekt zum Tragen: das große Wurzelwerk und die damit verbundene Stickstoffimmobilisierung für den Mais. Diese Hypothese wird dadurch gestützt, dass gerade in den ehemaligen Poaceen-Parzellen der ertragssteigernde Effekt der Stickstoffdüngung besonders ausgeprägt war (Abb. 1), eine Düngung hier also unerlässlich ist.

## Literatur

Menke, C.A. 2011: Evaluierung von Winterzwischenfrüchten in einem Zweikultur-Nutzungssystem mit Mais für die Biogaserzeugung. Dissertation Universität Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen.

## Anbauvergleich von deutschen und türkischen Winterweizensorten unter den Standortbedingungen der Ege-Region (Türkei)

Roß, Christina-Luise<sup>1</sup>, Erekul, Osman<sup>2</sup> und Ellmer, Frank<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin; <sup>2</sup>Adnan Menderes University, Aydin (Türkei), <sup>3</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin Stadt. E-Mail: roschris@staff.hu-berlin.de

### Einleitung

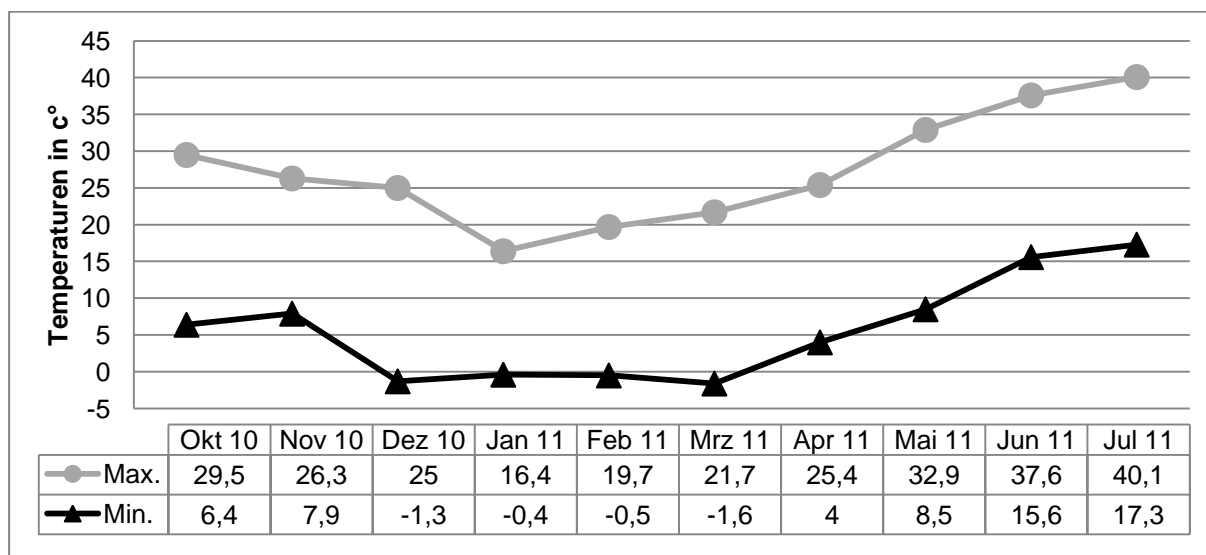
Im Rahmen des BMBF-geförderten Verbundvorhabens „Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg-Berlin INKA-BB“ wurden in der Vegetationsperiode 2010/11 in der Ege-Region der Türkei vier deutsche Winterweizensorten im Vergleich mit sechs türkischen Sorten getestet. Ziel war, die Anpassungsfähigkeit an das wärmere und trockenere Klima und die kürzere Vegetationszeit anhand von Ertrags- und Qualitätsparametern zu ermitteln.

### Material und Methoden

Während der Vegetationsperiode wurden wöchentlich die Stomata-Leitfähigkeit, der Chlorophyllgehalt, die Blatttemperatur sowie die Membranstabilität gemessen. Zur Ernte sind Ertrags- und Qualitätsparameter ermittelt worden.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Vegetationsperiode 2010/11 war am Standort Aydin durch einen vergleichsweise niederschlagsreichen Winter und durch Temperaturen von über 30°C bis in den November bzw. ab Ende April geprägt (Abb. 1 und Tab. 1)

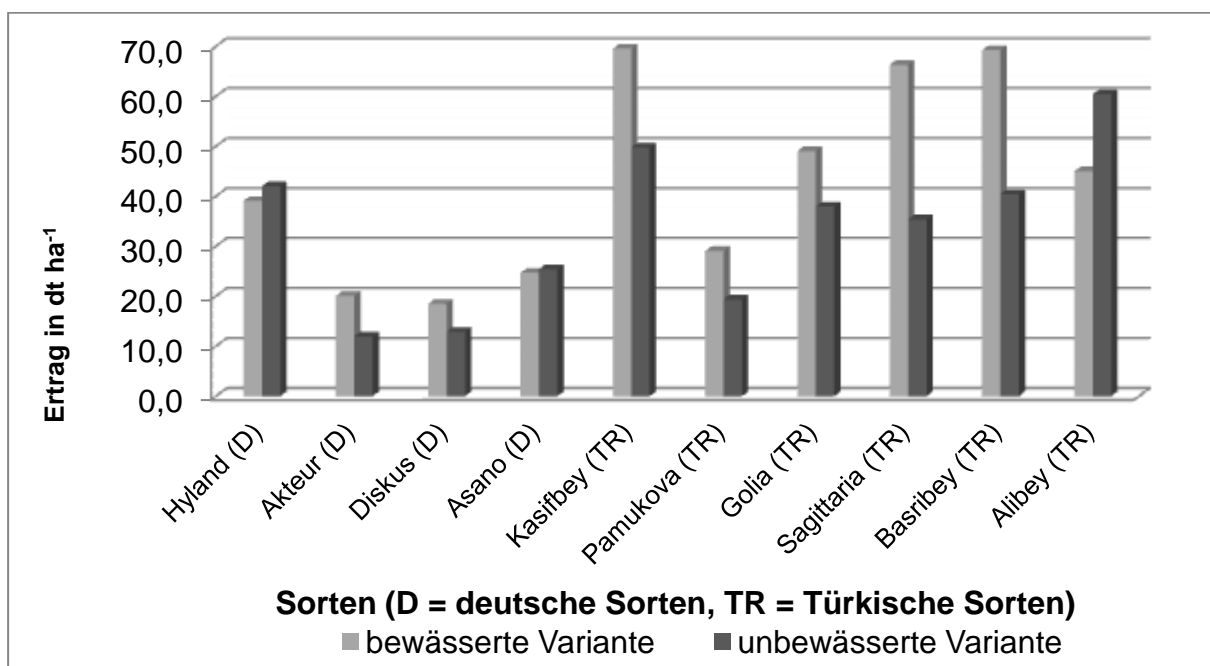


**Abb1.:** Minimale und maximale Temperaturen am Standort Aydin in den Monaten Oktober 2010 bis Juli 2011

**Tab.1:** Monatliche Niederschlagshöhe in mm am Standort Aydin zwischen Oktober 2010 und Juli 2011 und im langjährigen Mittel 1971-2010

	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul
<b>2010/11</b>	95,7	37,9	143,8	147,2	68,6	26,1	51,1	44,7	14,6	0,0
<b>1971-2010</b>	44,1	84,4	112,1	98,4	89,7	69,4	54,4	34,0	13,4	4,1

Die deutschen Sorten (Hyland, Akteur, Diskus und Asano) erbrachten unter diesen Bedingungen Erträge, die im Mittel in der bewässerten Variante 53 % und in der unbewässerten Variante 43 % unter denen der türkischen Vergleichssorten lagen (Abb.2).



**Abb.2:** Kornenertrag in dt ha<sup>-1</sup> im Vergleich mit und ohne Bewässerung. Sorten

Bei Proteingehalten von durchschnittlich 15,5 % (bewässert) bzw. 16,4 % (unbewässert) lag der Sedimentationswert bei den deutschen Sorten in der bewässerten Variante zwischen 34 (Hyland) und 41 (Akteur) und in der unbewässerten Variante zwischen 33 (Hyland) und 40 (Akteur). Die türkischen Sorten lagen demgegenüber bei einem Proteingehalt von 15,6 % (bewässert) bzw. 17,6 % (unbewässert) zwischen 29 (Alibey) und 37 (Golia) mit Bewässerung und zwischen 30 und 33 ohne Bewässerung. Bei annähernd gleichen Protein- und Glutengehalten war die Backqualität der deutschen Sorten besser als bei den türkischen.

## Literatur

Korkut, K.Z.; I. Baser und O. Bilgin, 2001: Genotypic and Phenotypic Variability, Heritability and Phenotypic Correlation for Yield and Yield Components in Bread Wheat Varieties. Acta Agronomica Hungarica, 49 (3), pp. 237 - 242

Sensoy, S.; M. Demircan und Y. Ulupinar 2012: Climate of Turkey. Information des Turkish State Meteorological Service.

## **Umwelt- und entwicklungsbedingte Modifikation der antioxidativen Wirkung von 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.) ist eine auch in Deutschland angebaute mehrjährige Arznei- und Gewürzpflanze aus der Familie der *Lamiaceae*. Ihren Namen trägt sie auf Grund ihres zitronenähnlichen Geruchs, welcher durch leicht flüchtige Verbindungen des ätherischen Öles (Citral, Citronellal) hervorgerufen wird. Neben dem ätherischen Öl finden sich in der Pflanze auch phenolische Verbindungen wie Flavonoide und Phenolsäuren. Von diesen Verbindungen ist insbesondere die Rosmarinsäure erwähnenswert, welche als eine stark antioxidativ wirksame Substanz charakterisiert wird (Chen & Ho, 1997). Das Europäische Arzneibuch schreibt für die getrocknete Droge (*Melissae folium*) einen Mindestgehalt von 4,0 % Hydroxycimtsäure-Derivaten, berechnet als Rosmarinsäure, vor (EAB, 2000). Arzneilich genutzt wird die Blattdroge (*Melissae folium*), beispielsweise in Form von Teeaufgüssen. Darüber hinaus wird die Zitronenmelisse zur Herstellung diverser pflanzlicher Arzneimittel verwendet.

Die Zitronenmelisse ist eine perennierende und ausdauernde Kulturpflanze, die mehrjährig genutzt werden kann. Ab dem zweiten Standjahr sind mit dieser Pflanze etwa zwei bis drei Schnitte pro Jahr möglich. Ertrag und Qualität der Blattdroge werden durch genetische und entwicklungsphysiologische Faktoren sowie durch die Umwelt- und Wachstumsbedingungen der Pflanze beeinflusst. Durch diese Faktoren kann es zu erheblichen Qualitätsschwankungen des geernteten Materials kommen, wodurch Vermarktung und Wirksamkeit eingeschränkt sein können. Daher ist ein besseres Verständnis der Faktoren, welche die Konzentration wertgebender Inhaltsstoffe modifizieren, von großem Interesse. Darüber hinaus soll geklärt werden, ob sich durch die Modifikation der Inhaltsstoffe auch die antioxidative Wirksamkeit der Blattdrogen und deren Extrakte verändert.

### **Material und Methoden**

Zur Klärung der vorgenannten Fragestellungen wurden im Jahr 2012 ein Gefäßversuch (Gefäßstation Rauschholzhausen) und zwei Feldversuche (Versuchsstationen Rauschholzhausen und Groß-Gerau) mit den Prüffaktoren Beschattung, Sorte und Schnitt-Termin etabliert (Tab. 1). Für den Gefäßversuch, der in Mitscherlich-Gefäßen (Volumen: 6 l, Erds substrat) durchgeführt wird, wurden pro Prüfglied zwölf Wiederholungen, für die Feldversuche vier Wiederholungen angelegt. Die beiden Feldversuche unterscheiden sich durch die unterschiedlichen Standortbedingungen (Löss- versus Sandboden, unterschiedliche Lufttemperatur) und die Anzahl der untersuchten Sorten (Groß-Gerau: 3 Sorten; Rauschholzhausen: 2 Sorten).



**Tab. 4:** Prüffaktoren und Prüfstufen in Gefäß- und Feldversuchen mit Zitronenmelisse (*Melissa officinalis* L.) in Raischolzhausen 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)

Das zu drei unterschiedlichen Entwicklungsterminen geerntete Pflanzenmaterial wird nach der Trocknung extrahiert. Die Bestimmung der antioxidativen Kapazität der gewonnenen Extrakte erfolgt fluoreszenzphotometrisch nach der ORAC-Methode. Zudem sollen Phenolsäuren und Flavonoide mittels HPLC-Analytik quantifiziert werden.

Gegenwärtig wird die HPLC-Methode zur Analyse der Blattproben auf die Gehalte an Phenolsäuren und Flavonoiden etabliert. Darüber hinaus wird die im Institut etablierte ORAC-Methode, die bislang bei *Origanum vulgare* genutzt wurde, für *Melissa officinalis* angewendet. Bislang kann festgestellt werden, dass sich die Pflanzenbestände der Zitronenmelisse sowohl im Gefäßversuch als auch in den Feldversuchen sehr gut etabliert haben. Krankheiten und Pflanzenausfälle traten bislang nicht auf. Die erste Ernte, an die sich die geplanten Analysen anschließen, wird für Ende Juli/Anfang August erwartet. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Tagungsbandes lagen noch keine Ergebnisse vor, so dass erst auf der Tagung über erste Resultate berichtet werden kann.

### Literatur

- Chen, J.H.; Ho, C.-T. (1997): Antioxidant Activities of Caffeic Acid and Its Related Hydroxycinnamic Acid Compounds. *J. Agric. Food Chem.* 45 (7), 2374–2378  
 EAB (2000): Europäisches Arzneibuch: Nachtrag 2000. Stuttgart: Deutscher Apotheker Verlag.

## Auswirkungen von Saatstärke, Saattermin und Sorte auf den Ertrag von Winterweizen

Bernhard C. Schäfer und Carolin Merker

Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest.  
E-Mail: schaefer.bernhard-carl@fh-swf.de

### Einleitung

In der Bestandesführung sind die Auswahl der Sorte, der Saatstärke und des Saattermins wichtige Steuerungsmöglichkeiten. Sich im Herbst langsam entwickelnde und wenig bestockende Sorten sind auf warmen oder nährstoffreichen Standorten für Fröhsaaten möglicherweise besser geeignet als frohwüchsige Typen. Letztere, zu denen auch Hybridsorten zählen sollen, wären bei Aussaaten unter schwierigen Bedingungen (Spätsaaten, schlechte Auflaufbedingungen u.ä.) vorzuziehen. Ziel des Versuches war es, herauszufinden, wie verschiedene Winterweizensortentypen auf differenzierte Aussaattermine und -mengen reagieren und diese ggf. kompensieren können.

### Material und Methoden

In einem dreijährigen (2009 bis 2011) Feldversuch auf dem Versuchsgut Merklingsen der Fachhochschule Südwestfalen Fachbereich Agrarwirtschaft Soest wurden fünf Weizensorten zu zwei Saatterminen (Mitte Oktober und Mitte November) mit jeweils zwei Saatstärken (150 kf. Körner/m<sup>2</sup> und 250 kf Körner/m<sup>2</sup>) geprüft. Die Auswahl der Sorten erfolgte unter Berücksichtigung deutlicher Unterschiede im Ertragsaufbau nach der Merkmalsbeschreibung für die Parameter Bestandesdichte, Kornzahl/Ähre und TKM der „Beschreibenden Sortenliste“ des Bundessortenamtes.

Tabelle 1: Sorteneigenschaften der geprüften Winterweizensorten nach Beschreibender Sortenliste 2008

Sorte	Bestandesdichte	Kornzahl/Ähre	TKM	Ertrag	Sortentyp
Winnetou	5	7	5	8	Vergleichssorte
Hybnos 1	5	7	5	7	Hybridsorte
Boomer	7	6	5	7	bestockungsstark
JB Asano	4	6	7	9	bestockungsschwach
Tabasco	5	8	5	9	Hohertragsorte

Die Versuche wurden mit betriebsüblicher Düngungs- und Pflanzenschutzintensität behandelt.

### Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 1 ist zu sehen, dass im Mittel der Sorten sowohl eine Verzögerung der Aussaat als auch eine Minderung der Saatstärke in den Jahren 2009 und 2010 Ertragsverluste zur Folge hatte. Im Jahr 2011 waren die Effekte dagegen gering. Abbildung 2 zeigt, dass die Sortenreaktion auf den Saattermin deutlich von der Jahreswitterung beeinflusst wird. 2010 kann die verzögerte Aussaat von keiner Sorte kompensiert werden. In den beiden anderen Jahren gelingt dies bei einem Teil der Sorten, allerdings sind es 2009 andere als 2011.

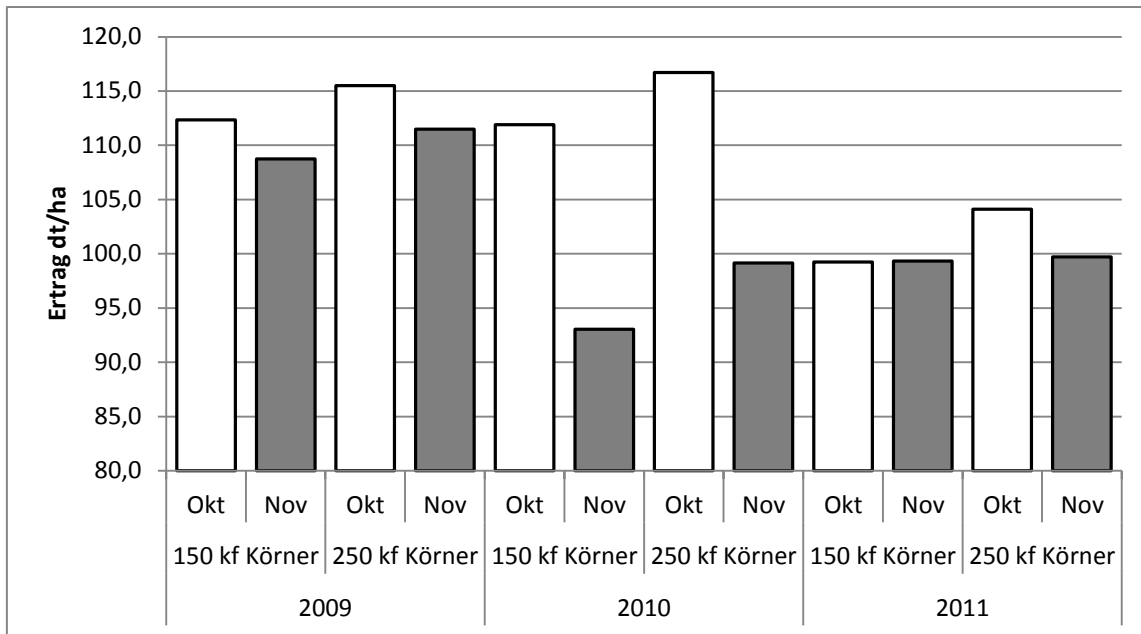


Abbildung 1: Einfluss von Jahr, Saatstärke und Saattermin auf den Ertrag (dt/ha) von Winterweizensorten (Mittelwert über fünf Sorten und vier Wiederholungen)  
(GD 5 % = 2,3 dt/ha)

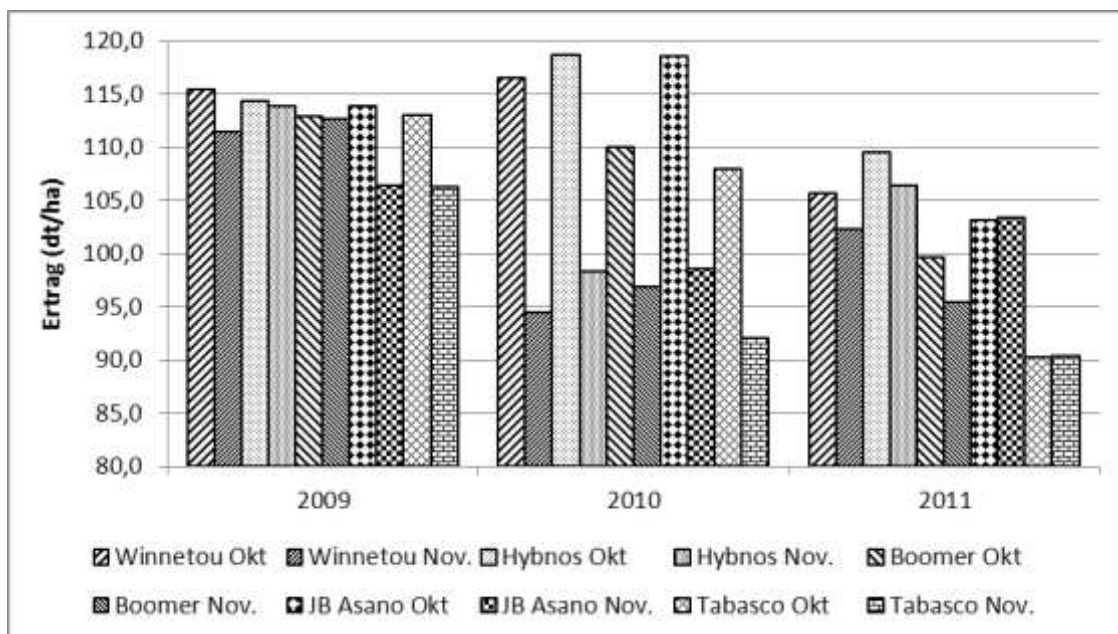


Abbildung 2: Einfluss von Jahr und Saattermin auf den Ertrag (dt/ha) von fünf verschiedenen Winterweizensorten (Mittelwert über zwei Saatstärken und vier Wiederholungen)  
(GD 5 % = 3,0 dt/ha)

Die durchgeführte Ertragsstrukturanalyse (s. Poster) macht deutlich, dass moderne Winterweizensorten in Wechselwirkung mit der Jahreswitterung ein hohes Kompensationsvermögen zeigen und eine feste Zuordnung zu einem Sortentyp nicht mehr sinnvoll erscheint. Die Hybridsorte reagierte dabei ähnlich wie die Liniensorten.

## Literatur

BSA Beschreibende Sortenliste 2008

## **Genotypische Unterschiede im Zuckerabbau bei der Lagerung von Zuckerrüben**

Katharina Schnepel<sup>1</sup> und Christa Hoffmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, 37079 Göttingen, E-Mail: Schnepel@ifz-goettingen.de

### **Einleitung**

Vor der Verarbeitung in der Fabrik werden Zuckerrüben bis zu 120 Tage gelagert. Bei der Lagerung kann der Saccharosegehalt durch enzymatische Spaltung und Atmungsverluste abnehmen, während sich unerwünschte Stoffe wie Invertzucker anreichern. Einige Ergebnisse deuten darauf hin, dass es genotypische Unterschiede in der Lagerungsfähigkeit von Zuckerrübensorten gibt, die sich vor allem bei hohen Lagerungstemperaturen zeigen (Kenter und Hoffmann, 2009). Bisher ist jedoch nicht klar, worauf diese Unterschiede beruhen. Mögliche Ursachen könnten in der Aktivität des Kohlenhydratstoffwechsels sowie dem Befall mit Mikroorganismen während der Lagerung liegen. Ziel der Untersuchung war es, die Ursachen für die Unterschiede in der Lagerungsfähigkeit verschiedener Zuckerrübensorten zu analysieren.

### **Material und Methoden**

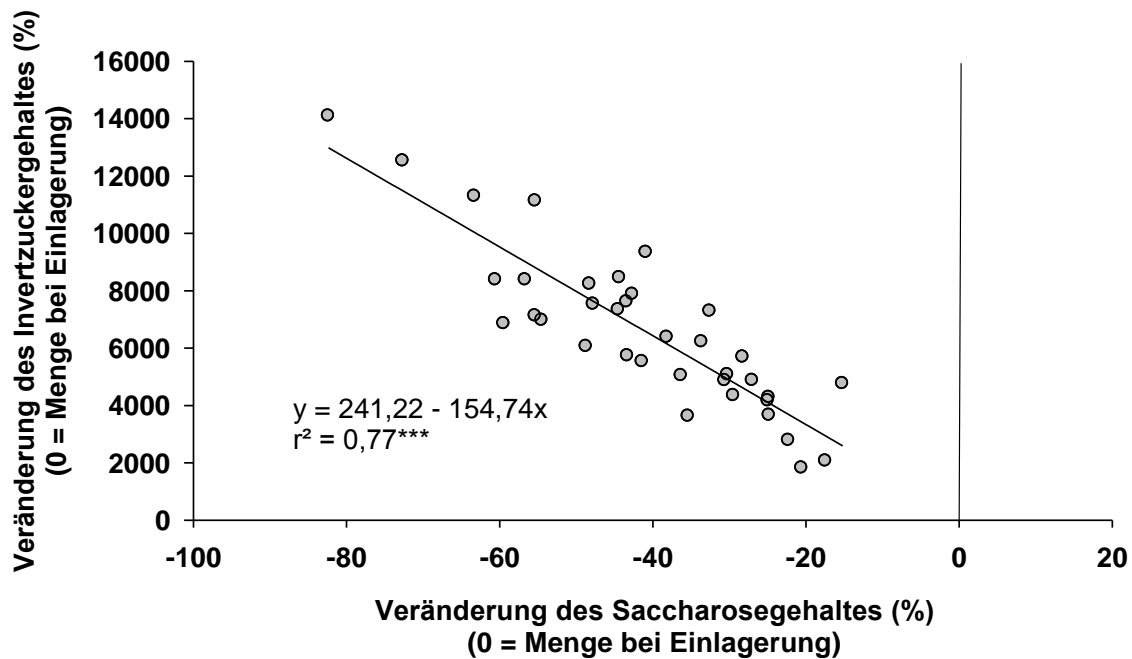
2011 wurde am Standort Seligenstadt ein Feldversuch mit 36 Zuckerrübensorten angelegt. Nach der Ernte wurden pro Sorte 20 Rüben in sechsfacher Wiederholung in luftdurchlässigen Säcken bei konstanten 20 °C und einer Luftfeuchtigkeit von 98 % für 12 Wochen in Klimacontainern gelagert. Vor der Einlagerung und bei der Auslagerung wurde das Gewicht bestimmt sowie der Saccharose- und Invertzuckergehalt mittels HPLC gemessen. Zusätzlich wurde eine Bonitur vom Schimmelbefall des Rübenkörpers (äußerlich) nach der Lagerung durchgeführt, wobei eine Boniturnote je Wiederholung vergeben wurde (kein = 0, wenig = 1, mittel = 2, viel = 3, sehr viel = 4 Schimmelbefall). Die Ergebnisse werden, wie bei Zuckerrüben üblich, bezogen auf die Rübenfrischmasse dargestellt.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Nach der Lagerung von 36 Zuckerrübensorten für 12 Wochen bei 20 °C zeigten sich signifikante genotypische Unterschiede in der Veränderung der Saccharosemenge und des Invertzuckergehaltes. Während der Lagerung wird Saccharose enzymatisch in Glucose und Fructose gespalten und daraufhin zum größten Teil zur Aufrechterhaltung des Energiestoffwechsels veratmet. Ein geringerer Teil wird in den Zellen als Invertzucker angereichert. Dieser Verlauf zeigte sich auch im vorliegenden Versuch, da bei den Sorten mit hohen Saccharoseverlusten auch eine hohe Anreicherung von Invertzucker festgestellt wurde (Abb. 1).

Klotz und Finger (2004) stellten fest, dass Lagerungsverluste zusätzlich durch die Aktivität von Saccharose abbauenden Enzymen der Pilze verursacht werden. So zeigte sich auch in diesem Versuch, dass Sorten mit hohem Schimmelbefall auch hohe Saccharoseverluste aufwiesen. Somit sind die genotypischen Unterschiede in den Lagerungsverlusten zusätzlich dadurch bedingt, dass vermutlich die Anfälligkeit der Sorten gegenüber dem Befall mit Pathogenen variiert. Ob die Lagerungsverluste stärker auf die Aktivität von Saccharose abbauenden Enzymen der Pilze oder auf

eine Erhöhung der Aktivität rübeneigener Enzyme zurückzuführen ist, muss noch geklärt werden.



**Abb. 1:** Beziehung zwischen der relativen Veränderung des Saccharosegehaltes und des Invertzuckergehaltes von 36 Zuckerrübensorten nach der Lagerung von 12 Wochen bei 20 °C.

Diese analysierten Faktoren, die die genotypischen Unterschiede in der Lagerungsfähigkeit von Zuckerrüben darstellen, können als Selektionskriterium für die Züchtung von Zuckerrübensorten mit hoher Lagerstabilität dienen.

Dieses Projekt wird gefördert aus Mitteln der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) über die Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V. (GFP). Projektnummer.: BR 47/11 AiF.

### Literatur

- Kenter, C. und C.M. Hoffmann 2009: Changes in the processing quality of sugar beet (*beta vulgaris* L.) during long-term storage under controlled conditions. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44: 910-917.
- Klotz, K.L. und F.L. Finger 2004: Impact of temperature, length of storage and postharvest disease on sucrose catabolism in sugarbeet. *Postharvest Biol. Technol.* 34: 1-9.

## Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz

Jürgen Schwarz<sup>1</sup> und Bernhard Pallutt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow; <sup>2</sup>Klausener Str. 3, Kleinmachnow. E-Mail: juergen.schwarz@jki.bund.de

### Einleitung

Ursprünglich waren Dauerversuche eine Domäne des Pflanzenbaus und der Pflanzenernährung. Im Laufe der Zeit änderten sich jedoch die Fragestellungen an die Dauerversuche, z.B. mit den Möglichkeiten des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (Chancen und Risiken). Ebenso spielen gegenwärtig Fragen der Nachhaltigkeit, der Energieeffizienz und der Ausstoß klimarelevanter Gase eine Rolle.

### Material und Methoden

Das Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, führt auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf (Region Fläming, ca. 60 km von Berlin entfernt) Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz durch. Das Versuchsfeld hat eine mittlere Bodenwertzahl von 48, der pH-Wert beträgt 5,8 und die organische Substanz 1,4 %. Der Boden ist ein schluffiger Sand mit 58 % Sand, 37 % Schluff und 5 % Ton. Die mittels eigener Wetterstation ermittelten Durchschnittswerte der Jahre 1997 bis 2011 betragen 598 mm Niederschlag und 9,4 °C. Die Region neigt generell zur Vorsommertrockenheit. Auf dem Versuchsfeld wurden vier Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz etabliert:

- (1) Strategievergleich – umweltschonender Pflanzenschutz, Anlagejahr 1995, Neuausrichtung 2007 (nach 12 Jahren bzw. zwei Rotationen) als Strategievergleich Pflanzenschutz „Gute fachliche Praxis“ und „Integrierter Pflanzenschutz“,
- (2) Strategien zur Minderung der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel, Anlagejahr 2002
- (3) Folgeabschätzungsversuch zu Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz, Anlagejahr 1997 und
- (4) Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau, Anlagejahr 1995.

### Ergebnisse und Diskussion

Um sichere Ergebnisse, z.B. bezüglich der Entwicklung der Verunkrautung zu erhalten ist eine ausreichend lange Versuchsdauer nötig. Beim Versuch (1) ergab die Ertragsauswertung nach 6 Jahren (Ende 1. Rotation) ein völlig anderes Bild als die nach 12 Jahren (Ende 2. Rotation). Als Grund kann hier vor allem der sich aufbauende Unkrautdruck genannt werden, in Dahnsdorf hauptsächlich *Centaurea cyanus* und *Matricaria* spp. (Pallutt et al., 2010).

Dieser Versuch wurde im Jahr 2007 neu ausgerichtet, mittels der Aufnahme von Energiepflanzen in die Fruchtfolge und Untersuchung des Einflusses der wendenden und nicht-wendenden Bodenbearbeitung. Erste Ergebnisse nach fünf Versuchsjahren zum zusätzlichen Pflanzenschutzmitteleinsatz bei der nicht-wendenden Bodenbearbeitung ergeben einen stark von der Jahreswitterung abhängigen Mehraufwand.

Die Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion von Pflanzenschutzmitteln werden im Versuch (2) mittels vier verschiedenen Strategien deutlich. Dabei ist die situationsbezogene Bemessung des notwendigen Maßes die Grundlage für die prozentuale Reduktion um 25 % und 50 %. Generell steigt das Ertragsverlustrisiko mit zunehmender Pflanzenschutzmittelreduktion, wodurch die Wirtschaftlichkeit sinkt. Bei völligem Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel traten Mindererträge von etwa 30 % in Getreide und etwa 25 % in Mais und Kartoffeln auf. Dieser Versuch wurde 2005 an zwei weiteren Standorten (Freising und Oldenburg) angelegt, um regionalisierte Angaben zum notwendigen Maß der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln treffen zu können.

Im Rahmen des Versuchs (3) werden die Wechselwirkungen von Düngung, Pflanzenschutz und Fruchtfolge deutlich. Dabei wird Winterroggen in einer Fruchtfolge mit Fruchtwechsel ( $\frac{1}{3}$  Leguminosen) mit dem Daueranbau von Winterroggen verglichen. Als Kernaussage bestätigt dieser Versuch, dass die Bedeutung der Fruchtfolge mit Extensivierung (Verzicht auf den Einsatz von N-Düngung und Pflanzenschutzmitteln) zunimmt (Schwarz und Pallutt, 2010).

Ein Schwerpunkt des Versuchs (4) ist die Regulierung von tierischen Schaderregern im Ökologischen Landbau. Im Kartoffelanbau ist der Kartoffelkäfer das Hauptschadinsekt, somit hat die Regulierung des Befalls mit biologischen Präparaten einen hohen Stellenwert (Kühne, 2010).

Die unterschiedlichen Dauerfeldversuche wurden ebenfalls übergreifend und zusammenfassend betrachtet. Ein wichtiger Aspekt ist die Ressourceneffizienz im Hinblick auf Pflanzenschutz. Deike et al. (2010) haben die Energieeffizienz von unterschiedlichem Pflanzenschutzmitteleinsatz in Verbindung mit Fruchtfolgen vergleichend betrachtet. Hierbei führte der zielgerichtete, situationsbezogene Pflanzenschutzmitteleinsatz zu einer verbesserten Energieeffizienz infolge der deutlichen Verminderung der schaderregerbedingten Ertragsverluste.

## Literatur

- Deike, S., B. Pallutt, J. Strassemeyer, O. Christen 2010: Umweltwirkung und langfristige Ertragsfähigkeit im Ackerbau in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Pflanzenschutzmittelanwendung, Journal für Kulturpflanzen, Band 62, Heft 7: 264 – 271
- Kühne S. 2010: Regulierung des Kartoffelkäfers (*Leptinotarsa decemlineata* Say) mit biologischen Pflanzenschutzmitteln (Azadirachtin, B.t.t., Pyrethrum, Spinosad) und deren Nebenwirkungen auf Blattlausprädatoren im ökologischen Kartoffelanbau. Journal für Kulturpflanzen, Band 62, Heft 9: 331 – 340
- Pallutt, B., M. Jahn, B. Freier, E. Moll 2010: Dauerfeldversuche auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf unter besonderer Berücksichtigung der Unkrautbekämpfung, Journal für Kulturpflanzen, Band 62, Heft 7: 238 - 247
- Schwarz, J., B. Pallutt 2010: Influence of crop rotation, fertilization and pesticide use on weed infestation, yields and resource efficiency, Proceedings 15th EWRS Symposium: 160

## **Impact of heat stress, drought and wetness on crop yield anomalies in Germany**

Stefan Siebert<sup>1</sup> and Frank Ewert<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Crop Science and Resource Conservation, University of Bonn.  
E-Mail: s.siebert@uni-bonn.de; frank.ewert@uni-bonn.de

### **Introduction**

In well managed environments, with sufficient nutrient supply and control of pests, diseases and weeds, crop yield anomalies are often caused by unsuitable weather conditions during the growing period.

### **Material and methods**

Here we analyze the impact of three stressors (heat, drought and wetness) on yield anomalies of four crops (winter wheat, winter rapeseed, sugar beet and silage maize) grown in Germany between 1950 and 2010. To derive regional stress patterns, the analysis was performed for Germany as a whole and for the 13 largest federal states. Heat stress was computed as sum of daily maximum temperatures >30°C while effects of drought and wetness were investigated by comparing monthly precipitation sums to long-term mean precipitation sums for the corresponding month. Time series of anomalies in meteorological variables were correlated to anomalies in crop yields to detect their impact on different crops, months and regions. Meteorological data were obtained from the German Meteorological Service ([http://werdis.dwd.de/werdis/start\\_js\\_JSP.do](http://werdis.dwd.de/werdis/start_js_JSP.do)) and crop yields from Statistical Yearbooks.

### **Results and discussion**

We found that positive precipitation anomalies (wetness) during the growing season caused negative yield anomalies of winter wheat and winter rape seed in north-western Germany and south-western Germany while positive precipitation anomalies (drought) caused negative yield anomalies of these crops in eastern and central Germany. Drought caused negative yield anomalies in all parts of Germany for silage maize and sugar beet. Heat stress occurs mainly in the River Rhine valley in the western part of Germany and in the southern part of eastern Germany, but impacts of heat stress on crop yield anomalies were only found for the heat stressed regions in western Germany. In these regions, yield anomalies of winter wheat and winter rapeseed showed sensitivity to heat stress in June while negative yield anomalies of silage maize and sugar beet were mainly sensitive to drought, even in years with heat stress. The impacts of drought were more severe when negative precipitation anomalies accumulated in consecutive months (April-July for winter rapeseed, May-August for winter wheat, June-August for silage maize and June-October for sugar beet). Summarized for all crops and regions, largest negative yield anomalies were caused by the extreme heat and drought in year 2003 but even in this year crops and regions were affected to a very different magnitude. This highlights the necessity of localized, crop specific analyses of weather impacts on crop yields, even in a small country like Germany.



## **Verbesserung von Pflanzenwachstumssimulationen durch Berücksichtigung von Bodenheterogenität**

Anja Stadler<sup>1</sup>, Moritz Kupisch<sup>1</sup>, Matthias Langensiepen<sup>1</sup> und Frank Ewert<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Allgemeiner Pflanzenbau, Katzenburgweg 5, 53115 Bonn. E-Mail: astadler@uni-bonn.de

### **Einleitung**

Die Heterogenität von Bodeneigenschaften landwirtschaftlicher Nutzflächen ist weit verbreitet, findet jedoch nur selten Berücksichtigung bei deren Modellierung. Dabei wird die räumliche Variabilität im Bestand maßgeblich durch die Bodenheterogenität bestimmt (Hutchings et al. 2003). Untersuchungen dazu wurden bisher auf verschiedenen räumlichen Skalenebenen durchgeführt, insbesondere auf regionaler Ebene (Hu & Mo 2011), jedoch widmten sich bisher nur wenige Studien der Feldebene (z.B. Batchelor et al. 2002).

Hinsichtlich Präzisionslandwirtschaft, aber auch kleinräumiger Modellierung von Ackerflächen, ist die Untersuchung des Zusammenspiels von Bodenheterogenität und Pflanzenwachstum auf Feldebene jedoch von großer Bedeutung. Batchelor et al. (2002) haben bereits gezeigt, dass bei der Modellierung von Mais die Berücksichtigung der räumlichen Variabilität der Bodeneigenschaften zu deutlich verbesserten Simulationsergebnissen führt. Daher gehen wir davon aus, dass die Anpassung der Bodeneigenschaften auch bei der Modellierung von Winterweizen und Zuckerrüben zu deutlichen Verbesserungen der Resultate führt.

### **Material und Methoden**

Drei konventionell bewirtschaftete Winterweizen- und Zuckerrübenfelder in der Nähe von Jülich, im Westen Nordrhein-Westfalens, dienen seit mehreren Jahren als Testfelder. Jedes dieser Testfelder weist eine starke Bodenheterogenität sowie eine deutlich sichtbare räumliche und zeitliche Variabilität im Pflanzenwachstum auf. Nachgewiesen wurde diese Wachstumsvariabilität sowohl durch Gaswechsellmessungen auf Blatt- und Bestandesebene, als auch durch Erhebung des Blattflächenindex und des organspezifischen Trockengewichts an sieben bis acht Messpunkten pro Testfeld. Alle Messungen wurden in regelmäßigen Abständen während der gesamten Wachstumsperiode vorgenommen.

Mithilfe der Messdaten eines Jahres wurde das Pflanzenwachstumsmodell GECROS für die jeweils angebaute Sorte kalibriert, indem die entsprechenden Modellparameter angepasst wurden, d.h. für jedes Feld liegt eine Parametrisierung vor. Das an GECROS gekoppelte Bodenmodell wurde ebenfalls für die verschiedenen Testfelder parametrisiert. Aufgrund der heterogenen Bodeneigenschaften ist jedoch ein einziger Parametersatz pro Feld nicht ausreichend. Daher wurde das Bodenmodell für die einzelnen Messpunkte jedes Testfelds parametrisiert. Anschließend wurde das Pflanzenwachstumsmodell evaluiert, um sicherzustellen, dass die Messwerte hinreichend reproduziert werden können, wenn das Bodenmodell den heterogenen Bodenmustern angepasst wird.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die vorhandenen Bodeneigenschaften eines Feldes nehmen maßgeblich Einfluss auf das Pflanzenwachstum, daher spiegelt sich die heterogene Verteilung dieser

Eigenschaften deutlich im Bestand des betreffenden Feldes wider. In den Winterweizenbeständen ist dies besonders deutlich zu erkennen, denn sowohl das Jahresmaximum des grünen Blattflächenindex als auch die organspezifischen Trockengewichte weisen hohe Korrelationen mit der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (ECa) des Bodens auf. Die ECa lässt Rückschlüsse auf die Wasserhaltefähigkeit des Bodens zu und damit auch auf die Bodeneigenschaften (Corwin & Plant 2005). Diese erklären wiederum die Variabilität im Pflanzenwachstum, da sie der Grund für eine heterogene Wasser- und Stickstoffverteilung innerhalb des Felds sind.

Diese Erkenntnisse über die Auswirkungen variabler Bodeneigenschaften auf den Pflanzenbestand sollen mit dem Pflanzenwachstumsmodell GECROS reproduziert werden. Bisher wurden Simulationen des Pflanzenwachstums auf Feldebene meist nur unter Annahme von homogenen Bodeneigenschaften durchgeführt (z.B. Lenz-Wiedemann et al. 2010). Die Evaluierung des Modells mit den Messdaten zeigt allerdings, dass die hohe räumliche Variabilität im Bestand auf diese Weise nicht wiedergegeben werden kann. Grund dafür ist, dass die Verwendung einheitlicher Bodeneigenschaften im Modell auch eine räumlich gleichmäßige Verteilung von Wasser und Stickstoff im Boden impliziert, die auf heterogenen Flächen jedoch nicht gegeben ist. Findet die Bodenheterogenität im Modell hingegen Berücksichtigung, kann eine wesentliche Verbesserung der Ergebnisse erzielt werden.

### **Danksagung**

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs Transregio 32 „Patterns in Soil-Vegetation-Atmosphere-Systems. Monitoring, Modelling and Data Assimilation“ (SFB TR32) durchgeführt.

### **Literatur**

Batchelor, W.D.; Basso, B. und Paz, J.O. 2002: Examples of strategies to analyze spatial and temporal yield variability using crop models. *European Journal of Agronomy* 18: 141-158.

Corwin, D.L. und Plant, R.E. 2005: Applications of apparent soil electrical conductivity in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 46 (1-3): 1-10.

Hu, S. und Mo, X. 2011: Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing. *Ecological Modelling* 222 (14): 2530-2541.

Hutchings, M.J.; John, E.A. und Wijesinghe, D.K. 2003: Toward understanding the consequences of soil heterogeneity for plant populations and communities. *Ecology* 84 (9): 2322-2334.

Lenz-Wiedemann, V.I.S.; Klar, C.W. und Schneider, K. 2010: Development and test of a crop growth model for application within a Global Change decision support system. *Ecological Modelling* 221: 314-329.

Wassenaar, T.; Lagacherie, P.; Legros, J.P. und Rounsevell, M.D.A 1999: Modelling wheat yield responses to soil and climate variability at the regional scale. *Climate Research* 11: 209-220.

## Simulation der Vorwinterentwicklung von Winterrüben

Helge Stephan<sup>1</sup>, Christa Hoffmann<sup>2</sup> und Henning Kage<sup>1</sup>

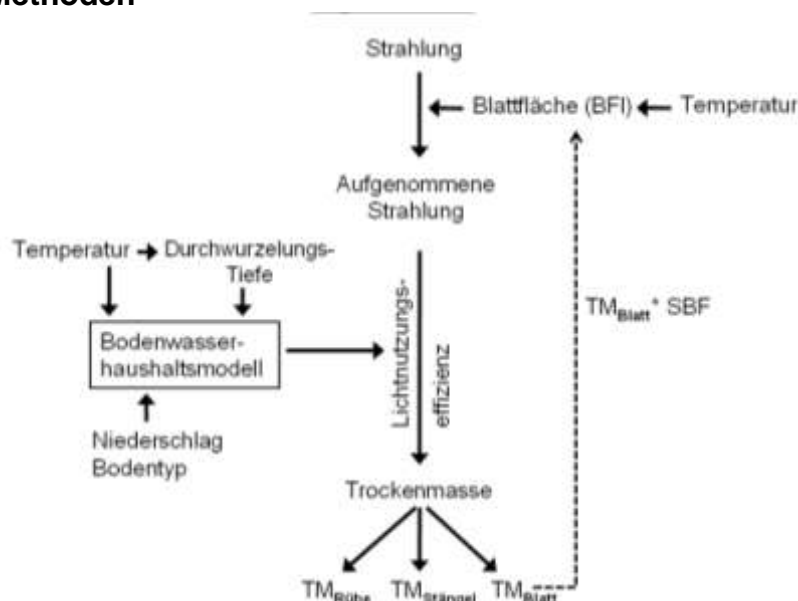
<sup>1</sup>Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung/Christian Albrechts Universität, Kiel; <sup>2</sup>Institut für Zuckerrübenforschung/IFZ, Göttingen. E-Mail: Stephan@pflanzenbau.uni-kiel.de

### Einleitung

Sogenannte Winterrüben sind Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.), welche im Feld überwintern und im Frühjahr neu austreiben. Die bereits im Rübenkörper gespeicherten Assimilate erlauben somit eine schnellere Blattflächenentwicklung und damit einhergehend eine höhere Strahlungsaufnahme, aus welcher ein potentiell höherer Ertrag im Vergleich zu zeitgleich im Frühjahr gedrückten Zuckerrüben resultiert (Hoffmann & Kluge-Severin 2010). Da keine schoss-resistenten Genotypen existieren, werden die Winterrüben im Winter vernalisiert. Sie beginnen dann im darauffolgenden Frühjahr zu schossen. Die potentiellen Ertragsvorteile einer nicht-schossenden Winterrübe können daher nur durch Modellsimulationen geschätzt werden.

Ein in Entwicklung befindliches dynamisches Pflanzenwachstumsmodell soll die Ertragspotentiale von Winterrüben in Wechselwirkung mit den Standortfaktoren abbilden können. Als erster Schritt ist die Kalibrierung und Validierung des Modells für die Vorwinterentwicklung von Winterrüben analog zu normalen Zuckerrüben zu sehen.

### Material und Methoden



**Abb. 11:** Schematischer Aufbau des Wachstumsmodells für Winterrüben

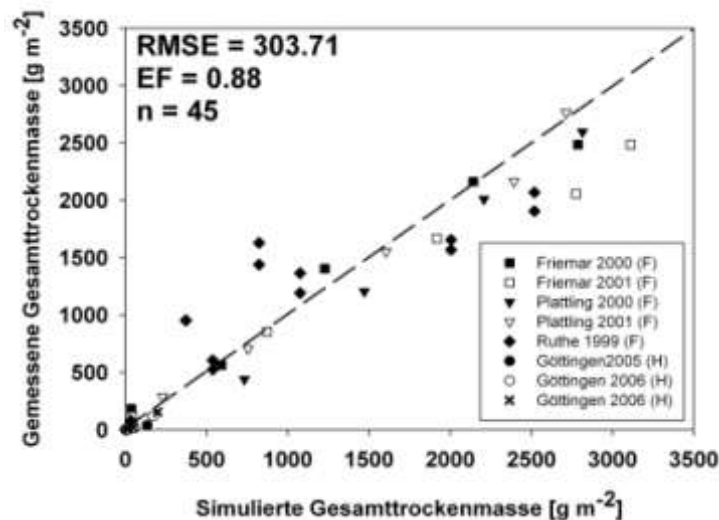
Der schematische Aufbau des Wachstumsmodells ist in Abb. 1 dargestellt. Basierend auf einem Lichtnutzungsansatz wird die Trockenmasseproduktion berechnet. Die Trockenmasseallokation erfolgt über empirische Verteilungsfunktionen in die jeweiligen Pflanzenorgane. Aus der Blatto Trockenmasse wird dann über die spezifische Blattfläche der aktuelle Blattflächenindex (BFI) errechnet. Um wachstumslimitierende Faktoren wie z.B. Trockenstress berücksichtigen zu können, ist das Pflanzenwachstumsmodell mit einem Bodenwassermodell gekoppelt.

Als Kalibrationsdaten dienen dreijährige Feldversuche (2009-2011), die auf dem Versuchsgut Hohenschulen (Schleswig-Holstein, östliches Hügelland) mit je drei Aussaatterminen (April, Juni, August) durchgeführt wurden. Mittels dieser Daten wurde eine Parametrisierung des Modells durchgeführt.

Als Validationsdaten dienen Daten mehrerer Standorte und Jahre mit unterschiedlichen Saatzeiten jeweils im Frühjahr oder Herbst (s. Abb.2).

Zur Bewertung der Modellgüte wird der root mean square error (RMSE) und die Effizienz des Modells (EF) genutzt.

## Ergebnisse und Diskussion



**Abb. 2:** 1:1-Plot der Validationsergebnisse für die Gesamttrockenmasse. F = Frühlingsaussaat, H = Herbstaussaat

Die Validationsergebnisse über mehrerer Standorte und Jahre hinweg zeigen, dass sowohl die Gesamttrockenmasse mit einem RMSE von  $303.7 \text{ g m}^{-2}$  und einer EF von 0.88, als auch die Rübetrockenmasse mit einem RMSE von  $222.9 \text{ g m}^{-2}$  und einer EF von 0.87 für die Vorwinterentwicklung zufriedenstellend simuliert werden kann. Für den BFI ergibt sich ein RMSE von 1.17. Die EF, welche beschreibt wie gut die Messwerte im Zeitverlauf getroffen werden, ist für den BFI mit 0.51 niedrig. Allerdings wirken sich Abweichungen bei der BFI-Simulation auf die Trockenmasseproduktion besonders in frühen Entwicklungsstadien aus, in späteren sind die Auswirkungen aufgrund des dann höheren BFI weniger gravierend. Deshalb hat dies in den Validationsdaten kaum Auswirkungen auf die Güte der Trockenmassesimulation.

Das Modell kann die einzelnen Saatzeiten in der Vorwinterentwicklung ausreichend genau abbilden und ist zur Simulation von Wachstumsverläufen konventioneller Zuckerrüben geeignet. Als weitere Schritte soll die Überwinterung und der Wiederaustrieb von Winterrüben im Frühjahr modelliert werden.

## Literatur

Hoffmann, C. und Kluge-Severin, S. 2010. Light absorption and radiation use efficiency of autumn and spring sown sugar beets. *Field Crops Research* 119: 238-244

## **Sensortechnologien im Ökologischen Landbau am Beispiel von Brokkoli (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *italica*)**

Christine Veh<sup>1</sup>, Simone Graeff-Hönninger<sup>2</sup>, Wilhelm Claupein<sup>3</sup> und Samantha Grimes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institut für Kulturpflanzenwissenschaften/Universität Hohenheim, Stuttgart. E-Mail: Christine.Veh@uni-hohenheim.de

### **Einleitung**

Zur Verbesserung der Stickstoff (N)-Ausnutzung unterschiedlicher Gemüsekulturen wurde in der gartenbaulichen Forschung in den letzten Jahren eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen untersucht. Umweltfreundliche und wirtschaftliche Düngestrategien für Stickstoff (N) müssen langfristige „Überhangeffekte“ in den Frucht- und Kulturfolgen im Zusammenhang mit den Nährstoffaneignungsvermögen der einzelnen Kultur, dem N-Bedarf für den Aufwuchs, der erwarteten Ertragshöhe und der witterungsunabhängigen Stoffdynamik im Boden berücksichtigen. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie sich Düngemittel bzw. die Höhe der N-Düngung in Abhängigkeit von Standort und Witterung auf die innere Qualität der Pflanzen (z.B. sekundäre Inhaltsstoffe) auswirken. Neben der Ermittlung des N-Düngebedarfs von Brokkoli mit Hilfe des tragbaren, optischen Multiparametersensors Multiplex® über die gesamte Kulturdauer wurde die N-Aufnahme und der Ertrag verschiedener Brokkolisorten sowie die Stickstoffversorgung von Brokkoli bei verschiedenen N-Düngerstufen untersucht. Übergeordnetes Gesamtziel des Projektes ist die Untersuchung und Entwicklung einer Methode zur bedarfsgerechten N-Versorgung bei Brokkoli aus organischen N-Quellen.

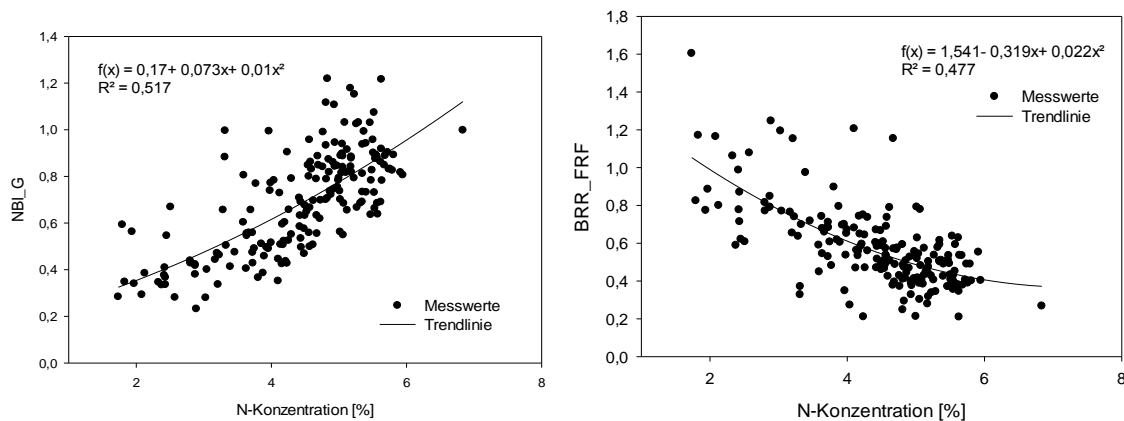
### **Material und Methoden**

Der Multiplex® ist ein tragbarer, optischer Multiparametersensor der Firma Force-A (Orsay, Frankreich). Er dient der schnellen, einfachen und nicht destruktiven Messung von diversen Komponenten in der Haut von Beeren, Obst und Gemüse sowie in den Blättern (Force-A, 2010) basierend auf der Fluoreszenztechnologie mit multipler Anregung in einem Wellenlängenbereich von 375 bis 735 nm (Tremblay, 2011). Die Sensormessung wurde im Frühjahr und Herbst 2011 auf der Teilstation für Nutztierbiologie und Ökologischen Landbau in Kleinhohenheim (384,3 m bis 395,5 m ü. NN, mittlere jährliche Niederschlagsmenge 697 mm, mittlere Jahrestemperatur 8,8°C) in einem als vollständig randomisierte Spaltanlage angelegten Feldversuch mit den vier Brokkolisorten ‚Marathon‘, ‚Ironman‘, ‚Limba‘ und ‚Miranda‘ und den drei Stickstoffdüngungsstufen 0 kg N ha<sup>-1</sup>, 150 kg N ha<sup>-1</sup> und 300 kg N ha<sup>-1</sup> Horngrieß mit jeweils vier Wiederholungen durchgeführt. Die statistische Auswertung der Ergebnisse wurde mit dem Statistikprogramm SAS 6.12 Prozedur Proc Mixed durchgeführt.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die Ergebnisse zeigten, dass der N-Bedarf der einzelnen Brokkoli Sorten über die mit den Multiplex ermittelten Indizes gut abgebildet werden konnten. Alle Sensormesswerte wurden mit den N-Analysewerten der Trockenmasse korreliert. Die Beziehungen der beiden Werte konnten am besten mit einer quadratischen Funktion beschrieben werden. Der Vorteil des Multiplex besteht darin, dass man gleichzeitige und schnelle Messungen verschiedener Komponenten machen kann.

Besonders hervorzuheben war auch die Möglichkeit, durch die nicht destruktive Methode, die Messungen über die gesamte Vegetationsperiode an denselben Pflanzen durchführen zu können. Durch die einfache Bedienung, den geringen Zeitaufwand der Messung und die Unabhängigkeit von gegebenen Lichtverhältnissen, ist der Multiplex als praxistauglich einzuschätzen. In diesem Versuch zeigte sich ebenfalls sehr deutlich, dass sich die Verhältnisindizes des Multiplexsensors, welche durch UV Licht angeregt wurden, besser zur Erfassung der N-Konzentrationen und somit zur Erkennung des N-Status bei Brokkolipflanzen eigneten als alle anderen Indizes. Die folgende Abbildung zeigt alle erhobenen Messwerte aller vier Messtermine der vier Sorten und der drei Düngestufen. Der Wert BRR\_FRF stieg über die gesamte Kulturdauer an, während die N-Konzentration in der Restpflanze abnahm. Die NBI\_G und NBI\_R Werte hingegen sanken mit abnehmender N-Konzentration. Die positiven Korrelationen (Abb. 1) weisen darauf hin, dass der NBI\_G ein geeigneter Parameter ist, um den N-Versorgungszustand von Brokkolipflanzen durch Messungen an Blättern und Blume wiederzugeben. Ausgewählt wurden die Messwerte mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ).



**Abb. 1:** N-Konzentration [%] in der Restpflanze und NBI\_G Index (links), BRR\_FRF: Blau bis rotes Fluoreszenzverhältnis (rechts)

## Literatur

Force-A. 2010: Multiplex Research, Optical measurements of polyphenols and chlorophyll. Abgerufen am 3. September 2011 von <http://www.ictinternational.com.au/force-a/brochures/multiplex.pdf>

Tremblay, N.; Z. Wang und Z.G. Cerovic 2011: Sensing crop nitrogen status with fluorescence indicators. A review. *Agronomy for Sustainable Development*.

## Concepts for low-carbon economy in traditional cropping systems in China

Ernst Albrecht Weber<sup>1</sup>, Tao Ren<sup>2</sup>, Zhengjuan Yan<sup>3</sup>, Marc Spuhler<sup>1</sup>, Sabine Gruber<sup>1</sup>, Jianwei Lu<sup>2</sup>, Qing Chen<sup>3</sup> and Wilhelm Claupein<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Crop Science, University of Hohenheim, E-Mail: Ernst.Albrecht.Weber@uni-hohenheim.de, <sup>2</sup>College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University Wuhan, China, <sup>3</sup>College of Resources and Environmental Sciences, Chinese Agricultural University, Beijing, China.

### Introduction

The need for high productivity in Chinese agriculture is the reason for high inputs which more and more result in environmental problems such as groundwater pollution and greenhouse gas emissions. A Sino-German cooperation should analyze the major problems in two highly productive regions of China (North China Plain (NCP) and Yangtze River Basin (YRB), and develop advanced cropping systems adjusted to low-carbon economy. The study presents and compares data of the status quo on acreage, cropping systems, yields and fertilizer use of these two important agronomic regions in China. The results will be prospectively used to identify the starting points to improve cropping systems for low-carbon economy.

### Material and Methods

Depicted data were collected from current national and international scientific literature, and from statistical data bases of the People's Republic of China. The comprehensive list of references will be provided on demand by the authors.

### Results and Discussion

The NCP occupies an agricultural area of about  $3.5 \times 10^5$  km<sup>2</sup> and accounts for 18.6% of the total agricultural area in China (Zhang, 2004). Winter wheat followed by summer maize is the most prevalent cropping system. More than 50 % of the nation's wheat and 33 % of its maize is produced in this region (Kendy et al., 2003). Usual sowing dates and average grain yields are given in Tab. 1. The highly productive double-cropping system relies on high inputs of irrigation water (90-690 mm year<sup>-1</sup>, Wang et al., 2008) and mineral fertilizer (500-700 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, Zhen et al., 2006; Ju et al., 2009) that far exceeds the optimum of recommended fertilizer amounts (Liu et al., 2003; Zhao et al., 2006; He et al., 2009; Wang et al., 2010).

The YRB occupies an agricultural area of about  $5.8 \times 10^5$  km<sup>2</sup> and accounts for 36.1% of the total agricultural area in China (China Statistical Yearbook, 2011). Winter oilseed rape (OSR) followed by paddy rice (one or two sets) in the summer is, besides a winter wheat - paddy rice rotation the most dominant cropping systems. Both OSR and paddy rice are transplanted in the field, so that the period of fallow between harvest and transplanting is very short (about one week). Therefore, the return of straw and its decomposition is difficult to be accomplished. The average input of mineral nitrogen fertilizer for OSR and paddy rice is about 210 kg N ha<sup>-1</sup> (Xu et al., 2010), 170 kg N ha<sup>-1</sup> (single rice) and 350 kg N ha<sup>-1</sup> (double rice), respectively (Shen and Zhang, 2006). Recommended nitrogen fertilizer amounts for OSR and rice are 180 kg N ha<sup>-1</sup> (Zou, 2010), 120 kg N ha<sup>-1</sup> (early rice), 135 kg N ha<sup>-1</sup> (late rice), and 150 kg N ha<sup>-1</sup> (middle rice) (Shen and Zhang, 2006).

**Table 1.** Overview of climate, main cropping systems, sowing and harvest dates, mineral (min.) nitrogen input, yields, irrigation water input of the two agricultural regions North China Plain and the Yangtze River Basin (data from different sources). WW-winter wheat, SM - summer maize, OSR - winter oilseed rape, eR - early season rice, IR - late season rice, mR - mid season rice.

	North China Plain		Yangtze River Basin			
Temp [°C]	10 – 14		15 – 18			
Precipitation [mm year <sup>-1</sup> ]	500 – 650		1060 – 1270			
Cropping system	double cropping: WW – SM		double cropping: OSR – mR triple cropping: OSR – eR – IR			
Components	WW	SM	OSR	eR	IR	mR
Sowing/planting date	Oct	Jun	Spt- Oct/Nov	Apr/May	Jun/Jul	Apr/May
Harvest	Jun	Oct	Apr-May	Jul	Nov	Spt-Oct
Grain yield (t ha <sup>-1</sup> ) (Ø)	5.2	5.4	1.8	5.8	8.9	6.0
Mineral nitrogen per crop [kg ha <sup>-1</sup> ]	207	216	212	177	170	215
Mineral nitrogen use [kg ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> ]	500-700		double cropping: 390.5 triple cropping: 569.5			
Irrigation water [mm year <sup>-1</sup> ]	90-690		flooding for paddy rice			

The N input per crop is high with regard to the yield, particularly as mineral soil N is often not considered. As a comparison, the pure grain yield of 5.2 t winter wheat (14 % crude protein; NCP) would require only 130 kg N ha<sup>-1</sup> (+ about 20 kg by the straw) according to German regulations. An OSR yield of 1.8 t ha<sup>-1</sup> would withdraw only 80 kg N ha<sup>-1</sup> by the grains and additionally 50 kg by the straw. Nutrient management and the supply of soil organic matter (compensation for the withdrawal of straw) seems one of the main tasks to be optimized. Mineral nitrogen input could be reduced of about 20 to 30 % without affecting yields adversely, but reducing GHG emissions significantly (Kahrl et al. 2010). For the NCP the introduction of intercropping and/or the integration of leguminous species in the rotation could further enhance soil fertility, nutrient use efficiency, reduce inputs and thus lead to advanced carbon-friendly cropping systems.

Soil fertility in the YRB could be optimized by incorporating straw or green manure in the soil. Furthermore planting upland rice or at least shifting to discontinuous flooding would reduce greenhouse gas emissions and could provide further ecological benefits. These first approaches have to be followed up by experimental studies in an upcoming project.

## References

The full list of references can be requested by the authors.



## **Untersuchung ertragsbeeinflussender Witterungsbedingungen während kritischer Entwicklungsstadien von Winterraps**

Wiebke Weymann<sup>1</sup>, Ulf Böttcher<sup>1</sup>, Klaus Sieling<sup>1</sup> und Henning Kage<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel – Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Kiel. E-Mail: weymann@pflanzenbau.uni-kiel.de

### **Einleitung**

Winterraps hat im Vergleich zu anderen Kulturarten, z.B. Winterweizen, eine geringere Ertragsstabilität. Diese Schwankungen im Kornertrag sind vermutlich auch auf Witterungseinflüsse während kritischer Entwicklungsphasen zurück zu führen. Ungünstige Witterungsbedingungen können dabei in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium sowohl senken-, als auch quellenlimitierend wirken.

In der vorliegenden Studie wurden Effekte von Witterungsparametern während verschiedener Entwicklungsstadien auf den Kornertrag von Winterraps getestet.

### **Material und Methoden**

Zur Analyse lagen Daten aus fünf Winterraps-Feldversuchen mit N-Steigerung (0–280 kg N ha<sup>-1</sup>) aus den Jahren 1989 bis 2011 auf dem Versuchsgut Hohenschulen der CAU Kiel vor. Als zweiter Datensatz konnten Daten aus einem von der Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen (UFOP) geförderten Projekt mit N-Steigerungsversuchen an bundesweit bis zu 14 Standorten in den Jahren 2005 bis 2009 verwendet werden.

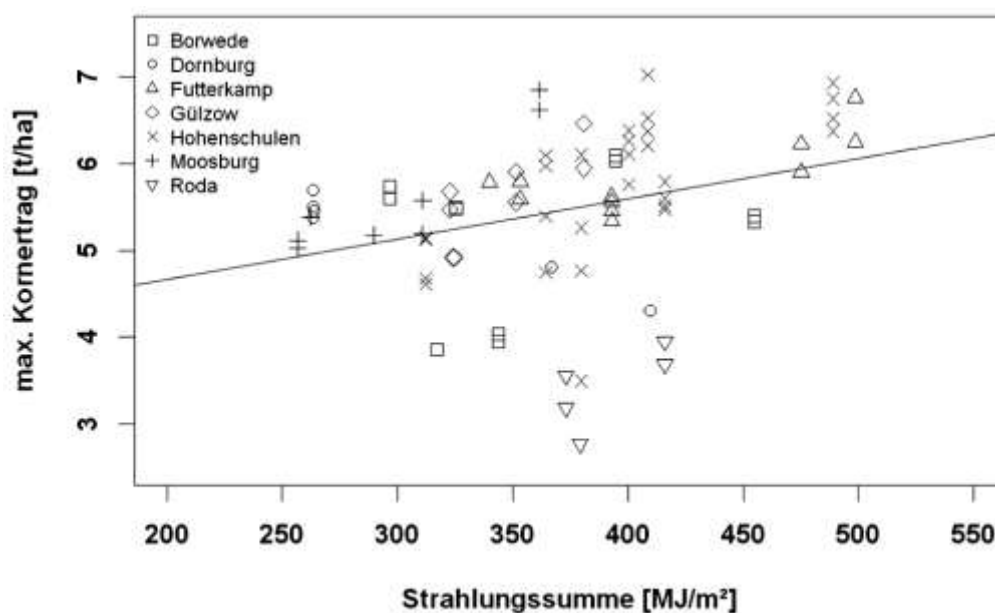
Der maximale Kornertrag und die zugehörige N-Düngungsmenge wurden mit quadratischen Funktionen aus den Daten der N-Steigerungsversuche geschätzt. Mit einem Phänologiemodell (Müller *et al.* 2009, Böttcher *et al.* 2011) wurde die phänologische Entwicklung von Winterraps in EC-Stadien gemäß der Skala von Schuette *et al.* (1982) simuliert, um kritische Entwicklungsphasen zu definieren. Meteorologische Daten als Eingangsgrößen für die Modellierung wurden entweder von Wetterstationen direkt auf den Versuchsstandorten oder von der nächstgelegenen DWD-Wetterstation registriert.

Die Signifikanz ( $\alpha=0.95$ ) der Effekte der Witterung auf den maximalen Kornertrag wurde mit Kovarianzanalysen mit der Statistik-Software R getestet.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die Auswertung der Entwicklungsstadien zeigte eine hohe Korrelation ( $R^2 = 0,95$ ) zwischen den in den Versuchen beobachteten EC-Stadien und den mit dem Phänologiemodell simulierten Werten.

Die beiden untersuchten Datensätze zeigten einen signifikanten Effekt der Strahlungssumme während der Blütenbildung (EC 51-60) auf den maximalen Kornertrag. Eine höhere Strahlungssumme in diesem Entwicklungsstadium korreliert mit einem höheren Kornertrag (Abb.1). Hohe Strahlungssummen, die durch hohe Einstrahlung oder eine lange Dauer der Entwicklungsphase (niedrige Temperaturen) zustande kommen, fördern über die Anzahl der gebildeten Blüten auch die Samenanlage. Dadurch kann die Strahlungsaufnahme während der Blütenbildung die Anzahl der Samen pro m<sup>2</sup> und damit die Senkenkapazität von Winterraps beeinflussen.



**Abb.1** Korrelation zwischen dem maximalen Kornertrag von Winterraps und der Strahlungssumme während der Blütenbildung (Datensatz des UFOP-Projektes)

Weitere signifikante Effekte der Witterung auf den maximalen Kornertrag konnten jeweils nur für einen der beiden Datensätze statistisch nachgewiesen werden. Die Versuche auf Hohenschulen zeigten einen Effekt der Nachttemperatur während der Blüte (EC 61-70) und der Niederschlagssumme während der Schotenentwicklung (EC 71-80). Im Gegensatz dazu zeigte der Datensatz des UFOP-Projektes signifikante Effekte der aufgenommenen Strahlung während der Blüte und der Schotenentwicklung, sowie der Niederschlagssumme zur Blüte und der mittleren Tagestemperatur während der Blüte und der Schotenentwicklung.

Korrelationen zwischen Strahlungsaufnahme und Temperaturen während der Schotenentwicklung und dem Kornertrag weisen auf eine Quellenlimitierung der Ertragsbildung hin, da beide die Menge der produzierten Assimilate beeinflussen.

Die vorliegende Studie zeigt erste Ergebnisse der Abhängigkeit der Ertragsbildung von der Witterung. Wechselwirkungen zwischen den Effekten unterschiedlicher Entwicklungsphasen sowie mit Parametern der Bodenbeschaffenheit und den produktionstechnischen Maßnahmen sind Ansätze weiterer Untersuchungen.

## Literatur

Böttcher, U.; E. Rampin; K. Hartmann; G. Mosca; F. Flenet; M. Morison und H. Kage 2011: A phenological model of winter oilseed rape according to the BBCH scale (submitted to Field Crops Research).

Müller, K.; U. Böttcher und H. Kage 2009: Revision and parameterisation of a phenological model for winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). In: Müller, K., Remote sensing and simulation modelling as tools for improving nitrogen efficiency for winter oilseed rape (*Brassica napus* L.), Dissertation (CAU Kiel), 32-58.

Schuette, F.; J. Steinberger und U. Meier 1982: Entwicklungsstadien des Raps: Einschl. Rübsen, Senfarten und Örettich: zum Gebrauch für das Versuchswesen, die Beratung und die Praxis in der Landwirtschaft. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Merkblatt Nr. 27(7).

## **Ertrag und antioxidatives Potenzial samenfester Brokkoli-Genotypen im Vergleich zu konventionellen Brokkoli-Hybridsorten unter ökologischen Anbaubedingungen**

Stefanie Wolf, Simone Graeff-Hönninger, Sabine Zikeli, Judit Pfenning, Nikolaus Merkt, Valera Gutsal und Wilhelm Claupein

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

### **Einleitung**

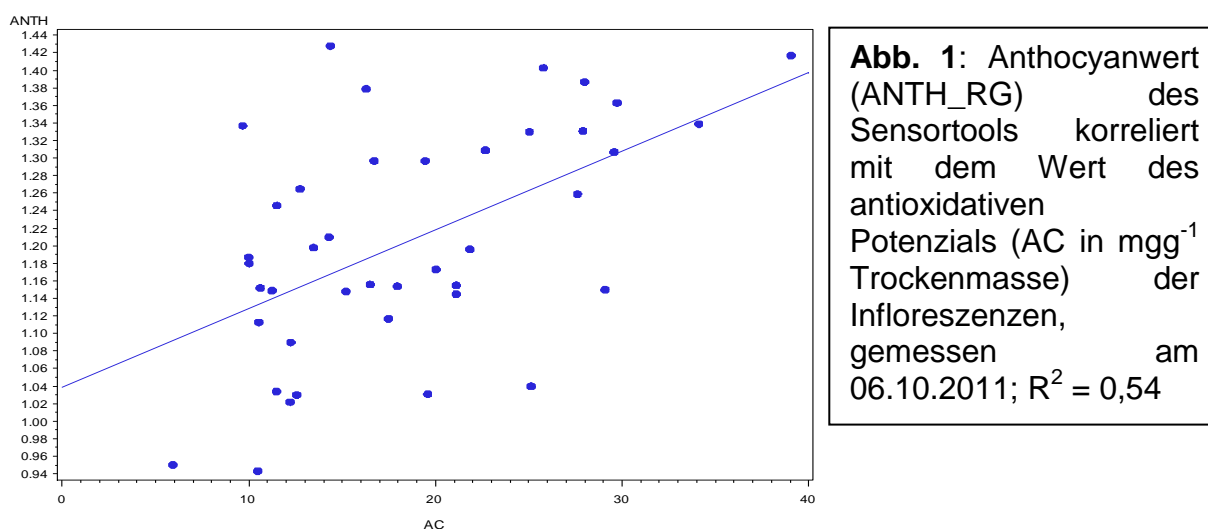
Brokkoli (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *italica* P.) hat auf Grund seiner gesundheitsförderlichen Inhaltsstoffe sowohl als Frisch- und Frostware als auch als Produkt im „Functional Food“ - Bereich an Bedeutung gewonnen. Im Fokus sowohl medizinischer als auch ernährungswissenschaftlicher Forschung stehen chemische Verbindungen, wie Flavonoide, Anthocyane, im Besonderen auch Senfölglykoside (Glucosinolate), die im menschlichen Organismus krebshemmende, antioxidative sowie blutdrucksenkende Wirkungen haben können (Verkerk & Dekker, 2008). Neben Faktoren wie Klima, Erntezeitpunkt sowie Dauer und Form der Lagerung haben sortenspezifische Eigenschaften Einfluss auf den Gehalt an sekundären Inhaltsstoffen in Brokkoli (Schreiner, 2005). Um diesen Effekt näher zu bestimmen, wurde ein Versuch mit vierzehn Brokkoli-Genotypen, darunter Neuzüchtungen aus Populationsbeständen, durchgeführt. Die Infloreszenzen der Brokkolipflanzen wurden zum einen nicht-destruktiv mit einem Sensortool gemessen und zum anderen mit einer destruktiven Methode auf ihr antioxidatives Potenzial untersucht. Agronomische Parameter, wie beispielsweise der Ertrag der Brokkoliinfloreszenzen, wurden ebenfalls erhoben, um die Praxistauglichkeit der samenfesten Neuzüchtungen zu überprüfen.

### **Material und Methoden**

In Kleinhohenheim, der Versuchsstation für Ökologischen Landbau der Universität Hohenheim, wurde zwischen Juli und Oktober 2011 ein Feldversuch mit 14 Brokkoli-Genotypen durchgeführt. Der Versuch wurde als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen angelegt. Sieben der 14 Genotypen stammen aus der Züchtungsarbeit von Kultursaat e.V. und wurden aus offen abblühenden Vermehrungsbeständen (Populationssorten) selektiert. Zwei samenfeste Brokkolisorten („Limba“ und „Miranda“) wurden von der tschechischen Saatgutfirma Moravoseeds bezogen. Fünf im Anbau etablierte Hybridsorten („Batavia“, „Belstar“, „Ironman“, „Marathon“, „Monterey“) wurden als Vergleichssorten verwendet. Vor Versuchsbeginn wurde die Anbaufläche mit einem organischen Düngemittel auf 300 kg Nha-1 aufgedüngt. Zur Erfassung des Ertragspotentials des jeweiligen Genotyps wurden die Gewichte der marktfähigen Infloreszenzen erfasst. Die Bestimmung des antioxidativen Potenzials wurde auf Basis von Chemolumineszenz durchgeführt und sowohl das wasserlösliche als auch das lipidlösliche antioxidative Potenzial ermittelt. Sensormessungen zur Quantifizierung chemischer Verbindungen, im Besonderen Flavonoide und Anthocyane, wurden mit dem Sensortool Multiplex® (Force-A, Orsay, France) durchgeführt, dessen Messmethodik auf der Detektion von Fluoreszenz und Reflektion zuvor angeregter Molekülbindungen beruht (Tremblay, 2012).

## Ergebnisse und Diskussion

Ein wichtiger Aspekt zur Selektion der Brokkolipopulationsbestände ist der Ertrag, gemessen am Gewicht der marktfähigen Infloreszenzen. Die samenfesten Neuzüchtungen hatten im Mittel einen Ertrag von  $11,1 \text{ t ha}^{-1}$ . Zwei Genotypen hatten Erträge von über  $12 \text{ t ha}^{-1}$ . Im Vergleich dazu lag der mittlere Ertrag der samenfesten tschechischen Sorten bei  $13,6 \text{ t ha}^{-1}$ . Der mittlere Ertrag der Hybridsorten lag bei  $13,3 \text{ t ha}^{-1}$ . Die höchsten Erträge wurden, mit über  $14 \text{ t ha}^{-1}$ , von den Sorten „Ironman“, „Batavia“ und „Limba“ erreicht. Der vom statistischen Bundesamt erfasste Brokkoliertrag lag bei  $12,9 \text{ t ha}^{-1}$ . Evident wird, dass unter ökologischen Anbaubedingungen ähnlich hohe Erträge wie im konventionellen Anbau erreicht werden können und dass samenfeste Sorten ein Ertragspotenzial, das an das von Hybridsorten heranreicht, haben können. Durch gezielte Selektion besteht die Möglichkeit das Ertragspotenzial der samenfesten, neu gezüchteten Brokkoli-Genotypen weiter auszubauen. Das antioxidative Potenzial der Brokkoli-infloreszenzen unterschied sich signifikant hinsichtlich des Zeitpunkts der Probenahme. Signifikante Unterschiede zwischen den Sorten waren nicht vorhanden. Die Werte der Multiplex Ausgabe für Anthocyane (ANTH\_RG) und Flavonoide (FLAV) differierten zwischen den Sorten signifikant. Die Sorte „Miranda“, die eine lila gefärbte Infloreszenz ausbildet, hatte beispielsweise den höchsten ANTH\_RG-Wert und den niedrigsten FLAV-Wert. Um Anwendbarkeit und Aussagekraft der Sensormessungen zu ermitteln, wurde der Wert des antioxidativen Potenzials (AC) in  $\text{mg g}^{-1}$  Trockenmasse mit dem dimensionslosen Wert für Anthocyane (ANTH\_RG) des Sensortools korreliert (Abb. 1.).



Ein tendenzieller Zusammenhang zwischen den Sensormesswerten und des antioxidativen Potenzials scheint, zumindest für die ANTH\_RG Ausgabe, zu bestehen.

## Literatur

- Schreiner, M. (2005): Vegetable crop management strategies to increase the quantity of phytochemicals. *European Journal of Nutrition*. 44: 85-94
- Tremblay, N.; Z. Wang und Z.G. Cerovic 2012: Sensing crop nitrogen status with fluorescence indicators. A review. *INRA, Springer. Journal of Agronomy and Sustainable Development*. 32: 451-464
- Verkerk, R. und M. Dekker 2008: *Bioactive compounds in Foods*; Wiley Blackwell: S.31-51
- www.destatis.de

# **Untersuchungen zur Bekämpfung von Falschem Mehltau bei Gartenkresse (*Lepidium sativum* L.) unter den Bedingungen des ökologischen Anbaus – Vorstellung des Projektes und erste Ergebnisse**

Stefanie Zeller und Bernd Honermeier

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig Universität Gießen, Schubertsstr. 81, 35392 Gießen. E-Mail: Stefanie.Zeller@agar.uni-giessen.de

## **Einleitung**

Die zur Familie der *Brassicaceae* gehörende Gartenkresse (*Lepidium sativum* L.) wird zur Produktion von Keimspussen genutzt, die zum Würzen und Garnieren von Salaten, Kräuterquarks und Frischkäse verwendet werden. Die Anzucht der Keimspussen erfolgt in der Regel auf zellulosehaltigem Substrat (Vogel 1996). Der Verbraucher schätzt die Gartenkresse vor allem wegen ihres charakteristischen Geschmacks, der auf Spaltprodukte der Glukosinolate (Glucotropaeolin), die bei Zerstörung des Blattmaterials gebildet werden, zurückzuführen ist (Mikus-Plescher et al. 2011).

Seit einigen Jahren gibt es jedoch aufgrund des Befalls der Gartenkresse mit den Erregern des Falschen Mehltaus (*Hyaloperonospora parasitica* und *Perofascia lepidii*), sowie mit dem Erreger des Weißen Rosts (*Albugo lepidii*) erhebliche Probleme in der Saatgutproduktion, wodurch die Bio-Produktion der Kressesprossen für die Lebensmittelindustrie gefährdet ist. Aus diesem Grund wurde der Anbau der Gartenkresse durch die Landwirte teilweise eingestellt. Da die Produktion der Gartenkresse vorwiegend unter den Bedingungen des ökologischen Anbaus erfolgt, ist eine konventionelle Bekämpfung der Schaderreger nicht möglich. Daher soll in den laufenden Untersuchungen geklärt werden, ob mit physikalischen (nicht chemischen) Saatgutbehandlungsmaßnahmen sowie durch Veränderung der Wachstumsbedingungen der Gartenkresse die Infektion der genannten Schaderreger vermindert werden kann.

## **Material und Methoden**

Neben den Feldversuchen in Bio-Betrieben werden zu dieser Fragestellung verschiedene Untersuchungen zur Keimfähigkeit, zum Entwicklungsverlauf und zur Krankheitsresistenz der Gartenkresse in der Gefäßversuchsstation (Phytotron) Rauischholzhausen durchgeführt. Berichtet wird über einen laufenden Gefäßversuch (Mitscherlich-Gefäße mit Erds substrat, Volumen: 6 L), in dem verschiedene Methoden der Saatgutbehandlung geprüft werden. Der mit zwei Prüffaktoren angelegte Gefäßversuch enthält 30 Prüfglieder (6 x 5), die mit 6 Wiederholungen (gesamt 180 Gefäße) geprüft werden. Der Prüffaktor A „Saatgutbehandlung“ enthält folgende Prüfstufen: 1 – ohne Behandlung, Herkunft G 250 Einfache Kresse, 2 – ohne Behandlung, Herkunft „Marold MP 2“, 3 – Saatgutbehandlung mit Wasserdampf, 65° C, 90 min, 4 – Saatgutbehandlung mit Wasserdampf, 68° C, 60 min, 5 – Elektronische Beizung 1, 6 – Elektronische Beizung 2. Der Prüffaktor B „Wachstumsbedingungen“ umfasst die Prüfstufen: 1 – Gefäße stehen ständig im Freiland, 2 – Pflanzenoberfläche ständig trocken, 3 – Pflanzenoberfläche bis Schossbeginn periodisch feucht halten, 4 – Pflanzenoberfläche ab Schossbeginn periodisch feucht halten, 5 – Kontaminierter Boden. Bei der Prüffaktorstufe B 5

„Kontaminierter Boden“ handelt es sich um einen vermutlich mit Erregern (Dauersporen) des Falschen Mehltaus belasteten Boden. Dieser Boden stammt von einem Demeter-Betrieb, der im Jahr 2011 Gartenkresse auf diesem Boden angebaut hat, die stark mit Falschem Mehltau infiziert war. Die Gefäße wurden mit einer Standard-Nährlösung (P, K, Mg, Ca) und mit 1,5 g N pro Gefäß behandelt. Die Wasserversorgung der Gefäße erfolgt manuell nach vorgegebener Wasserkapazität des Bodens. Zur Beurteilung des Pflanzenwachstums und des Infektionsgeschehens werden laufend Messungen der Witterungsdaten, der Pflanzenlänge und der Infektion durch den Falschen Mehltau durchgeführt.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die bisherigen Ergebnisse des Gefäßversuches zeigen, dass alle Pflanzen, die auf dem kontaminierten Boden kultiviert worden sind, eindeutige und starke Symptome des Falschen Mehltaus aufweisen. Die Infektion begann am 30. Mai zu Blühbeginn der Pflanzen und erreichte eine Ausprägung von bis zu 100 % Befall (Boniturnote 9). Die Kresse-Pflanzen dieser Gefäße sind charakterisiert durch verdrehte Sprossachsen, niedrigere Wuchshöhe und durch sichtbares Myzel auf Blättern und Sprossachsen. Die Saatgutbehandlung bewirkte bei einem hoch belasteten Boden keine Verminderung des Befalls mit Falschem Mehltau. Die Pflanzen in den Gefäßen der Prüffaktorstufen B 1 bis B 4 (nicht mit Falschem Mehltau infizierter Boden) zeigen dagegen keine bzw. geringe Symptome der Infektion durch Falschen Mehltau. Eine abschließende Bewertung der Behandlungsmaßnahmen ist jedoch erst nach Abschluss des laufenden Gefäßversuchs möglich. Es wurde weiterhin beobachtet, dass von den infizierten Pflanzen eine starke Sporulation ausgeht und eine Ausbreitung des Erregers auf Nachbargesäße bzw. -pflanzen erfolgt.

Mit den durchgeführten Untersuchungen konnte bislang gezeigt werden, dass ein erheblicher Teil der Infektion der Gartenkresse mit dem Pathogen des Falschen Mehltaus von den im Boden lokalisierten Dauersporen ausgeht. Diese Bodenkontamination kann beim Anbau der Gartenkresse im Folgejahr bis zum Totalausfall führen. Aufgrund bislang vorliegender Ergebnisse wird geschlossen, dass der Bodenhygiene (Fruchtfolge, Vorfrucht, Beseitigung von Ernterückständen, Förderung der biologischen Aktivität) als Maßnahme zur Reduzierung des Pilzbefalls eine große Bedeutung beigemessen werden muss.

### **Literatur**

- Mikus-Plescher B., Goos K.-H., Plescher A., Thust S. 2011: Chemische Diversität Glucosinolat-haltiger Pflanzenarten. 6. Fachtagung Arznei- und Gewürzpflanzen, 19.-22.09.2011, Berlin  
 Vogel G. 1996: Handbuch des speziellen Gemüsebaues. Ulmer, Stuttgart, 428-433.

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.

## **Mähdruschaat von Zwischenfrüchten – Auswirkungen auf die Ertragsbildung der nachfolgenden Hauptfrucht?**

Carolin Zimmermann<sup>1</sup>, Sabine Hubert<sup>1</sup>, Stefan Pflaum<sup>1</sup>, Björn Stauß<sup>1</sup>, Oona Jacobs<sup>1</sup>  
Katharina Weiß<sup>2</sup> und Carola Pekrun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Angewandte Agrarforschung, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen; <sup>2</sup>Landratsamt Tübingen. E-Mail: carolin.zimmermann@hfwu.de

### **Einleitung**

Zwischenfrüchte fördern auf unterschiedliche Weise die Bodenfruchtbarkeit und können die Gefahr der Nitratauswaschung über Winter vermindern. Aufgrund der Arbeitsspitzen während der Getreideernte werden Zwischenfrüchte jedoch meist erst sehr spät ausgesät. Die Folge ist, dass Zwischenfruchtbestände oft nur schwach entwickelt sind und die positiven Effekte der Zwischenfrucht nicht voll ausgeschöpft werden können. Eine Möglichkeit, Zwischenfrüchte sehr frühzeitig zu etablieren und die Vegetationszeit voll zu nutzen, bietet die Mähdruschaat. In Versuchen an der HfWU wird die Mähdruschaat seit 2008 betriebsüblichen Verfahren der Zwischenfruchtbestellung gegenübergestellt. Nachdem Versuche mit Senf gezeigt hatten, dass die Etablierung von Senf mittels Mähdruschaat sehr gut möglich ist, und sehr üppige Zwischenfruchtbestände entstehen, sollte 2010 und 2011 geprüft werden, ob sich die Mähdruschaat auch für andere Zwischenfruchtarten eignet und untersucht werden, ob die Art der Zwischenfruchtbestellung Auswirkungen auf die Ertragsbildung der nachfolgenden Hauptfrucht hat.

### **Material und Methoden**

Zur Untersuchung der Etablierung verschiedener Zwischenfruchtarten mittels Mähdruschaat wurde auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb der HfWU Hofgut Tachenhäuser (20 km südlich von Stuttgart: 360 m ü NN, 10 °C Jahresdurchschnittstemperatur, 840 mm Jahresniederschlag, Parabraunerde aus Löß) 2010 und 2011 die Etablierung eines Zwischenfruchtgemenges geprüft, das sowohl kleinsamige als auch großsamige Arten und ausgesprochene Dunkelkeimer enthält (Bio-Aktiv-Grün, DSV: 35 % Alexandrinerklee, 30 % Perserklee, 15 % Phacelia, 10 % Seradella, 10 % Esparsette). Die Mähdruschaat wurde betriebsüblichen Verfahren gegenübergestellt. Im Jahr 2010 wurden folgende Varianten getestet: „Mähdruschaat mit Stroh“, „Mähdruschaat ohne Stroh“, „Grubber + Schneckenkornstreuer“ (Ausstreuen im Zuge der Stoppelbearbeitung) und „ohne Zwischenfrucht“ (zweimalige Stoppelbearbeitung). 2011 wurde die „Mähdruschaat mit Stroh“ der Variante „Grubber + Schneckenkornstreuer“ und einer „Direktsaat“-Variante gegenübergestellt. Als Kontrolle wurde zusätzlich Senf in Mähdruschaat ausgesät. Die Versuche wurden als einfaktorielle Streifenanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße betrug 9 x 250 m. Neben der Bestandesentwicklung der Zwischenfrucht wurde im ersten Versuchsjahr auch die Ertragsbildung der nachfolgenden Hauptfrucht Hafer untersucht.

Ferner wurden 2010 Versuche auf landwirtschaftlichen Praxisflächen im Raum Rottenburg-Tübingen mit der Zwischenfrucht Senf durchgeführt. Fünf Praxisschläge wurden jeweils in zwei Teilschläge unterteilt. Auf einem Teilschlag erfolgte die Bestellung des Senfs mittels Mähdruschaat, auf dem anderen Teilschlag betriebsüblich durch Ausstreuen im Zuge der Stoppelbearbeitung. Neben der Bestandesent-

wicklung der Zwischenfrucht wurde die Bestandesentwicklung und Ertragsbildung der nachfolgenden Hauptfrucht (Sommergerste) untersucht.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Aufgrund extremer Witterungsbedingungen im Jahr 2010 erfolgten Getreideernte und Mähdruschaat verzögert. Es folgte ein sehr kühler Spätsommer und Herbst. Dadurch war die Etablierung des Zwischenfruchtgemenges Bio-Aktiv-Grün in dem Exaktversuch auf dem Hofgut Tachenhausen in diesem Versuchsjahr generell etwas beeinträchtigt. Hinsichtlich der Bestandesentwicklung verhielten sich die Mähdruschaat-Varianten jedoch ähnlich wie die betriebsübliche Bestellung mit Grubber und Schneckenkornstreuer. Unterschiede zwischen den Varianten zeigten sich bei Phacelia. Erwartungsgemäß lief Phacelia als Dunkelkeimer in der Mähdruschaatvariante ohne Stroh schlechter auf als bei Bedeckung mit Strohhäcksel oder bei betriebsüblicher Bestellung. Seradella und Esparsette liefen in allen Varianten kaum auf. 2011 entwickelte sich das Zwischenfruchtgemenge sehr gut. Die mittels Mähdruschaat etablierten Bestände erzielten einen höheren Biomasseertrag ( $3,06 \text{ t ha}^{-1}$ ) als die in Direktsaat ( $2,27 \text{ t ha}^{-1}$ ) oder im Zuge der Stoppelbearbeitung etablierten Bestände ( $1,46 \text{ t ha}^{-1}$ ). Dabei unterschied sich die Variante „Mähdruschaat“ signifikant von der Variante „Grubber + Schneckenkornstreuer“.

Auch die Senfbestände auf den landwirtschaftlichen Praxisflächen waren aufgrund der witterungsbedingt sehr späten Getreideernte und dem kühlen Herbst im Jahr 2010 generell schwach entwickelt. Dennoch ließen sich Unterschiede zwischen Mähdruschaat und betriebsüblicher späterer Bestellung beobachten. Auf vier der fünf Versuchsflächen war der oberirdische Biomasseertrag der Zwischenfrucht nach Mähdruschaat höher als nach betriebsüblicher Bestellung. Ende Oktober hatten die betriebsüblich bestellten Zwischenfruchtbestände zwar ähnliche Kulturdeckungsgrade erreicht wie nach Mähdruschaat, hinsichtlich des Entwicklungsstadiums konnten sie den zeitlichen Vorsprung der Mähdruschaat-Bestände jedoch nicht mehr aufholen.

Im Exaktversuch auf dem Hofgut Tachenhausen stand nach der 2010 angelegten Zwischenfrucht im Jahr 2011 Hafer als nachfolgende Hauptfrucht. Der Ertrag des Hafers war in der Variante „Mähdruschaat mit Stroh“ ( $82,6 \text{ dt ha}^{-1}$ ) am niedrigsten und unterschied sich signifikant von der Kontrollvariante „ohne Zwischenfrucht“ ( $88,8 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Die Varianten „Grubber + Schneckenkornstreuer“ ( $87,7 \text{ dt ha}^{-1}$ ) und „Mähdruschaat ohne Stroh“ ( $86,0 \text{ dt ha}^{-1}$ ) lagen dazwischen. Auf den landwirtschaftlichen Praxisflächen folgte Sommergerste der Zwischenfrucht. Auf allen fünf Versuchsflächen war der Kornertrag der Sommergerste auf der Teilfläche auf der die vorausgehende Zwischenfrucht betriebsüblich bestellt worden war, jeweils höher als auf der Teilfläche, auf der die vorhergehende Zwischenfrucht mittels Mähdruschaat bestellt worden war.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Mähdruschaat hinsichtlich der Etablierung und der Bestandesentwicklung der Zwischenfrucht betriebsüblichen Verfahren nicht nachsteht bzw. überlegen ist. Bezüglich möglicher Folgewirkungen deuten die Ergebnisse jedoch darauf hin, dass sich die Mähdruschaat der Zwischenfrucht negativ auf die Ertragsbildung der nachfolgenden Hauptfrucht auswirken könnte. Eine starke Festlegung von Nährstoffen, ein hoher Wasserverbrauch durch die sehr üppigen Zwischenfruchtbestände oder die „fehlende“ Bodenbearbeitung könnten eine Rolle spielen. Weitere Versuche sind erforderlich. Durch die Wahl geeigneter Zwischenfruchtarten bzw. -sorten könnte die Mähdruschaat ggf. optimiert werden.



## **Ableitung von Fruchtfolgen aus InVeKoS-Daten für die Analyse und Modellierung von Landnutzungssystemen in Niedersachsen**

Eike Stefan Dobers<sup>1</sup> und Horst-Henning Steinmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ag-GeoData – Landwirtschaftliche Standorterkundung und Geodaten-Management, Göttingen;

<sup>2</sup> Georg-August-Universität Göttingen, Zentrum für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung.

E-Mail: stefan.dobers@ag-geodata.de

### **Einleitung**

Die Gestaltung von überjährigen Anbau- bzw. mehrjährigen Fruchtfolgen hat eine wichtige phytosanitäre Bedeutung im Ackerbau. Auch die Umweltwirkung von Landnutzungssystemen im Landschaftskontext wird durch die Abfolge und die Anbauintensität einzelner Fruchtarten beeinflusst. Da eine vollständige und differenzierte Modellierung von Fruchtfolgen im überregionalen Maßstab schwierig ist, gewinnen flächenhafte Datensätze der Agrarverwaltung an Bedeutung. Der Beitrag stellt die Ableitung von Fruchtfolgen aus niedersächsischen InVeKoS-Daten für den Zeitraum 2005-2010 vor.

### **Material und Methoden**

Für unsere Untersuchung wurden die InVeKoS-Daten des Landes Niedersachsen der Jahre 2005 bis 2010, ein GIS-Layer der Feldblöcke, die digitale Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 50 000 (BÜK50) sowie eine Karte des ackerbaulichen Ertragspotentials ( $AE_{pot}$ ) verwendet. Mehrjährige Eindeutigkeit der InVeKoS-Daten auf Schlagenebene wurde über eine Kombination aus Feldblock-ID und Schlagnummer erzielt. Aus den angebauten Fruchtarten je Schlag und Jahr erfolgte die Rekonstruktion der sechsjährigen Anbaufolgen. Diese wurden permutiert und anschließend manuell typisiert, um auf mögliche Fruchtfolgen schließen zu können.

Die auf Feldblock-Ebene regionalisierten Anbaufolgen wurden im Geographischen Informationssystem mit Daten der BÜK50 und  $AE_{pot}$  über Verschneidungsoperationen kombiniert. Die Beurteilung von Präferenz bzw. Meidung einzelner Fruchtfolgen in Bezug auf Kategorien der BÜK50 oder  $AE_{pot}$  erfolgte mit dem von -1 (Meidung) bis +1 (Präferenz) skalierten Elektivitätsindex (Lang & Blaschke 2007: 208).

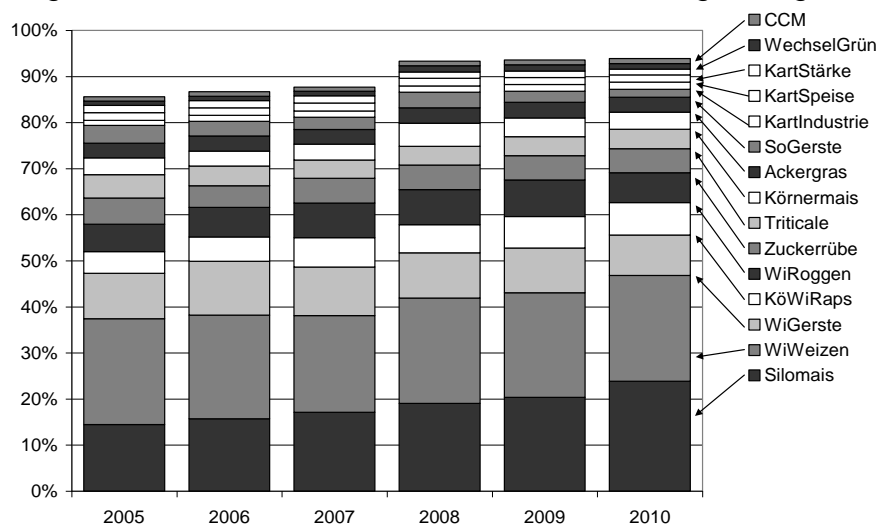
### **Ergebnisse und Diskussion**

Die ausgewerteten Daten beschreiben ca. 2,6 Mio ha landwirtschaftliche Nutzfläche und enthalten je Jahr knapp 1 Mio. Angaben zu Feldblock, Schlagnummer sowie der angebauten Fruchtart gemäß der amtlichen Kodierung. Nach Überprüfung der Eindeutigkeit der räumlichen Zuordnung bleiben rund 95% der ursprünglichen Datensätze je Jahr erhalten. Bei Restriktion auf eindeutige Zuordnung für den Zeitraum 2005-2010 reduziert sich der Bestand auf ca. 50% der Ausgangsdaten. Für die Fruchtfolge-Generierung und spätere Typisierung lagen somit Daten für ca. 1,26 Mio ha landwirtschaftliche Nutzfläche vor.

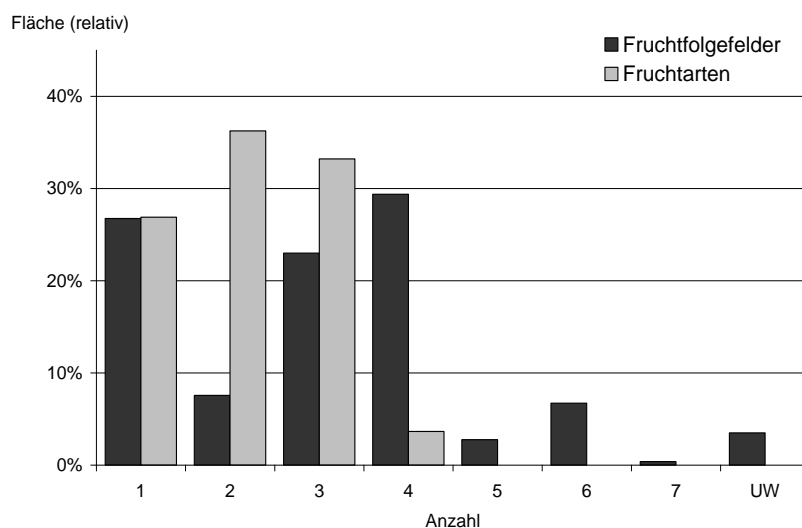
Auf Ackerland nehmen 15 Fruchtarten 80-90% der Anbaufläche ein. Eine Verengung des angebauten Artenspektrums ist im untersuchten Zeitraum festzustellen (Abb. 1). Mais, Winterweizen und Wintergerste dominieren.

Die erfassten Fruchtarten (inkl. Dauergrünland) wurden in 61.304 verschiedenen Anbaufolgen angebaut, von denen nach Permutation noch 38.101 eindeutige Folgen

erhalten blieben. 60% der ausgewerteten Fläche wurde von 108 ackerbaulichen Anbaufolgen inkl. Dauergrünland belegt. Auf dem Ackerland nehmen bis zu 4-feldrige Anbaufolgen und Daueranbau die größte Fläche ein, es werden aber meist drei oder weniger unterschiedliche Fruchtarten in diesen Folgen angebaut (Abb. 2).



**Abb. 1:** Veränderung der Anbauanteile der wichtigsten 15 Acker-Fruchtarten in Niedersachsen im Zeitraum 2005 bis 2010



**Abb. 2:** Flächenhafte Bedeutung der Anzahl an Fruchtfolgefeldern und angebauten Fruchtarten in typisierten Fruchtfolgen für den Zeitraum 2005-2010 in Niedersachsen UW – Umwidmung, z.B. mehrjähriges Dauergrünland oder Ackerfutter in andere Folgen

Die gemeinsame Auswertung von Anbaufolgen und Bodeninformationen ergab über den Elektivitätsindex plausible Kopplungen von anspruchsvollen Fruchtarten (z.B. ZR, Raps) mit Standorten höheren Ertragspotentials oder speziellen Bodentypen.

### Dank

Wir danken der niedersächsischen Verwaltung für die Datenbereitstellung. Die Analysen wurden im Rahmen des KLIF-Verbundprojektes gefördert.

### Literatur

Lang, S., Blaschke, Th. 2007: Landschaftsanalyse mit GIS. Ulmer

## Ertragsbildung überwinterter Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.)

Eric Reinsdorf und Heinz-Josef Koch

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

### Einleitung

Unter mitteleuropäischen Klimabedingungen zählt die Zuckerrübe zu den ertragsstärksten Kulturen und könnte somit einen wesentlichen Beitrag zum steigenden Bedarf an Bioenergie leisten (Hoffman et al., 2008).

Der Anbau von Zuckerrüben mit Aussaat im Sommer und Überwinterung der Kultur im Feld (Winterrübe) könnte zu einer verbesserten Nutzung des standortspezifischen Angebots der Wachstumsfaktoren Einstrahlung und Wasser führen und die Erzielung hoher, sehr früh in der Vegetationsperiode erntefähiger Biomasseerträge mit günstigen Vergärungseigenschaften in der Biogasanlage ermöglichen (Kluge-Severin & Hoffmann, 2009). Erfahrungen aus Feldversuchen der letzten Jahre zeigten, dass eine erfolgreiche Überwinterung mit hinreichend hohen Überlebensraten unter deutschen klimatischen Bedingungen bereits möglich ist (Reinsdorf & Koch, 2011). Ziel dieses BMBF-geförderten Projektes ist neben der Untersuchung des Einflusses des Anbaumanagements auf die Winterhärte der Zuckerrübe die Charakterisierung der Ertragsbildung und Abschätzung des Ertragspotentials erfolgreich überwinterter Zuckerrüben.

### Material und Methoden

In den Jahren 2009/2010, 2010/2011 und 2011/2012 wurde in Feldversuchen an den Standorten Kiel (Schleswig-Holstein, maritimes Klima) und Göttingen (Niedersachsen, Kontinentalklima) die Ertragsbildung erfolgreich überwinterter Zuckerrüben (Aussaat: August) untersucht. Die Versuche wurden als Spaltanlage mit 4 Wiederholungen angelegt. Als Großteilstückfaktor wurden die Saatzeiten April, Juni und August in Blöcken angelegt. Innerhalb jedes Saattermins wurde zusätzlich die Bestandesdichte in den Stufen 148, 246 und 370 tausend Pflanzen ha<sup>-1</sup> variiert.

Es erfolgte eine Vorwinterernte im November (BBCH 49) sowie die Ernte erfolgreich überwinterter geschosster und abgeblühter Zuckerrüben (BBCH 75) im Juni. Desweiteren wurde in den Versuchsjahren 2010/2011 und 2011/2012 eine Versuchsvariante mit Rückschnitt des Sprosses und Gesamtpflanzenernte nach Abblühen des 2. Sprossaufwuchses zusätzlich untersucht. Es erfolgte die Bestimmung der Frisch- und Trockenmasse von Rübe und Spross sowie deren genauere Charakterisierung an jeweils 20 Einzelpflanzen pro Parzelle (Scheitelhöhe, Maximaldurchmesser der Rübe; Sprosslänge, Anzahl Seitentriebe, Triebverzweigung) zu jedem Erntetermin.

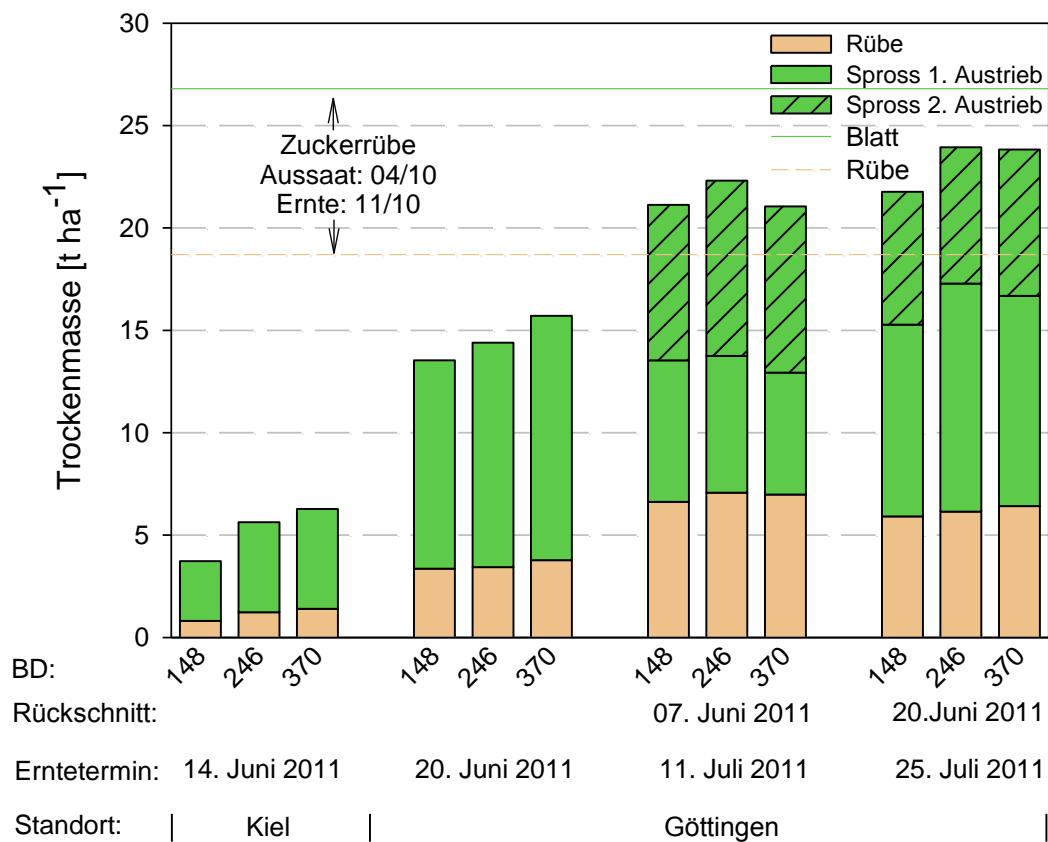
### Ergebnisse und Diskussion

August-gesäte Winterrüben wiesen mit Gesamttrockenmasseerträgen (Rübe und Spross) im Frühsommer (Mitte bis Ende Juni) von ~ 5 bis 15 t ha<sup>-1</sup> (Trockenmasse) eine negative Ertragsdifferenz von rund 40 bis >70 % im Vergleich zu frühjahrgesäten Zuckerrüben mit Ernte im Herbst auf (Abb. 1). Das Rübe:Spross-Verhältnis kehrte sich von knapp 3:1 bei konventionellen Zuckerrüben zu rund 1:3 bei Winterrüben um. Gesamterträge von ~15 t ha<sup>-1</sup> (Trockenmasse), die sich mit Alternativkulturen wie z.B. Getreide-Ganzpflanzensilage messen können, wurden nur

in der Region Göttingen erreicht. Der Küstenstandort Kiel erwies sich in den drei Versuchsjahren zwar als sehr überwinterungssicher, jedoch mit Gesamttrockenmasseerträgen von deutlich unterhalb  $10 \text{ t ha}^{-1}$  als sehr ertragsschwach.

Durch eine der Ganzpflanzenernte vorgezogene Sprossernte (Rückschnitt des Sprosses in BBCH 60 bis 75 auf  $\sim 20 \text{ cm}$  Wuchshöhe) ließ sich der Trockenmasseertrag in der Summe beider Ernten signifikant auf  $> 20 \text{ t ha}^{-1}$  steigern (Standort Göttingen) (Abb. 1).

An ausgewählten Standorten können mit der 'schossenden Winterrübe' als potentiell neue Kultur zur energetischen Nutzung nennenswerte Biomasseerträge erzielt werden. Das Risiko einer Auswinterung ist jedoch zu hoch, um das Anbausystem 'schossende Winterrübe' als praxistauglich empfehlen zu können.



**Abbildung 1:** Trockenmasseertrag erfolgreich überwinterter, geschosster August-gesäter Winterrüben im Frühsommer 2011. BD: Bestandesdichte in  $1000 \text{ Pfl. ha}^{-1}$ .

## Literatur

- Hoffmann, C.; B. Märländer; J-M. Greef; F. Höppner und L. Hüther 2008: Bioenergie aus Zuckerrüben – Schosser geben Gas! Zuckerrübe 57 (6/2008): 320-323.
- Kluge-Severin S. und C. Hoffmann 2009: Bessere Lichtnutzung durch Winterrüben! Zuckerrübe 58 (2/2009): 79-81.
- Reinsdorf, E. und H.-J. Koch 2011: Einfluss der Einzelpflanzengröße auf die Winterhärte von Winterrüben (*Beta vulgaris*). Mitt. Gesell. Pflanzenbauwiss. 23: 97-98.

## Morphology and density of trichomes of *Origanum vulgare* L. in response to soil moisture regimes and nitrogen supply

Marzieh Shafiee Hajjabad and Bernd Honermeier

Institute of Agronomy and Plant Breeding, Justus-Liebig-Universität Gießen, Schubertstr. 81, 35392 Gießen.

### Introduction

*Origanum vulgare* is a medicinal plant belonging to *Lamiaceae* family. The aerial vegetative and reproductive organs of oregano are covered with non glandular and glandular trichomes (Kintzios, 2004). The glandular hairs are considered as the exclusive sites of essential oil biosynthesis (Werker, 1993) so their density should be correlated to the amount of the plant-derived essential oil. In fact leaf hair density is a complex character composed of two separable traits: leaf area and the number of hairs initiated per leaf. Leaf size is mostly controlled by the growth environment, whereas leaf hair initiation shows more genetically based variation (Roy et al., 1999). The aim of the investigations was to clarify the effect of different water regimes and nitrogen applications on morphological parameters of glandular hairs of *Origanum vulgare* L..

### Materials and Methods

*Origanum vulgare* spp. *vulgare* seeds from Pharmasaat Artern were sowed at first of March 2011 and one month later transplanted to 6 liter pots with 12 replications at the research station Rauischholzhausen. The soil used in this experiment was a loess soil, which was sieved (<2mm), homogenized, air-dried and mixed with sand (soil: sand = 1: 2 w/w) and finally fertilized with 0.3 g, 1.5 g, 0.1 g and 3.0 g per pot P, K, Mg and CaCO<sub>3</sub>, respectively. Three water supply regimes were applied to the oregano plants two weeks after transplanting: 1. Optimal: 60% of maximal water-holding capacity (WC) during the seedling development stage. From beginning of stem elongation until beginning of flowering the soil water content was maintained at 70% WC. 2. Suboptimal: Constantly water content at 50% of WC throughout the whole cultivation period. 3. Late water deficiency: 60% and 70% of WC during seedling and stem elongation development stages, respectively. During the flowering stage the water content was then reduced to 50% of WC. Two nitrogen fertilization levels: 0.5 g and 1.25 g N per pot were applied.

**Scanning electron microscopy (SEM) analysis:** Sampling always took place at the flowering stage at third leaves from the top. The samples were prefixed with the fixation solution (2% Glutaraldehyd in buffer) then post-fixed with osmium tetroxide and cacodylate buffer and dehydrated in a graded acetone series. The acetone dried samples were subjected to a critical-point drier (at 40°C). The specimens were mounted on aluminum stubs and coated with a thin film of gold. The coated samples have been observed in a SEM vacuum chamber.

The following parameters were evaluated: number and size of peltate glandular hairs, capitate glandular hairs and non-glandular hairs per leaf area. The variance analysis was carried out with SPSS (15.0). LSD values were calculated and used for the comparison of means of different treatments within one factor.

## Results and Discussion

Anatomical studies showed three kinds of trichomes: non-glandular hairs, peltate glandular hairs and capitate glandular hairs could be seen on adaxial and abaxial sides of *O. vulgare* spp. *vulgare* leaves. Peltate glandular hairs are consist of a large flattened secretory head of four central cells and 8 peripheral cells, one stalk cell and one basal cell (Fig 1 a). Capitate glandular hairs which are much smaller than the peltate ones are consist of a one head cell, a single cellular stalk and a basal cell embedded between the ordinary epidermal cells (Fig 1 b).

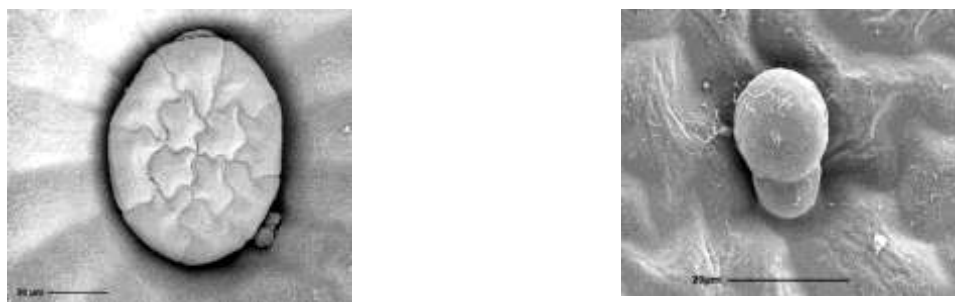


Fig 1. SEM pictures of glandular hairs of *O. vulgare* spp. *vulgare* a) peltate glandular hair with 4 central cells and 8 peripheral cells ( $\times 1000$ ) b) capitate glandular hair with 1 head cell and 1 stalk cell ( $\times 2000$ )

The results revealed that the treatments significantly influenced the measured parameters. Higher concentration of nitrogen reduced the density of peltate glandular hairs and non-glandular hairs at abaxial and whole leaf but had no effect on density of capitate glandular hairs.

Suboptimal water supply increased the density of peltate glandular hairs at whole leaf but the density of capitate glandular hairs was higher at optimal water supply at adaxial and whole leaf. Diameter of capitate glandular hair was higher at late water deficiency.

Interaction effects of water supply and nitrogen concentration affected density of peltate and capitate glandular hairs and non glandular hairs and diameter of peltate glandular hairs. The density of peltate glandular hairs was higher in optimal water supply with 0.5 g N and in suboptimal water supply with 1.25 g N but the less density of peltate glandular hairs was in optimal water supply with 1.25 g N. Density of capitate glandular hairs was also maximal in optimal water supply with 0.5 g N. It seems that N supply caused only an increase of leaf area without increasing the number of peltate glands per leaf area therefore the density of glandular hairs decreased. In addition treated plants with suboptimal water supply in order to protect themselves against water evaporation in one hand reduced the leaf area on the other hand initiated more peltate glandular hairs per leaf area to make a exudate layer on the plant surface. This layer may increase light reflectance and thereby reduce leaf temperature (Werker, 1993), so more leaf area are covered with peltate glandular hairs than capitate glandular hairs.

## References

- Kintzios, S.E. 2004. Profile of the multifaceted prince of herbs. In S. E. Kintzios (Ed.), *Oregano: The genera *Origanum* and *Lippia**. London, New York: Taylor & Francis.
- Roy, B.A.; M.L. Stanton, and S.M. Eppley, 1999. Effects of environmental stress on leaf hair density and consequences for selection. *J. EVOL. BIOL.* 12: 1089-1103.
- Werker, E. 1993. Function of Essential Oil-Secreting Glandular Hairs in Aromatic Plants of the *Lamiaceae*-A Review. *Flavour and Fragrance. J.*, 8: 249-255.

## The variance behind statistical yield information on municipality level for the state of Mato Grosso, Brazil

C. Nendel<sup>1,\*</sup>, R.M.G. Santos da Costa<sup>2</sup> and A.M.R. Figueiredo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Institute of Landscape Systems Analysis, Müncheberg; <sup>2</sup> Federal University of Mato Grosso, Faculty of Economics, Cuiabá, MT, Brazil. E-Mail: nendel@zalf.de

### Introduction

Crop models are frequently used to predict crop yields on different scales. Calibrated and tested at the plot level, the models are often applied to higher spatial scales and challenged by regional or national statistics. However, these data usually come with no additional information about the variability within their spatial unit. In the case of Mato Grosso, Brazil, where family farms and commercial businesses as two contrasting production systems make up the annual municipality yield statistics, regular census data at a lower spatial scale provide the opportunity to analyse the range of productivity performances across the municipality. This state is on a transition of the Brazilian savannahs to the Amazon forest, challenged by the international demand for food against environmental issues like the use of agrochemicals and with large farms (above thousands of hectares) as well as small farms competing for land use. This information forms the basis for evaluating which production systems need to be considered for modelling in order to best represent the municipality when trying to reproduce the yield figures with a simulation model.

Additional information on technology used for production allows finding relations between technology progress and yield development and to evaluate the importance of soil fertility, crop and nutrient management for obtaining high yields.

### Material and Methods

Two different sets of statistical data have been evaluated. The annual yield data compiled and published by the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) offers yield and productivity data for the main agricultural crops at different spatial aggregations. The lowest available is at municipality level (IBGE 2012). The agricultural census published by IBGE is collected at irregular intervals at a spatial level below municipality level (hereafter referred to as census level). In the considered micro-region of Sinop, MT, the sizes of the nine municipalities range from 2.600 to 12.300 km<sup>2</sup>. One of them, the Sinop municipality, contains 15 census areas which include 39 to 446 farms and 27 to 14400 hectares harvested area of soybean. Census data include yield and productivity data, but also information on advanced agricultural practices and technology used, such as lime, fertiliser, pest control, crop rotation, electricity, etc. The latest agricultural census dates from 2006 (IBGE 2006).

### Results and Discussion

Soybean and maize made up around 97% of the agricultural production in Mato Grosso in 2006. Cotton and upland rice complement the state production. Average 2006 soybean productivity in the Sinop micro-region was 2.78 t ha<sup>-1</sup>, including a standard error of  $\pm 0.43$  t ha<sup>-1</sup>. Similar statistics come for cotton ( $2.93 \pm 0.59$  t ha<sup>-1</sup>). In contrast to these two crops, the standard error of  $\pm 0.98$  t ha<sup>-1</sup> for maize produce per hectare is much higher in relation to the mean ( $3.63$  t ha<sup>-1</sup>). Same applies for upland rice ( $2.58 \pm 1.08$  t ha<sup>-1</sup>). This result suggests that for maize and upland rice

the differences in the production systems present in Mato Grosso (subsistence and commercial) mark through much more significant than for soybean and cotton.

Further analysis of the census data – for soybean as example – revealed that in some census areas the use of advanced agricultural practices was more common, while in others the use was only incipient. It was observed that most census areas with little harvested area of soybean showed a higher productivity as compared to those with the largest soybean production and area. It was also observed that the areas with greater soybean production used more intensive agricultural practices. However, great heterogeneity exists, as there were also sectors in which the farms were large, but the use of advanced agricultural practices was low, and vice versa. This heterogeneity leads to the fact that the mean productivity in each census area does not reflect their relative composition of production systems. For the census areas within the Sinop municipality the soybean productivity ranges from 2.42 to 3.12 t ha<sup>-1</sup>.

The error information, as well as information on prevalent types of agricultural production (subsistence, commercial) cannot be extracted from the annual IBGE yield statistics, but is essential if the agricultural production is to be described using simulation models. It may also be used to extract technology-driven trends in the historical yield data and support the extrapolation of the trend.

### **Literature**

IBGE (2012): <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=t&o=11>.

IBGE (2006): <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=CA&z=t&o=11>.



## Stärkung des heimischen Körnerleguminosenanbaus- Analyse erfolgreicher Anbau- und Eigenverwertungssysteme in landwirtschaftlichen Betrieben

Dorothee Alpmann<sup>1</sup>, Jürgen Braun<sup>1</sup>, Sascha Rohn<sup>2</sup> und Bernhard C. Schäfer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, 59494 Soest, <sup>2</sup> Universität Hamburg, Institut für Lebensmittelchemie, 20146 Hamburg. E-Mail: alpmann.dorothee@fh-swf.de.

### Einleitung

Die heimischen Körnerleguminosen verlieren in Anbau und Züchtung deutlich an Bedeutung. Der Anbauumfang ist insbesondere bei den Körnererbsen und Süßlupinen seit Jahren rückläufig und Züchtungsprogramme werden eingestellt. Mangelnde Ertragsstabilität, unzureichende tierische Leistung bei eigener Verwertung und eingeschränkte Vermarktungsmöglichkeiten sind häufig genannte Argumente gegen den Anbau. Diese Situation wird durch die Entkoppelung der Eiweißpflanzenbeihilfe (55,57 €/ha) weiter verschärft. Das BMELV ist aufgrund positiver Wirkungen der Leguminosenproduktion auf Bodenleben, Fruchtfolge, Umwelt und die Abhängigkeitssituation von Sojaimporten bestrebt mit einer „Eiweißpflanzenstrategie“ Wettbewerbsnachteile zu verringern und Forschungslücken bei den Leguminosen zu schließen (BMELV, 2012). Neben der vermeintlich geringen wirtschaftlichen Attraktivität des Anbaus, ist teilweise auch die Akzeptanz auf der Seite der Verarbeiter gering. Hier wird oft das Fehlen großer Partien einheitlich guter Qualität als Handelshemmnis genannt.

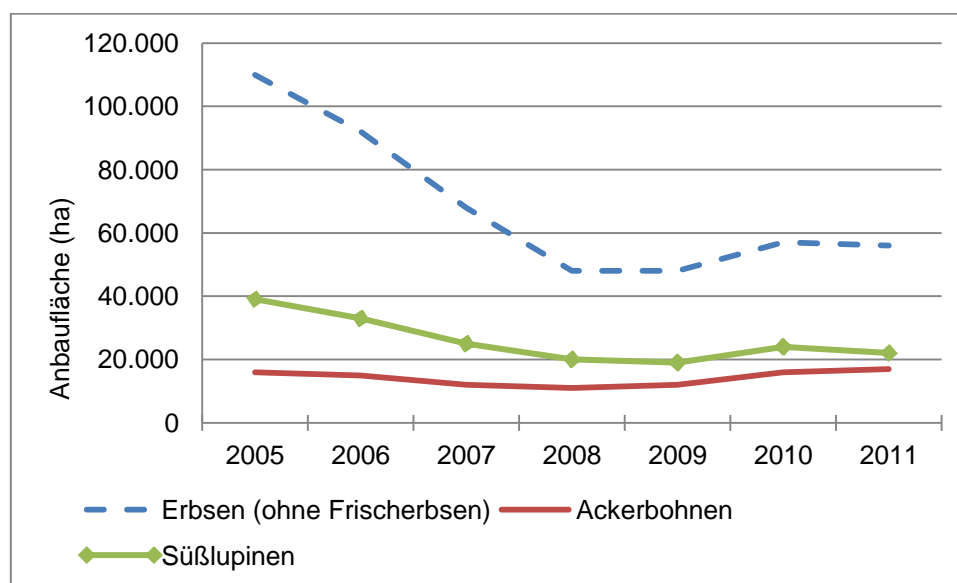


Abb. 8: Anbauflächen von Körnerleguminosen in Deutschland (BMELV, 2011).

### Material und Methoden

Um diesem negativen Trend entgegenzuwirken werden im Rahmen des Forschungsvorhabens „LeguAN- Innovative und ganzheitliche Wertschöpfungskonzepte für funktionelle Lebens- und Futtermittel aus heimischen Körnerleguminosen vom Anbau bis zur Nutzung“ unter anderem erfolgreiche Anbau- und Eigenverwertungssysteme sowie Vermarktungsmöglichkeiten landwirtschaftlicher

Betriebe in ausgewählten Regionen detailliert analysiert. Ziel ist es, Erfolgsfaktoren in Anbau, Verwertung und Vermarktung aufzufindig zu machen, die eine wirtschaftlich erfolversprechende Körnerleguminosenproduktion auf landwirtschaftlicher Ebene ermöglichen.

Hierzu wurden zunächst Anbauregionen in Deutschland ermittelt. Anschließend wurden 80 ausgewählte konventionelle landwirtschaftliche Betriebe mit Körnererbsen-, Ackerbohnen- und/oder Lupinenproduktion ausgiebig zu den Vorzügen der Körnerleguminosenproduktion, der Anbautechnik, den Sortenwahlkriterien, den Verwertungs- und Vermarktungsmöglichkeiten, der Wirtschaftlichkeit sowie zu den möglichen Problemen in einem persönlichen Interview befragt. In einem weiteren Schritt sollen detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalysen vorgenommen werden, um die Wettbewerbsfähigkeit der Körnerleguminosen gegenüber anderen Kulturen innerhalb der gesamten Fruchtfolge darzulegen.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Auf den Betrieben wurde deutlich, dass der positive Effekt in der Fruchtfolge, die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und bei der innerbetrieblichen Verwertung, die Möglichkeit zur Reduktion des Sojaanteils in der Futtermittelration entscheidende Gründe für den Anbau von Körnerleguminosen sind. Der Einsatz der Körnerleguminosen in der Fütterung ist insbesondere aus Kostengründen für einen Teil der Betriebe interessant. Zum Großteil findet der Einsatz in Milchviehbetrieben statt. Probleme werden in der Standfestigkeit, hier vor allem bei den Erbsen, in der Zulassungssituation der Herbizide und in der Ertragssicherheit gesehen. Ein weiteres wichtiges Entscheidungskriterium für den Anbau stellt der Vorfruchtwert dar. Dieser Wert deckt auf den Betrieben eine Spanne von 0 bis 350 €/ha ab. Im Durchschnitt kann ein Wert von 130 €/ha angenommen werden. Als entscheidende Größen sind hier der Mehrertrag der Folgefrucht und deren Marktwert zu nennen.

### **Literatur**

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) 2011: Anbau, Ertrag und Ernte der Feldfrüchte. In: Statistisches Jahrbuch 2011, Statistisches Bundesamt, Landwirtschaftsverlag Münster Hiltrup, 100-102.

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) 2012: Entwurf der Eiweißpflanzenstrategie des BMELV. Stand: 05.06.2012.

## Mischfruchtanbau mit Leguminosen – Effiziente Nutzung von Wachstumsfaktoren als Beitrag zum Ressourcen- und Gewässerschutz

Stefanie Busch<sup>1</sup> und Bettina Eichler-Löbermann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Professur Pflanzenbau, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, E-Mail: stefanie.busch@uni-rostock.de

### Einleitung

Der Ausbau der erneuerbaren Energien mit Schwerpunkt Biomasse spielt eine wichtige Rolle in der Energiepolitik der Bundesregierung Deutschlands. Dabei kann es zur Flächen- und Ressourcenkonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion kommen. Das Auftreten längerer Trockenperioden infolge des Klimawandels kann zusätzlich zum Trockenstress der Pflanzen auch Phosphor (P)-Mangel zur Folge haben, da die geringe Mobilität von P im Boden durch niedrige Bodenwassergehalte noch weiter herabgesetzt wird (Hinsinger 2001). Dies spielt eine besondere Rolle, weil gerade der Rohstoff P nur begrenzt zur Verfügung steht. Der Anbau von Kulturpflanzen im Mischfruchtanbau kann wegen der unterschiedlichen Anpassungsfähigkeit der Pflanzen an suboptimale Wachstumsbedingungen zur effizienten komplementären Nutzung von Wachstumsfaktoren und somit zur Steigerung von Nährstoff- (Gosh et al. 2006) und Wassernutzungseffizienz (Woldeamlak et al. 2006) beitragen. Mischanbau mit Leguminosen ist wegen der zusätzlichen Stickstoff (N)-Fixierung aus der Luft besonders interessant.

### Material und Methoden

Mit dem Ziel, den Anbau von Energiepflanzen in Mischfruchtssystemen zu optimieren und Nährstoffverluste zu reduzieren, werden in mehreren Feld- und Gefäßversuchen (2012-2014) die Wasser- und Nährstoff-Ausnutzung von Energiepflanzen (Sorghum (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*, Freya), Mais (*Zea mays*, Fernandez)) im Mischanbau mit Leguminosen (Ackerbohne (*Vicia faba*, Isabell), Sojabohne (*Glycine max*, ES Mentor), Kuhbohne (*Vigna unguiculata*, Spargelbohne), Stangenbohne (*Phaseolus vulgaris*, Preisgewinner)) geprüft. Neben Nährstoff- und Wassernutzungseffizienz der Pflanzen werden auch die additiven Stresseffekte durch P- und Wassermangel beschrieben. Zusätzlich zur Nährstoffaufnahme der Pflanzen werden die P-Pools, die Aktivität ausgewählter Enzyme des P-Kreislaufes und die Konzentration organischer Säuren im Boden untersucht. Darüber hinaus werden hydrologische Parameter erfasst, mit deren Hilfe der Einfluss des Mischfruchtanbaus auf die Höhe der Nährstoffverluste durch Auswaschung kalkuliert werden soll.

### Literatur

- Ghosh P. K., Manna, M. C., Bandyopadhyay, K. K., Ajay, Tripathi, A. K., Wanjari, R. H., Hati, K. M., Misra, A. K., Acharya, C. L., Subba Rao, A. 2006: Interspecific Interaction and Nutrient Use in Soybean/Sorghum Intercropping System. *Agron J* 98: 1097–1108.
- Hinsinger, P. 2001: Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil* 237: 173-195.
- Woldeamlak, A., Kropff, M.J., Struik, P.C. 2006: Effect of drought stress on barley-wheat intercropping. *Afric Crop Sci J* 14 (3): 185-195.

## Ertragsleistung und Silagequalität von Mais im Mischfruchtanbau mit Bohnen

Jenny Fischer<sup>1</sup> und Herwart Böhm<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Thünen Institut / Institut für Ökologischen Landbau, Westerau. E-Mail: jenny.fischer@vti.bund.de

### Einleitung

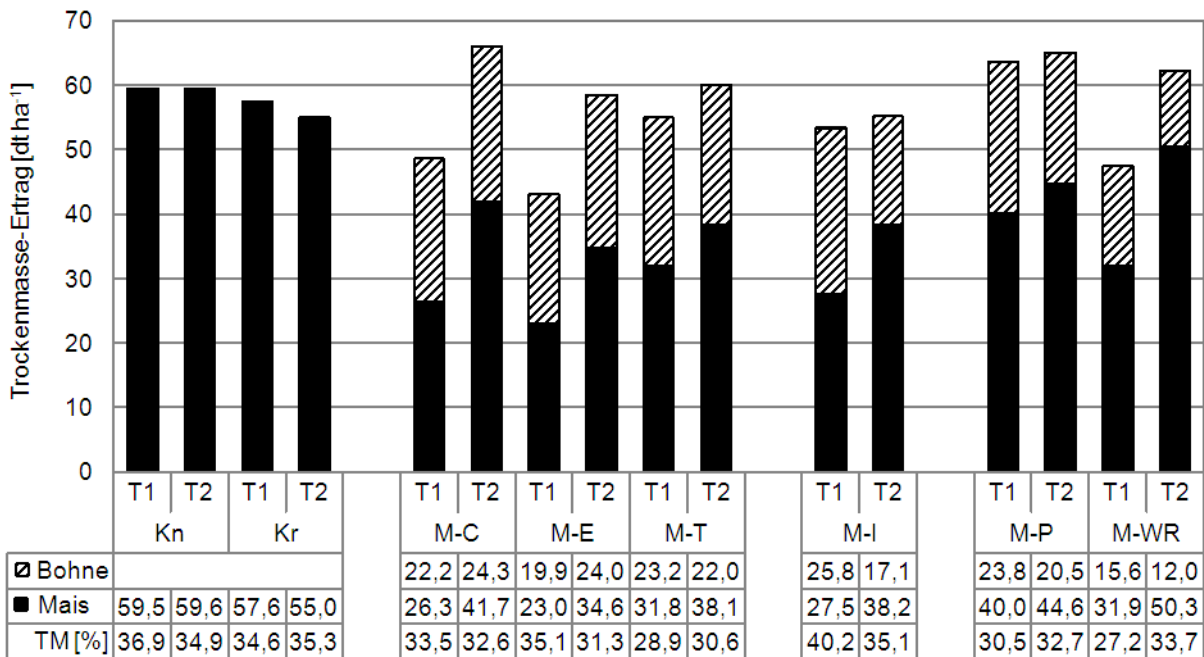
Da der Einsatz von Maissilage in der Milchviehfütterung durch die geringen Rohproteingehalte begrenzt wird (Armstrong et al. 2008), wurde am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau (Schleswig-Holstein, sL, 740 mm, 8,7°C) der Mischfruchtanbau von Mais mit Bohnen getestet. Ziel des Feldversuches ist es geeignete Anbausysteme zu identifizieren, die eine hohe Ertragssicherheit und gute Futterqualitäten aufweisen.

### Material und Methoden

Der Feldversuch wurde 2011 als randomisierte Spalt-Blockanlage mit zwei Saatterminen für die Bohnen und sechs verschiedenen Bohnenvarianten in 4-facher Wiederholung angelegt. Die Saatstärke vom Mais (*Fabregas*, S 210) wurde in den Mischfruchtvarianten auf 6Kö/m reduziert. Die Frühsaat der Bohnen (T1) erfolgte vier Tage nach dem Mais; die Spätsaat wurde erst zum 4-Blatt-Stadium (EC 14) vom Mais gelegt, um hier eine mechanische Unkrautbekämpfung mit der Hacke vor der Bohnessaat zu ermöglichen. In den Mischfruchtparzellen wurden 3 Stangenbohnen (*Phaseolus vulgaris*, 6 kfk m<sup>-1</sup>: Tarbais, Eva, Cobra), eine Ackerbohne (*Vicia faba*, 19 kfk m<sup>-1</sup>: Isabell) und 2 Feuerbohnen (*P.coccineus*, 6 kfk m<sup>-1</sup>: Weiße Riesen, Preisgewinner) getestet, die in einem Abstand von ca. 15 cm neben den Maisreihen gesät wurden. Als Kontrollvarianten dienten Maisparzellen in Reinsaat mit 6 bzw. 9 kfk m<sup>-1</sup>. Zur Bewertung des Mischfruchtanbaus wurden pflanzenbauliche Parameter, wie Wuchshöhe, FM- und TM-Ertrag, Bohnenblattmasse und Unkrautbewuchs bonitiert. Zur Ernte wurden Laborsilagen in dreifacher Wiederholung unter anaeroben Bedingungen angesetzt (1,5 L Weckgläser) und für 90 Tage bei 20° Celsius gelagert. Die Silierfähigkeit wurde anhand der pH-Werte, den Gärgasverlusten, der aeroben Stabilität und dem Gehalt an organischen Säuren bewertet. Desweiteren werden Futterwertanalysen vom Ausgangsmaterial und den fertigen Silagen durchgeführt.

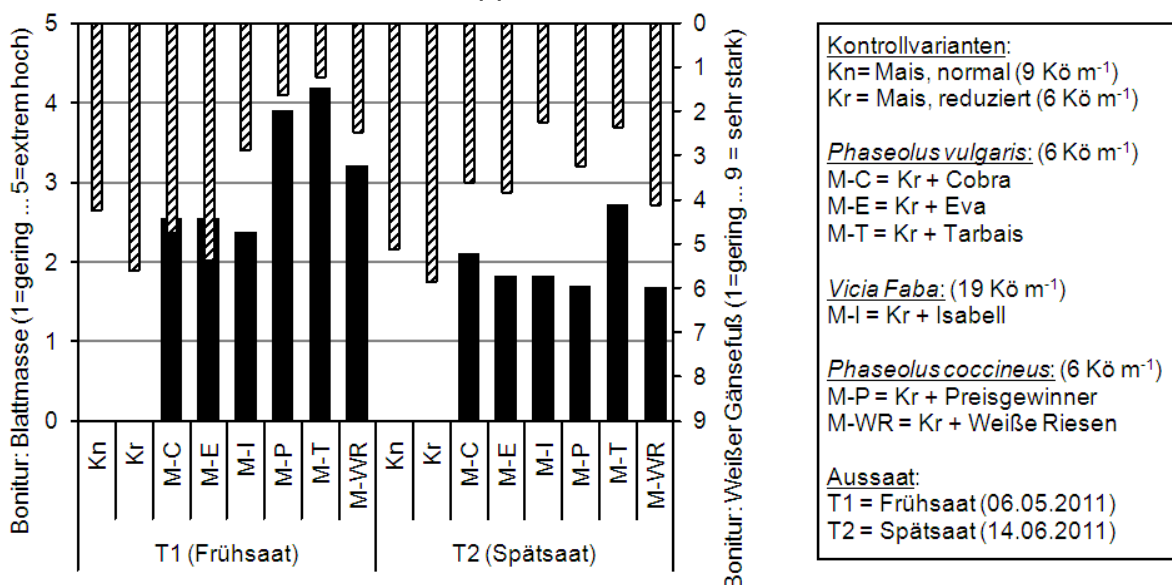
### Ergebnisse und Diskussion

Der für die Silierung erforderliche Trockenmasse-Gehalt von 30-35 % TM wurde in allen Varianten, außer den Frühsaaten von Tarbais und Weiße Riesen erreicht (Abb.1). Die Ernteerträge der Mais-Bohnen-Gemenge sind in allen Spätsaatvarianten mit den Reinsaterträgen der Kontrollvarianten vergleichbar, wobei die Stangenbohne Cobra und die beiden Feuerbohnen sogar höhere Erträge als die Kontrollen erzielten. In der Frühsaat erzielten die Sorten Cobra, Eva und Weiße Riesen deutlich geringere TM-Erträge als die Kontrollvarianten, was z.T. auf die schlechtere Bestandesentwicklung in den Parzellen zurückzuführen ist. Die geringsten Ertragsunterschiede zwischen den Saatterminen fanden sich bei den Sorten Tarbais, Isabell und Preisgewinner, die zu beiden Saatterminen gleichmäßige, starke Bohnenbestände entwickelten.



**Abb. 1:** Trockenmasseerträge [dt ha<sup>-1</sup>] zur Ernte und Ertragsanteile in den Gemengen

Wie in Abb.2 dargestellt, zeigten sich in den einzelnen Varianten, vor allem in der Frühsaat, starke sortenbedingte Unterschiede in der entwickelten Bohnenblattmasse. Die höchsten Blattmassen fanden sich in den Frühsaaten der Sorten Tarbais und Preisgewinner, die dadurch auch die stärkste Unkrautunterdrückung aufwiesen, jedoch drohten hier einzelne Maispflanzen aufgrund des kräftigen Wachstums unter den Bohnen umzukippen.



**Abb. 2:** Einfluss der Bohnen-Blattmasse auf das Unkrautunterdrückungsvermögen gegen Weißen Gänsefuß (*Chenopodium album*), Boniturergebnisse 2011

## Literatur

Armstrong, K.L.; K. Albrecht, J.Lauer, H.Riday 2008: Intercropping Corn with Lablab Bean, Velvet Bean, and Scarlet Runner Bean for Forage. *Crop Science* 48: 371–379.

## **Anbau von Winterlinsen und Auswirkungen auf Ertrag und Unkrautdruck**

Sabine Gruber, Katharina Maginot, Sabine Zikeli und Wilhelm Claupein

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften/Universität Hohenheim, 70599 Stuttgart. E-Mail: Sabine.Gruber@uni-hohenheim.de

### **Einleitung**

Die Fläche für den Linsenanbau (*Lens culinaris*) steigt in Deutschland seit einigen Jahren stetig, doch sind die Erträge von ca. 0,6 t/ha in Baden-Württemberg sowie die Ertragsstabilität noch unbefriedigend. Linsen werden derzeit in Deutschland nur als Sommerung angebaut, obwohl ältere Quellen Frosttoleranz und Winterformen beschreiben (Fruwirth, 1936). Durch die längere Vegetationszeit ist beim Anbau über Winter ein höheres Ertragsniveau zu erwarten. Ziel der vorliegenden Studie war, verschiedene Linsengenotypen als Winterung anzubauen und im Vergleich zu Sommerungen auf Frosttoleranz, Ertrag und Unkrautdruck zu prüfen.

### **Material und Methoden**

Auf der Versuchsstation Kleinhohenheim wurden die Linsengenotypen Anicia, Champagnerlinse, Alblinse groß und Alblinse klein im Herbst (29.10.2010) im Gemenge mit Winterroggen (Amilo) und im Frühjahr (04.03., 13.04.2011) mit Sommerroggen (Avantes) ausgesät. Anicia ist seit einigen Jahren in Baden-Württemberg verbreitet, die Alblinsen groß und klein stammen aus St. Petersburger Genbankmaterial und wurden früher in SW-Deutschland angebaut. Die Saatstärke betrug 180 + 60 kf Körner (Linsen + Roggen) m<sup>-2</sup>. Der Versuch war eine Spaltanlage mit vier Wiederholungen, mit Saatzeit als Großteilstückfaktor und Genotyp als Kleinteilstückfaktor. Zur Ernte (orientiert an der Reife der Linsen) wurden 2 x 0,5 m<sup>2</sup> je Parzelle von Hand gerauft und daraus der Kornertrag sowie die Unkrautbiomasse bestimmt.

### **Ergebnisse und Diskussion**

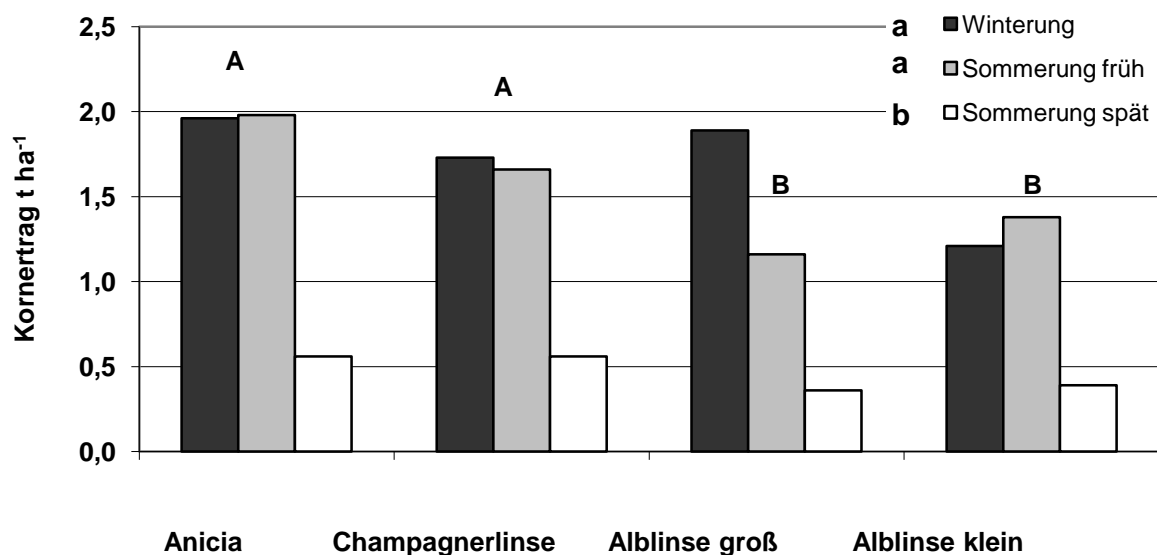
Die Linsenwinterung war vor Winter (18.11.2010) mit 40–50 % der Saatstärke aufgelaufen. Nach Winter (08.04.2011) betrug die Bestandesdichte rund 60 % der Saatstärke bei Anicia und Alblinse groß, 34 % bei der Champagnerlinse und 28 % bei der Alblinse klein (nicht dargestellt). Obwohl nach Winter offenbar noch Pflanzen aufgelaufen sind, haben zahlreiche Pflanzen aller vier Genotypen den Winter überlebt (mehrere Wochen unter einer Schneedecke, dann Kahlfröste bis -8°C). Die Winterungen blühten rund sechs Wochen früher als die spät gesäte Sommerungen (praxisübliches Verfahren als Standard; Tab.1) und reiften vier Wochen früher ab. Die Stützfrucht Roggen war zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollreif (45 % Kornfeuchte). Die Kornfeuchte der Linsen lag bei der Winterung und der früh gesäten Sommerung bei 17–19 %, ein Wert, der in der Praxis oft überschritten wird und eine Trocknung des Kornguts erforderlich macht. Die Sorte Anicia war am ertragreichsten (bis zu rund 2 t ha<sup>-1</sup> als Winterung und als Sommerung bei früherer Saat), den geringsten Ertrag wies Alblinse klein auf (Abb. 1). Der späte Saattermin im Frühjahr war im Mittel über alle Sorten ertraglich signifikant unterlegen, ähnlich den Beobachtungen von Wang et al. (2011). Im Vergleich zu den deutlich niedrigeren Praxiserträgen muss berücksichtigt werden, dass im Versuch von Hand geerntet wurde, so dass alle Hülsen erfasst wurden; in der Praxis ist das beim Mähdrusch meistens nicht der Fall. Der Unkraut-

druck war bei der früh gesäten Sommerung am niedrigsten, vermutlich wegen der hohen Konkurrenzkraft des zu diesem Zeitpunkt gesäten Linsen/Roggen-Gemenges.

**Tab. 1:** Kornertrag und Reifezeit von Linsen, Unkrautbiomasse zur Ernte im Mittel von vier Genotypen, bei drei Saatzeiten. Anbau im Gemenge mit Winter- bzw. Sommerroggen. Keine signifikanten Unterschiede bei  $P < 0,05$  bei gleicher Buchstabenkennung (je Zeile)

	Winterung	Sommerung früh	Sommerung spät <sup>1)</sup>
Saattermin	29.10.2010	04.03.2011	13.04.2011
Blühbeginn (alle Genotypen)	28.04./07.05.'11	17.05.2011	11.06.2011
Reife; +/- $\Delta$ zu Standard	- 4 Wochen	-2 Wochen	08.08.2011
Kornertrag t ha <sup>-1</sup> ; +/- $\Delta$ zu Standard	+ 1,2 a	+1,07 a	0,47 b
Kornfeuchte Linsen (%)	17,3	19,3	9,5
Unkrautbiomasse g TM m <sup>-2</sup> ; +/- $\Delta$ zu Standard	-2,3 a	-33,3 b	98,1 a

<sup>1)</sup> praxisübliches Verfahren als Standard



**Abb. 1:** Kornertrag von vier Linsengenotypen bei drei Aussaatterminen, Ernte 2011, Versuchsstation Kleinhohenheim. Großbuchstaben indizieren Sortenunterschiede, Kleinbuchstaben Unterschiede zwischen den Saatzeiten,  $P \leq 0,05$ .

Fazit: Derzeit anbaurelevante Genotypen weisen eine gewisse Frosttoleranz auf, so dass sehr frühe Saaten im Frühjahr möglich sind. Die Aussaat sollte sehr zeitig im Frühjahr erfolgen, um das Ertragspotenzial auszuschöpfen. Eine Winterung scheint in milden Lagen und Jahren möglich, bringt ertraglich aber keine Vorzüge. Ein Vorteil der Winterung wäre ein früher Erntetermin Anfang Juli vor der Getreideernte; allerdings fehlen hier noch zeitgleich reife Sturzfrüchte.

### Literatur

- Fruwirth, C., 1936: Landwirtschaftlich wichtige Hülsenfrüchter. Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin, 56 S.
- Wang L., S. Gruber und W. Claupein, 2011: Lentil-barley mixed cropping with different lentil varieties and sowing dates. Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Gießen, 209-293.

## **Zum Einfluss von Saattermin und Sorte auf Jugendentwicklung, Abreife, Ertrag und Proteingehalt von Sojabohnen (*Glycine max*) an zwei Grenzstandorten**

Thorsten Haase<sup>1</sup>, Bianka Hüsing<sup>2</sup>, Hannes Schulz<sup>1</sup>, Maria Elena Vergara<sup>2</sup>, Anke Mindermann<sup>1</sup>, Dieter Trautz<sup>2</sup> und Jürgen Heß<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau / Universität Kassel, D-37213 Witzenhausen. E-Mail: thaase@uni-kassel.de; <sup>2</sup>Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur / Hochschule Osnabrück, D-49090 Osnabrück.

### **Einleitung**

Einer der limitierenden Faktoren für die Ausdehnung des Sojaanbaus in den gemäßigten Breiten ist die sehr späte Abreife aufgrund der hohen Ansprüche der Sojabohnen an die vorhandene Wärmesumme. Ein früher Saattermin bedeutet einerseits eine potenziell höhere erreichbare Wärmesumme, andererseits ein erhöhtes Risiko von Spätfrostereignissen, die die jungen Pflanzen erheblich schädigen können. Um den Sojaanbau über die Grenzen der aktuell bestehenden Gunstlagen hinaus auszudehnen, sind Kenntnisse zur Bedeutung des Saattermins für die frühe Jugendentwicklung, sowie Abreife, Ertrag und Qualität erforderlich.

### **Material und Methoden**

Im Frühjahr 2011 wurden auf den ökologisch bewirtschafteten Versuchsstandorten der Universität Kassel (Hessische Staatsdomäne Frankenhäusen; DFH) und der Hochschule Osnabrück (Waldhof; WH), jeweils ein zweifaktorieller Feldversuch als Spaltanlage (Großteilstück: Saattermin [drei Stufen] und Kleinteilstück: Sorte [zwei Stufen]) angelegt. Saattermine waren T1, der 19. (DFH) bzw. 20.04. (WH), T2, der 26. (DFH) bzw. 27.04. (WH) und schließlich T3, der 02. (DFH) bzw. 04.05.2011 (WH). Die geprüften Sorten waren Aveline (000) und Gallec (000/00). Parzellengröße war 1,5m x 10m, Reihenabstand 37,5cm und die Aussaatsärke 65 keimfähige Körner/m<sup>2</sup>. Die Pflege erfolgte mechanisch mit Striegel, Gänsefuß- oder Fingerhacke oder später manuell bei Problemunkräutern. Die Ernte erfolgte am 04.10. 2011 (DFH) und am 17. bzw. 30.09.2011 (WH). Die Auswertung der Daten erfolgte mit PROC MIXED in SAS 9.2.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die Sojabohnensorte hatte keinen Einfluss auf das Merkmal Tage bis zum Auflaufen, jedoch der Saattermin. So liefen auf dem Waldhof die Sojabohnen, die zum ersten und dritten Saattermin gesät worden waren, nach sieben (T1) bzw. acht Tagen (T3) auf, die des zweiten (T2) erst nach zwölf Tagen. In Frankenhäusen war kein derartiger Effekt zu beobachten. Der längere Zeitraum bis zum Auflaufen kann vermutlich auf das Auftreten niedriger Temperaturen zeitnah nach dem zweiten Aussaattermin zurückgeführt werden.

Bei der sehr frühen Sorte Aveline führten die späteren Aussaattermine (T2 und T3) zu höheren Erträgen, während der Ertrag der Sorte Gallec nicht vom Aussattermin beeinflusst wurde. Die Tausendkornmasse wurde in Frankenhäusen statistisch absicherbar ( $p < 0,05$ ) durch den Aussaattermin beeinflusst und es lag eine signifikante Wechselwirkung ( $p < 0,01$ ) mit der Sorte vor. Die höchste Tausendkornmasse der Sojabohnen wurde in Frankenhäusen für Sorte Aveline nach Aussaat zu T2 und T3, bei Sorte Gallec dagegen nach Aussaat zu T3 erhoben. Auf



dem Waldhof konnte kein Einfluss der geprüften Faktoren auf die Tausendkornmasse nachgewiesen werden. Für das Merkmal Rohproteingehalt der Sojabohnen in Frankenhausen belegte die statistische Auswertung signifikanten Einfluss der Hauptfaktoren Aussaatzeit ( $p < 0,05$ ) und Sorte ( $p < 0,001$ ), sowie deren Wechselwirkung ( $p = 0,001$ ).

**Tabelle 1:** Ertrag [dt/ha 91 % TS], Tausendkornmasse [g] und Rohprotein [% i.d. TS] in Frankenhausen (DFH) und am Waldhof (WH) in Abhängigkeit von Saattermin (T1-T3) und der geprüften Sorte (Aveline bzw. Gallec) im Jahr 2011.

	DFH						WH					
	Aveline			Gallec			Aveline			Gallec		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Ertrag*	22,4b	26,7a	24,6b	31,5	30,2	32,4	15,9	20,1	19,0	19,6	24,7	25,6
TKM**	191b	219a	212a	202b	198b	216a	236	238	245	241	248	248
RP***	39,2b	41,9a	43,0a	39,3a	38,1b	40,5a	42,7	42,8	43,8	40,9	42,4	43,0

\*Ertrag in [dt/ha bei 91 % TS] Parzellendrusch; \*\*TKM = Tausendkornmasse [g]; \*\*\*RP = Rohprotein in [% i.d. TS]; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Aussaatterminen innerhalb einer Sorte.

Den höchsten Rohproteingehalt wies Sorte Aveline nach Aussaat zu Termin T2 und T3 auf, die Sojabohnen der Sorte Gallec hatten nach Aussaat zu Termin T2 den niedrigsten Rohproteingehalt. Am Waldhof ergab die statistische Auswertung keine absicherbare Wirkung der geprüften Faktoren auf den Rohproteingehalt.

**Tabelle 2:** Feuchtegehalt [%] der Sojabohnen zum Drusch in Frankenhausen (DFH) und auf dem Waldhof (WH) und zu zwei vorherigen Probenahmeterminen (nur DFH) in Abhängigkeit vom Saattermin und der geprüften Sorte im Jahr 2011

	DFH						WH					
	Aveline			Gallec			Aveline			Gallec		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
09.09.*	39,1c	45,5b	57,9a	23,4b	26,5b	39,3a	nicht erhoben					
21.09.*	22,7	18,0	27,8	18,3	17,6	15,2	nicht erhoben					
Ernte	13,0b	14,0a	14,8a	12,7	12,9	13,4	23,7	19,0	19,6	28,9a	17,2b	17,9b

\*Probenahmetermine am 09.09. und 21.09.: Beprobung von 10 Pflanzen/Parzelle

Zum ersten Probenahmetermin wurde der Feuchtegehalt der Sojabohnen in Frankenhausen signifikant ( $p < 0,001$ ) durch den Aussaattermin und die Sorte beeinflusst. Die etwas spätere Sorte Gallec wies überraschend stets niedrigere TS-Gehalte auf als Sorte Aveline. Zum zweiten Termin (21.09.) war es nur noch die Sorte, die den Feuchtegehalt beeinflusste, während bei späterer Saat nur noch tendenziell die höheren Feuchtegehalte gemessen wurden; Sorte Aveline wies im Durchschnitt der Saattermine 22,9%, Sorte Gallec 13,8% Feuchtegehalt auf. Zum Drusch schließlich waren in Frankenhausen die Unterschiede zwischen Saatterminen innerhalb der jeweiligen Sorten zwar wieder signifikant aber ohne praktische Bedeutung, auf dem Waldhof führte der erste Saattermin bei Sorte Gallec zu höheren Feuchtegehalten. Die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres 2011 erlauben noch keine eindeutigen Schlussfolgerungen, ob ein früher oder eher später Termin zu bevorzugen ist. Die Ergebnisse zum Feuchtegehalt vor der Ernte deuten auf eine erhebliche Bedeutung des Saattermins für den Reifungsprozess der Sojabohnen hin.

Das Projekt wird im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) durch das BMELV gefördert ([www.sojainfo.de](http://www.sojainfo.de)).

## Überwinterung und Ertrag von Winter-Ackerbohnen im Marchfeld in der Saison 2010/2011

Reinhard Neugschwandtner<sup>1</sup>, Katja Ziegler<sup>1</sup>, Wolfgang Link<sup>2</sup>, Hans-Peter Kaul<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abteilung Pflanzenbau, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln. E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at

<sup>2</sup> Abteilung Pflanzenzüchtung, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen.

### Einleitung

Winter-Ackerbohnen spielen in der agrarischen Praxis in Österreich aufgrund der mit der nicht ausreichenden Winterhärte verbundenen Ertragsunsicherheit keine Rolle. In Göttingen werden seit der Herbstsaat 1988 Winter-Ackerbohnen züchterisch bearbeitet (Link und Arbaoui, 2005). Material dieser Arbeiten wurde in der Saison 2010/11 im Marchfeld, einer östlich von Wien gelegenen Ackerbauregion, geprüft.

### Material und Methoden

Der Versuch wurde an der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf (Marchfeld, 546 mm durchschnittlicher Jahresniederschlag, 9,8°C durchschnittliche Jahrestemperatur, Tschernosem, schluffiger Lehm) durchgeführt. Der Anbau erfolgte am 14.10.2010, 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.

### Ergebnisse und Diskussion

Das Göttinger Winter-Ackerbohnen-Material zeigte in der Saison 2010/11 eine Überwinterung zwischen 45 und 90 Prozent (Tab. 1). Die Kornerträge lagen zwischen 1,25 und 2,11 t ha<sup>-1</sup> und somit unter dem österreichischen Durchschnittsertrag der Sommer-Ackerbohnen von 2,54 t ha<sup>-1</sup> (im Jahr 2010 bei einer Anbaufläche von 4.154 ha) (BMLFUW, 2011).

Tab. 1: Überwinterung, Spross-Biomasse, Kornertrag und Ernteindex des Göttinger Winterackerbohnen-Materials in Groß-Enzersdorf in der Saison 2010/11

Genotyp	Überwinterung	Spross-Biomasse	Kornertrag	Ernteindex
	(%)	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(%)
Seif-069	47	3,86	1,77	46
Scout	45	2,97	1,51	51
(Côte d'Or×BPL)-52-3	61	2,92	1,34	46
Seif-151	72	3,42	1,86	55
W:Syn4	74	4,79	2,11	44
Côte d'Or/1	90	3,88	1,25	32
LSD <sub>0.05</sub>	18	0,14	0,79	6

### Literatur

BMLFUW, 2011. Grüner Bericht 2011. Wien.

Link, W., Arbaoui, M., 2005. NEUES von der Göttinger Winter-Ackerbohne, 56. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, HBLFA Raumberg – Gumpenstein, 22. - 24. November 2005, 31–38.

## Stickstoffgehalte von Weizen-Erbsen-Gemengen in Abhängigkeit des Aussaattermins und des Mischungsverhältnisses

Reinhard Neugschwandtner<sup>1</sup>, Patrick Herz<sup>1</sup> und Hans-Peter Kaul<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abteilung Pflanzenbau, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln. E-Mail: reinhard.neugschwandtner@boku.ac.at

### Einleitung

Ein höherer N-Gehalt von Weizen in substitutiven Weizen-Erbsen-Gemengen wird auf die geringere Ährendichte bei gleichbleibendem, verfügbarem mineralischen N (aufgrund der N-Fixierung der Erbse) zurückgeführt (Bedoussac und Justes, 2010). Ziel des Versuches war es, die N-Gehalte im Korn von Weizen und Erbse in Abhängigkeit des Aussaattermins und des Mischungsverhältnisses zu untersuchen.

### Material und Methoden

Der Gemengeversuch mit Reinsaatensorten der zur Frühlingsaussaat geeigneten Winterweizensorte Xenos (300 kfK m<sup>-2</sup>) und der semileafless Wintererbsensorte Cherokee (80 kfK m<sup>-2</sup>) sowie deren Gemenge (75W:25E, 50W:50E, 25W:75E, 12,5W:87,5E) wurde am 7.10.2010 bzw. am 14.3.2011 in Raasdorf (BOKU-Versuchswirtschaft) ausgesät.

### Ergebnisse und Diskussion

Der N-Gehalt im Weizenkorn nahm mit geringem Weizen- und höherem Erbsenanteil in den Gemengen zu, insbesondere in den im Frühjahr gesäten Gemengen, die geringe Kornerträge aufwiesen (Daten nicht gezeigt). Eine höhere N-Fixierung der Erbse im Gemenge im Vergleich zur Reinsaat wurde bereits beschrieben (Bedoussac und Justes, 2010). Unsere Ergebnisse zeigen zudem höhere N-Gehalte des Erbsenkornes mit zunehmenden Weizen- und abnehmendem Erbsen-Anteil im Gemenge (Abb. 1).

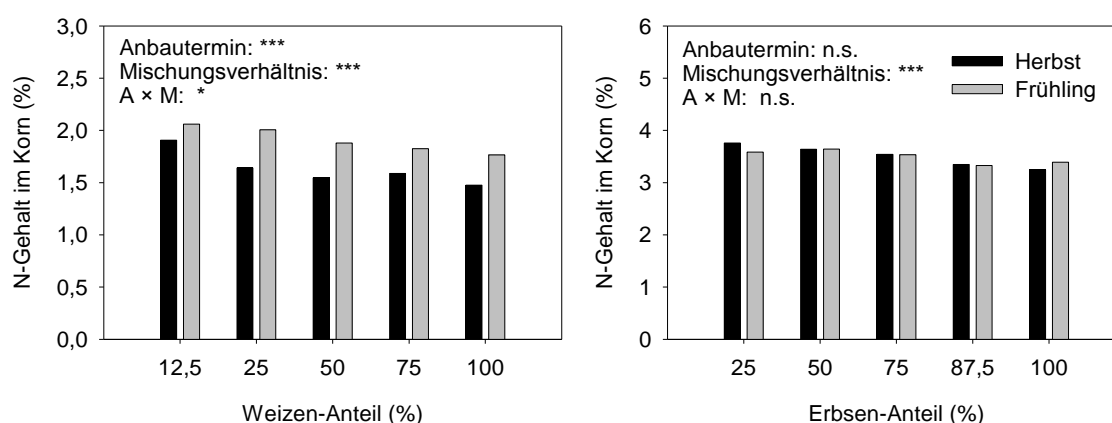


Abb. 1: N-Korngehalt von Weizen und Erbse in Abhängigkeit des Aussaattermins und des Mischungsverhältnisses

### Literatur

Bedoussac, L., Justes, E., 2010. Plant Soil 330, 19–35.

## **Gemengeanbau von Mais mit Stangenbohnen – erste Ergebnisse aus Feldversuchen 2011**

Carola Pekrun<sup>1</sup>, Sabine Hubert<sup>1</sup>, Carolin Zimmermann<sup>1</sup> und Walter Schmidt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, 72622 Nürtingen; <sup>2</sup>KWS Saat AG, 37555 Einbeck, E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

### **Einleitung**

Der Gemengeanbau von Mais mit Stangenbohnen spielt traditionell in Lateinamerika eine große Rolle. Beide Komponenten werden für die menschliche Ernährung angebaut, häufig zusammen mit Kürbis. Der Gemengeanbau von Mais mit Stangenbohnen ist auch in Europa heimisch, z.B. in Kärnten im sog. Käferbohnenanbau. Auch in anderen Teilen Europas existiert dieses Anbausystem.

Für die Produktion von Biogassubstrat könnten Mais-Bohngemenge ebenfalls geeignet sein. Die Bohnen würden eine Erweiterung des Kulturartenspektrums bedeuten und zur N-Versorgung beitragen. Auch als Futter für Wiederkäuer könnte dieses Gemenge eine Bedeutung haben. Schwierig ist in einem solchen System die Unkrautbekämpfung. Vollkommen offen ist, in welcher Weise ein solches Anbausystem technisch durchgeführt werden kann. Wann und mit welcher Dichte können die Stangenbohnen zwischen die Maisreihen gesät werden? Wie reagiert der Mais auf das Umwickeln der Pflanzen? Wie sind die Erträge, insbesondere auch die Methanerträge in einem solchen System zu bewerten?

### **Material und Methoden**

2011 wurden auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Hofgut Tachenhausen (20 km südlich von Stuttgart: 360 m ü NN, 10 °C Jahresdurchschnittstemperatur, 840 mm Jahresniederschlag, Parabraunerde aus Löß) der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) zwei Versuche zum Gemengeanbau von Mais mit Stangenbohnen angelegt. Am 19.04.2011 wurde ein Versuch zur Bestandesarchitektur angelegt. Hierzu wurde Mais der Sorte Fernandez (S250) mit 5 oder 7,5 Körnern m<sup>-2</sup> ausgesät und 17 bzw. 36 Tage später Stangenbohnen (Sorte Neckarkönigin) mit einem Reihenabstand von 37,5 cm und einer Aussaatstärke von 5 oder 7 Körnern m<sup>-2</sup> in einer Tiefe von 6-7 cm in den Bestand hineingedrillt. Als Vergleich zu den 8 Gemengevarianten wurde eine Kontrolle mit Mais in Reinsaat angelegt (Aussaatstärke 10 Körner m<sup>-2</sup>). In einem zweiten Versuch wurden drei Stangenbohnen Sorten im Gemenge mit Mais angebaut.

Der Versuch wurde am Tag der Saat mit 100 kg N ha<sup>-1</sup> in Form von ENTEC perfect in einer Gabe gedüngt. Der stabilisierte Volldünger wurde gewählt, um einer Düngung mit Biogasgülle möglichst nahe zu kommen. Eine Herbizidmaßnahme wurde nicht durchgeführt. Stattdessen wurden die Bestände mechanisch sauber gehalten. Wegen des sehr trockenen Frühjahrs liefen bis Reihenschluss kaum Unkräuter auf. Der Mais und die Bohnen liefen trotzdem gut und gleichmäßig auf.

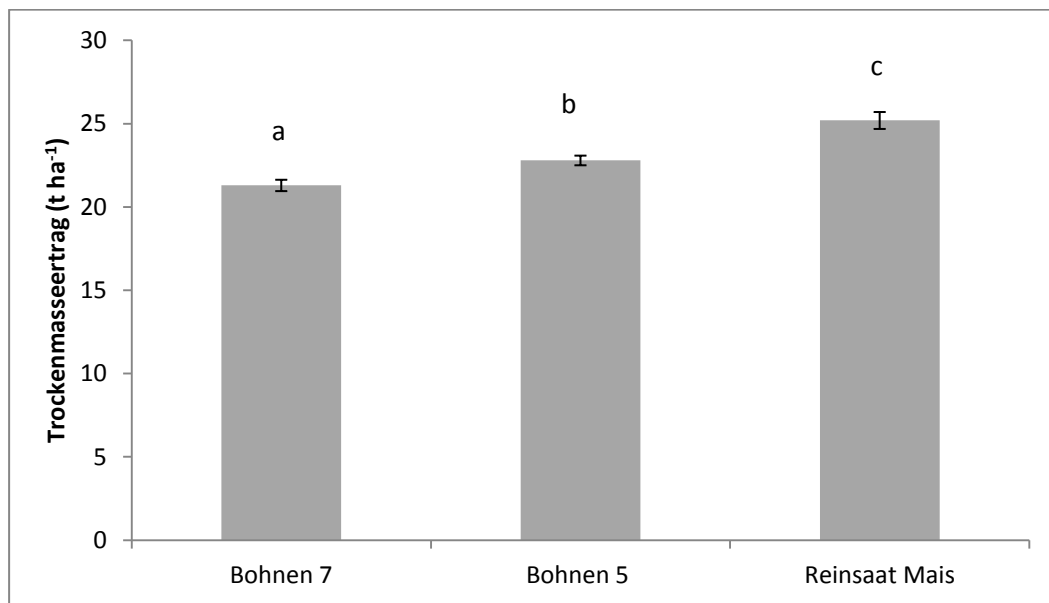
Die Ernte erfolgte am 30.08.2011 mit einem reihenunabhängigen Versuchshäcksler. Von jeder Parzelle wurden Frischmasseertrag, Trockensubstanzgehalt und Methan- ausbeute (Hohenheimer Biogastest) ermittelt.

## Ergebnisse und Diskussion

Trotz des sehr frühen Erntetermins wurde in den Mais-Bohnenparzellen ein Trockensubstanzgehalt von durchschnittlich 29 % erzielt. Der in Reinsaat gesäte Mais wies zu dem Zeitpunkt einen Trockensubstanzgehalt von 32 % auf.

Die Trockenmasseerträge wurden durch die Aussaatstärke des Maises sowie den Aussaatzeitpunkt der Bohnen nicht beeinflusst. Deshalb sind im Folgenden die Mittelwerte aus den beiden Mais-Aussaatstärken und Bohnen-Saatzeiten dargestellt. Mais in Reinsaat erreichte mit 25,2 t Trockenmasse ha<sup>-1</sup> mit Abstand den höchsten Ertrag. Die Varianten „Bohnen 7“ (Bohnen mit 7 Pflanzen m<sup>-2</sup>) erzielten im Mittel einen Ertrag von 21,3 t Trockenmasse ha<sup>-1</sup>, „Bohnen 5“ (Bohnen mit 5 Pflanzen m<sup>-2</sup>) ergaben 22,8 t Trockenmasse ha<sup>-1</sup> (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Der Hohenheimer Biogastest ergab für den Methanertrag einen signifikanten Unterschied zwischen der Reinsaat Mais (8.774 m<sup>3</sup> Methan ha<sup>-1</sup>) auf der einen Seite und den beiden Gemengevarianten mit 7 bzw. 5 Bohnen m<sup>-2</sup> auf der anderen Seite (7.441 m<sup>3</sup> bzw. 7.778 m<sup>3</sup> Methan ha<sup>-1</sup>).

Aus dem Sortenversuch wurden einzelne Bohnenpflanzen entnommen, um die Methanausbeute der Bohnen separat zu bestimmen. Die Methanausbeute der Sorte „Neckarkönigin“ war mit 0,32 m<sup>3</sup> Methan je kg organische Trockensubstanz höher als bei „Eva“ mit 0,31 und bei „Preisgewinner“ mit 0,27. Der Gesamttrockenmasseertrag unterschied sich nicht zwischen den drei Sorten und war mit 25,1 t ha<sup>-1</sup> sehr hoch.



**Abb. 9:** Trockenmasseertrag (t ha<sup>-1</sup>) im Mais-Stangenbohnenversuch 2011 in Tachenhausen. Unterschiedliche Kleinbuchstaben weisen auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit 7 und 5 Bohnen m<sup>-2</sup> bzw. Mais in Reinsaat hin. p=0,05 (Tukey)

Weitere Untersuchungen zu dem Thema sind dringend erforderlich. Fragen bestehen hinsichtlich der optimalen Bestandesarchitektur, des Sätezeitpunkts der Bohnen, der Herbizidanwendungen und der Sortenwahl sowohl auf der Seite des Maises als auch der Stangenbohnen.

## **Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland – Erste Ergebnisse eines BÖLN-Projekts**

Recknagel, J.<sup>1</sup>, Nußbaumer, H.<sup>2</sup> und Wilbois, K.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LTZ Augustenberg/Dt. Sojaförderring, Müllheim; <sup>2</sup>LTZ Augustenberg/SG Ökolandbau, Müllheim;

<sup>3</sup>FIBL Deutschland e.V., Frankfurt. E-Mail: juergen.recknagel@ltz.bwl.de

### **Einleitung**

Der Anbau von Sojabohnen in Deutschland erfolgt aufgrund der Körnermais vergleichbaren Wärmeansprüche dieser Kultur derzeit hauptsächlich in den südlichen Bundesländern. 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 Marktf Frucht dar. In den letzten drei Jahren kam es zu einem starken Wachstum der Anbauflächen. Inzwischen besteht auch in weniger begünstigten Regionen Interesse an dieser Kultur, nicht zuletzt auch im Rahmen verschiedener Eiweißinitiativen auf politischer Ebene. Das BÖLN-Projekt ‚Ausdehnung des Sojabohnenanbaus in Deutschland‘ mit Laufzeit 2011-2013 ermöglicht produktionstechnische und Sortenversuche mit Sojabohnen in weiten Teilen Deutschlands. Das Poster präsentiert erste Ergebnisse der Sortenversuche und bringt diese in einen Zusammenhang mit dem Wärmeangebot.

### **Material und Methoden**

Im Rahmen des BÖLN-Projekts wurden 2011 über fast ganz Deutschland verteilt an 29 Standorten Sojaversuche durchgeführt. Zur Einstufung dieser Versuchsstandorte nach dem für Sojabohnen nutzbaren Wärmeangebot wurde auf Grundlage der Wetterdaten der letzten 3-10 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 Periode 01. Mai bis 30. September legten eine Unterteilung der Versuchsorte in die 3 Wärmekategorien warm, mittel und kühl nahe, die sich im Mittel um jeweils ca. 200°C unterscheiden. 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 in Süddeutschland umfasst, in der mittleren Kategorie aber auch Standorte in Mitteldeutschland vertreten sind. Interessanterweise liegt der kühlsste Standort in einem der größten Anbauggebiete Bayerns.

Aus dem Vergleich der Wärmesummen über die letzten 10 Jahre wird deutlich, dass das Jahr 2011 zu den Jahren mit einer überdurchschnittlichen Wärmesumme zählt, vergleichbar z.B. mit den Jahren 2009 und 2006. Während das Frühjahr in vielen Gebieten extrem trocken war mit der Folge einer begrenzten vegetativen Entwicklung, setzten meistens rechtzeitig zur Sojablüte wieder Niederschläge ein, so dass auch in Bezug auf die Niederschlagsverteilung für die Sojabohne eher günstige Verhältnisse herrschten. Dies dürfte tendenziell zu einer Nivellierung der Unterschiede zwischen den Anbauregionen beigetragen haben. Spätfröste bis zu  $-5^{\circ}\text{C}$  (z. B. in Unterfranken) konnten der Sojabohne nicht viel anhaben. Aufgrund reichlichen Wärm- und Wasserangebots im Herbst mit verstärkter N-Mineralisierung kam es insbesondere im Süden von Bayern teilweise zu Reifeverzögerungen des Strohs mit der Folge erschwerter bzw. verspäteter Ernte. Im Mittel der in allen Regionen des BÖLN-Projekts geprüften Sorten lag der Ertrag bei 32,5 dt/ha bezogen auf 91% TM. Die Mittelwerte der Standortklassen ‚warm‘ und ‚mittel‘ unterschieden sich mit 38,7 bzw. 37,0 dt/ha kaum, wohingegen die Klasse ‚kühl‘ mit rund 27 dt/ha deutlich abfiel. Die Relativerträge der Einzelsorten reichten von 82 – 120%, die Gesamt-Schwankungsbreite einzelner Sorten zwischen den Standorten reichte von 23 bis 70%. Bezüglich der Ertragsergebnisse zeigt sich meist eine ähnliche Reihenfolge der Sorten in den Anbaugebieten mit unterschiedlichem Wärmeangebot. In den wärmeren Gebieten fielen jedoch einige 000-Sorten im Relativertrag ab. Größer sind die Unterschiede bei der Erntefeuchte. In den kühleren Gebieten war die Abreife der 00-Sorten nicht gewährleistet. Der Rohproteingehalt betrug im Mittel der an allen Orten geprüften Sorten 42,4% i.d. TM mit einer Bandbreite der Sorten über alle Orte von relativ 88 bis 112%. Die Extremwerte reichten bei den Sorten von 33,5 bis 50,2% RP i.d. TM bzw. 38,1 bis 45,3% bei den Standortmitteln. In Verbindung mit dem Ertrag ergibt sich damit ein Rohproteinertrag von 12,7 dt/ha. Der Schwankungsbereich bezogen auf die Sorten reicht dabei von 3,9 bis 22,2 dt/ha und bezogen auf die Mittel der Versuchsorte von 6,0 bis 18,4 dt/ha TM.

Ursachen für schlechte Erträge lagen teilweise bei der Unkrautbekämpfung sowie bei Vogelfraß nach der Saat bzw. Fraßschäden an den Pflanzen durch Hasen und Rehe.

Für abgesicherte Aussagen zur Anbauwürdigkeit von Sojabohnen in den verschiedenen Teilen Deutschlands sind zumindest die Ergebnisse der nächsten beiden Ernten abzuwarten. Der bisherige Witterungsverlauf des Jahres 2012 deutet auf eher geringere Wärmesummen und meist höhere Niederschläge hin, so dass tendenziell mit schlechteren Ergebnissen bzw. einer stärkeren Differenzierung zwischen den wärmeren und kühleren Anbaugebieten als im Vorjahr zu rechnen ist.

## Literatur

BÖLN-Sojaprojekt: [www.sojainfo.de](http://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.

## **Energie- und Treibhausgasbilanz des Sojaanbaus unter Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen – Methodik und erste Ergebnisse**

Robert Simon<sup>1</sup>, Helmut Frank<sup>2</sup> und Kurt-Jürgen Hülsbergen<sup>2</sup>

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

### **Einleitung**

Sojaextraktionsschrot (SES) aus Sojabohnen (*Glycine max* (L.) Merr.) ist ein bedeutendes Eiweißfuttermittel in der Tierhaltung. Das in Deutschland verwendete Sojaschrot stammt überwiegend aus der pflanzenbaulichen Erzeugung in Brasilien, Argentinien und den USA. Verarbeitung, Transport sowie Landnutzungsänderungen verursachen Treibhausgas-(THG-)Emissionen, die das Treibhauspotential der Soja-Pflanzenbausysteme stark erhöhen können.

Für eine Bewertung der Klimawirkung von Sojaextraktionsschrot als Eiweißfuttermittel ist zunächst eine Bewertung der Pflanzenbausysteme notwendig. Hierfür wurden verschiedene Sojaanbausysteme in den bedeutsamsten Herkunftsländern definiert. Mit Stoff- und Energiebilanzen wurden der kumulative Energieaufwand und die THG-Emissionen dieser Produktionssysteme einschließlich der Verarbeitung, des Transports und möglicher Landnutzungsänderungen in mehreren Szenarien ermittelt.

### **Material und Methoden**

Für die gesamte Arbeit wurden die CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>eq) des IPCC verwendet. In einem Beobachtungszeitraum von 100 Jahren hat demnach N<sub>2</sub>O die 298-fache Klimawirkung von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> hat die 25-fache Wirkung.

Zunächst wurden mit Hilfe der statistischen Datenbank der FAO die wichtigsten Ursprungsländer von in Deutschland genutztem Sojaextraktionsschrot ermittelt. Aus diesen Ergebnissen wurde für einen Zeitraum von zehn Jahren die exportbereinigte Gesamtimportmasse für Deutschland berechnet.

Auf Grundlage aktueller Literatur und verfügbarer statistischer Daten wurden Produktionssysteme für die drei wichtigsten Herkunftsländer Brasilien, Argentinien und die USA unter Berücksichtigung von landesspezifischen Anbaumethoden inklusive Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Arbeitsverfahren modelliert. Die verwendeten Szenarien gehen mit einem Anteil von 80 % (Brasilien, Argentinien), bzw. 100 % (USA) von 120 ha großen No-till-Systemen unter Nutzung von GV-Soja und Glyphosateinsatz aus, bei einem Ertrag der drei Länder in einem Bereich von 2.500 bis 2.650 kg ha<sup>-1</sup>. 20 % der Betriebe in Brasilien und Argentinien wurden als kleinbäuerlich modelliert, mit Schlaggrößen von 20 ha, konventioneller Bodenbearbeitung und reduzierten Erträgen. Die Modellierung wurde unter Verwendung des Umwelt- und Betriebsmanagementsystems REPRO (Hülsbergen 2003) und eines angegliederten Berechnungsmodells vorgenommen. Dadurch werden neben Energieaufwand und THG-Emissionen aus der Nutzung von fossilen Kraftstoffen, der Maschinen-, Saatgut-, Dünger- und Pflanzenschutzmittelbereitstellung auch Lachgasemissionen berücksichtigt.

Dem bei der Produktion von Sojaextraktionsschrot anfallenden Produkt Sojaöl wurde während der anschließenden Kalkulation von Verarbeitung und Transport durch eine



Allokation nach dem Energiegehalt ein Teil des notwendigen Energieeinsatzes bzw. der entstehenden THG-Emissionen zugeordnet.

Zusätzlich wurde der Einfluss von Landnutzungsänderungen auf das Gesamtergebnis in verschiedenen Szenarien geprüft. Das erste dieser Szenarien beruht auf den Ergebnissen von FAO (2010) und geht davon aus, dass in Brasilien jede Ausweitung der Sojaanbaufläche zu einer Regenwaldrodung führt (3.250 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> Sojaextraktionsschrot), während in Argentinien wesentlich mehr Gras- und Weideland als Regenwald verdrängt würde (91 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>). In den USA wird nach FAO (2010) nur bereits bestehendes Ackerland genutzt. Das zweite Szenario beruht auf Searchinger et al. (2008) und ergibt einen durchschnittlichen Wert für Landnutzungsänderungen von ca. 212 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> Sojaextraktionsschrot.

### Ergebnisse und Diskussion

Im Jahr 2009 wurden in Deutschland 3,6 Mio. t Sojaextraktionsschrot eingesetzt, davon 2,3 Mio. t aus Brasilien, 0,7 Mio. t aus Argentinien, 0,4 Mio. t aus den USA und 0,2 Mio. t aus sonstigen Ländern. Der Energieeinsatz für brasilianisches SES beträgt 3,3 GJ t<sup>-1</sup>, die THG-Emissionen aus dem Energieeinsatz und den Lachgasemissionen betragen 377 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>, für SES aus Argentinien wurden 4,1 GJ t<sup>-1</sup> und 456 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> und für in den USA produziertes Sojaextraktionsschrot 1,7 GJ t<sup>-1</sup> und 272 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> berechnet. Anhand der Relation der SES-Importe werden für eine Tonne in Deutschland eingesetzten Sojaschrots im Mittel 3,3 GJ fossile Energie und 383 kg CO<sub>2</sub>eq angenommen. Bezieht man durch Landnutzungsänderungen entstandene Treibhausgasemissionen aus den Szenarien nach FAO (2010) und Searchinger et al. (2008) mit ein, ergeben sich Gesamtemissionen von 597 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> (Searchinger et al. 2008) bis 2.660 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup> (FAO 2010). Die Landnutzungsänderungen sind somit ein wesentlicher Faktor bei der THG-Bilanzierung. Je nach Anbauregion und Szenario (Art und Umfang der Landnutzungsänderungen), aber auch in Abhängigkeit vom gewählten methodischen Ansatz ergeben sich sehr unterschiedliche THG-Flüsse.

Der Energieeinsatz und die THG-Emissionen von Sojabohnen (ohne Landnutzungsänderung) beträgt im Mittel unserer Untersuchungen 5,8 GJ t<sup>-1</sup> bzw. 702 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>. Die Ergebnisse liegen in einem Bereich, den auch andere Autoren ermittelt haben (1,2 – 8,0 GJ t<sup>-1</sup>, bzw. 241 – 943 kg CO<sub>2</sub>eq t<sup>-1</sup>).

Weitere Arbeiten können die Qualität der Ergebnisse verbessern, indem durch eine Systemgrenzenerweiterung auf ein Allokationssystem verzichtet wird. Zusätzlich ist eine Verbesserung der Ergebnisqualität durch lokal gewonnene Daten zum Anbau in den jeweiligen Herkunftsländern und zum entstehenden Landnutzungswandel zu erreichen. Die Ergebnisse liefern die Grundlage für weiterführende Arbeiten bei der Bewertung von Importfuttermitteln.

### Literatur

- FAO 2010: Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. A Life Cycle Assessment. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom.
- Hülsbergen, K.-J. 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker-Verlag, Aachen.
- Searchinger, T.; R. Heimlich; R. A. Houghton; F. Dong; A. Elobeid; J. Fabiosa; S. Tokgoz; D. Hayes und T.-H. Yu 2008: Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. Science 319: 1238-1240.

Weiterführende Literatur kann auf Nachfrage genannt werden.

## **Sojaanbau in Baden Württemberg - Welche Sorten eignen sich für den heimischen Anbau?**

Stauß B.<sup>1</sup>, Pekrun C.<sup>1</sup>, Recknagel J.<sup>2</sup> und Wilbois K.-P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU); <sup>2</sup>Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Außenstelle Müllheim. <sup>3</sup>Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL). E-Mail: carola.pekrun@hfwu.de

### **Einleitung**

In der menschlichen und tierischen Ernährung in Deutschland hat Soja als wichtiger Eiweißlieferant inzwischen einen hohen Stellenwert eingenommen. Der enorme Bedarf wird momentan nahezu ausschließlich über Importe aus Übersee gedeckt. Eine teilweise Entschärfung der Importabhängigkeit könnte durch den heimischen Sojaanbau erzielt werden. Um die Anbauwürdigkeit der Sojabohne weiter zu verbessern, bedarf es jedoch angepasster Sorten und geeigneter pflanzenbaulicher Maßnahmen. In dem deutschlandweiten interdisziplinären Forschungsprojekt „Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland durch züchterische Anpassung und pflanzenbauliche Optimierung“ wird nach geeigneten Sorten für ein großes Spektrum an Anbauverhältnissen gesucht. Bearbeitet wird das Vorhaben von einem Konsortium bestehend aus FiBL Deutschland und FiBL Schweiz, dem Sojaförderring am Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg, der Fachhochschule Osnabrück, der Georg-August-Universität Göttingen, dem Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz am Julius Kühn-Institut (JKI), der Life Food GmbH, Naturland, der Universität Hohenheim und der Universität Kassel. Die Gesamtkoordination des Forschungsvorhabens liegt beim FiBL Deutschland. Als exemplarischer Versuch sind im Folgenden die Ergebnisse mit 14 Sojasorten vom Standort Tachenhausen in Südwestdeutschland dargestellt.

### **Material und Methoden**

Auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Hofgut Tachenhausen (20 km südlich von Stuttgart: 360 m ü NN, 10 °C Jahresdurchschnittstemperatur, 840 mm Jahresniederschlag, Parabraunerde aus Löß) der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen wurde 2011 ein Sortenversuch mit Sojasorten aus vier Reifegruppen angelegt. Die sehr frühen (0000/000) und frühen Sorten (000) wurden blockweise getrennt von den mittelfrühen (000/00) und mittelspäten (00) Sorten angebaut, um gegebenenfalls die Ernte zu zwei Terminen durchführen zu können. Der Versuch wurde mit vier Wiederholungen angelegt. Die Saat erfolgte nach vorangegangener Impfung des Saatguts mit High Stick am 15.04.2011 mit einer Aussaatstärke von 65 Körnern m<sup>-2</sup> (Parzellengröße 7 m x 2,50 m). Die Unkrautkontrolle wurde manuell durchgeführt. Es erfolgte kein chemischer Pflanzenschutz. Am 04.10.2011 wurde der Versuch einheitlich beerntet. Die Daten wurden nach Überprüfung auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) und Varianzhomogenität (Levene-Test) einer Varianzanalyse unterzogen. Dieser schloss sich ein Mittelwertsvergleich (Tukey-B Test) an.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Alle Sorten wurden bei akzeptabler Kornfeuchte gedroschen, die nur eine geringe Nachtrocknung für die Lagerung (Lagerung bei 9 % Feuchte) erfordert hätte (Tab. 1).

Zwischen den Reifegruppen bestanden deutliche Unterschiede im Kornertrag. Über die mittelspäten (46,3 dt ha<sup>-1</sup>) und mittelfrühen (43,9 dt ha<sup>-1</sup>) Reifegruppen wurden im Mittel deutlich höhere Erträge erzielt als über die frühen (41,9 dt ha<sup>-1</sup>) und sehr frühen Sorten (32,3 dt ha<sup>-1</sup>). Die mittelfrühe Sorte ES Mentor erzielte hierbei den höchsten Kornertrag, die sehr frühe Sorte Bohemians den weitaus niedrigsten.

Bei der auf hohen Proteingehalt gezüchteten Sorte Protina wurden mit 47,8 % die höchsten Proteingehalte festgestellt. Die Sorten Bohemians, Merlin, Lissabon, Cordoba und Opaline wiesen mit Proteingehalten um 40 % die geringsten Werte auf.

Damit ergab sich in dem dargelegten Versuch ein ähnliches Bild wie in den Versuchen von *Hofer et al. (2009)* in Ostösterreich. Möglicherweise sind die Ergebnisse 2011 aufgrund des sehr warmen Herbstes allerdings als Sonderfall zu sehen. Die weiteren Versuchsjahre werden zeigen, inwiefern mittelfrühe und mittelspäte Sojasorten an Standorten Südwestdeutschlands mit ähnlichem Klima wie Tachenhausen anbauwürdig sind.

**Tab. 1:** Kornerträge, Erntefeuchte und Proteingehalt im Soja-Sortenversuch auf dem Hofgut Tachenhausen 2011. Kleinbuchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Sorten bei p= 0,05 (Tukey-B).

<b>Sojasorte</b>	<b>Reifegruppe</b> (0000=sehr früh, 00= mittelspät)	<b>Kornertrag</b> (dt TM ha <sup>-1</sup> )	<b>Kornfeuchte</b> (%)	<b>Proteingehalt</b> (%)
<b>Bohemians</b>	000/0000	32,3 <b>h</b>	13,0	39,4 <b>d</b>
<b>Merlin</b>	000	41,4 <b>fg</b>	12,6	40,1 <b>d</b>
<b>Aligator</b>	000	45,5 <b>c</b>	12,6	42,4 <b>c</b>
<b>Lissabon</b>	000	43,7 <b>cdef</b>	12,5	40,1 <b>d</b>
<b>Aveline</b>	000	35,1 <b>h</b>	12,2	43,9 <b>b</b>
<b>Petrina</b>	000	45,3 <b>cd</b>	12,8	42,5 <b>c</b>
<b>Daccor</b>	000/00	44,7 <b>cde</b>	13,6	43,4 <b>bc</b>
<b>Protina</b>	000/00	41,6 <b>efg</b>	12,3	47,8 <b>a</b>
<b>Cordoba</b>	000/00	42,1 <b>defg</b>	13,4	40,3 <b>d</b>
<b>Opaline</b>	00/000	46,5 <b>bc</b>	13,0	40,5 <b>d</b>
<b>ES Mentor</b>	00/000	49,7 <b>a</b>	12,2	44,7 <b>b</b>
<b>Sigalia</b>	00	48,8 <b>ab</b>	12,2	44,2 <b>b</b>
<b>Primus</b>	00	39,7 <b>g</b>	12,9	47,2 <b>b</b>
<b>Sultana*</b>	00	44,0	14,0	42,2 <b>c</b>

\*Bei der Sorte Sultana keine Varianzhomogenität für Ertrag und Kornfeuchte, deshalb nur Angabe des Mittelwerts.

## Literatur

Hofer, M., Schweiger, P., Putz, B., Hartl, W. 2009: Produktivität verschiedener Sojasorten im ostösterreichischen Anbaubereich. 10. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, ETH Zürich: S. 253-254.

## Eignung von *Bradyrhizobien*-Impfpräparaten zur Inokulation von Sojabohnen

Steffi Zimmer<sup>1,3</sup>, Monika Meßmer<sup>2</sup>, Thorsten Haase<sup>3</sup>, Anke Mindermann<sup>3</sup>, Hannes Schulz<sup>3</sup>, Klaus-Peter Wilbois<sup>4</sup> und Jürgen Heß<sup>3</sup>

1.Institut für Biologische Landwirtschaft und Agrarkultur Luxemburg (IBLA), Munsbach;  
2Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick; 3Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau (FÖL), Universität Kassel, Witzenhausen; 4Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frankfurt. E-Mail: zimmer@ibla.lu

### Einleitung

Wie jede andere Leguminose, kann auch die Sojabohne (*Glycine max* (L.) Merr.) mit Hilfe von Soja-spezifischen Knöllchenbakterien (*Bradyrhizobium japonicum*) Luft-Stickstoff binden. Da die *Bradyrhizobien* natürlicherweise nicht in den mitteleuropäischen Böden vorkommen, müssen die Samen der Sojabohne mit kommerziell verfügbaren *Bradyrhizobien*-Impfpräparaten inokuliert werden. Beim Anbau hat sich in den letzten Jahren jedoch gezeigt, dass die Inokulation vor allem in kühleren Klimaten bei einzelnen Präparaten zu unzuverlässiger Knöllchenbildung und damit ungenügender Stickstoffbindung führen kann. Ziel dieser Arbeit ist es, die Eignung kommerziell verfügbarer *Bradyrhizobien*-Impfpräparate zur Inokulation der Sojabohne zu prüfen.

### Material und Methoden

Der Versuch wurde 2011 auf der „Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen“ dem Lehr- und Versuchsgut der Universität Kassel (51,4°N, 9,4°O, 240 m ü. NN, Jahresdurchschnitt 650 mm, 8,5°C, Bodenart: mittlerer toniger Schluff, ökologisch bewirtschaftet seit 2001) als Spaltanlage (Großteilstück: Impfpräparat; Kleinteilstück: Sorte) mit vier Wiederholungen angelegt. Es wurden drei frühreife Sojabohnen-Sorten (Merlin, Bohemians, Protina) mit vier kommerziell verfügbaren *Bradyrhizobien*-Impfpräparaten (Produkte 1 bis 4) und einer unbehandelten Kontrolle auf einem Feld getestet auf dem bisher keine Soja angebaut wurde. Die Sojabohnen wurden am 28.4.2011 mit 65 Körnern/m<sup>2</sup> in einer Reihenweite von 37,5 cm ausgesät und am 5.10.2011 geerntet. Es wurden zwei Knöllchenbonituren (Knöllchenzahl pro Pflanze) durchgeführt: Die erste Bonitur sechs Wochen nach Aussaat (BBCH 13) und die zweite zum Blühende (BBCH 69). Neben dem Ertrag (dt/ha bei 91% TM), wurde der Rohproteingehalt (%N bei 100% TM) mittels NIRS ermittelt.

### Ergebnisse und Diskussion

Die statistische Auswertung des ersten Versuchsjahres am Standort Frankenhausen belegte die Wechselwirkung von Impfpräparat und Sorte hinsichtlich des Merkmals Ertrag (Tab.1).

**Tab. 1:** Ertrag (dt/ha bei 91% TM). Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben (a,b,c: Sorten; A,B,C,D: Impfpräparat) unterscheiden sich signifikant bei p<0.05.

	Kontrolle	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3	Produkt 4
<b>Merlin</b>	D 21,6 c	C 21,1 c	B 28,1 c	B 30,8 c	A 31,8 b
<b>Bohemians</b>	C 17,5 b	C 19,5 b	B 26,6 b	B 25,8 b	A 26,8 b
<b>Protina</b>	C 16,9 a	C 17,6 a	B 25,2 a	B 25,9 a	A 28,8 a

Der Ertrag von den mit Produkt 1 geimpften Sojabohnen unterschied sich nicht signifikant von dem der Kontrolle. Produkt 4 führte zu den höchsten Erträgen, gefolgt von Produkt 3 und Produkt 2. Die Sorte Merlin erzielte die höchsten Erträge, gefolgt von den Sorten Bohemians und Protina.

Bezüglich des Rohproteingehaltes der Sojabohnen lagen ebenfalls signifikante Wechselwirkungen vor (Tab. 2). Produkt 4 führte zu den höchsten Proteingehalten, während Produkt 2 und Produkt 3 sich in ihrer Wirkung nicht unterschieden. Produkt 1 führte mit Ausnahme der Sorte Merlin zu keinem absicherbaren Unterschied im Vergleich zur Kontrolle. Höchste Proteingehalte erzielte die Sorte Protina, gefolgt von der Sorte Bohemians und Merlin.

**Tab. 2:** Rohprotein (% N bei 100%TM). Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben (a,b,c: Sorten; A,B,C,D: Impfpräparat) unterscheiden sich signifikant bei  $p < 0.05$ .

	<b>Kontrolle</b>	<b>Produkt 1</b>	<b>Produkt 2</b>	<b>Produkt 3</b>	<b>Produkt 4</b>
<b>Merlin</b>	D 26,7 c	C 27,7 c	B 35,6 c	B 35,7 c	A 38,0 b
<b>Bohemians</b>	C 31,4 b	C 31,9 b	B 37,2 b	B 37,3 b	A 38,9 b
<b>Protina</b>	C 34,9 a	C 35,8 a	B 42,0 a	B 41,7 a	A 43,9 a

Zum ersten Boniturtermin zeigte sich eine signifikante Wirkung der Sorte auf die Knöllchenzahl pro Pflanze (Tab. 3). Die Sorte Merlin bildete statistisch absicherbar weniger Knöllchen als die Sorten Bohemians und Protina.

**Tab. 3:** Knöllchenzahl pro Pflanze zum ersten Boniturtermin (6 Wochen nach Aussaat). Mittelwerte mit verschiedenen Kleinbuchstaben unterscheiden sich signifikant bei  $p < 0.05$ .

<b>Sorte</b>	<b>Knöllchenzahl / Pflanze</b>
<b>Merlin</b>	5,51 b
<b>Bohemians</b>	6,90 a
<b>Protina</b>	6,82 a

An beiden Boniturterminen hatte das Impfpräparat einen Einfluss auf die Knöllchenzahl pro Pflanze (Tab.4), dabei wiesen die mit Produkt 4 geimpften Sojabohnen die höchste Knöllchenzahl auf.

**Tab. 4:** Knöllchenzahl pro Pflanze zum ersten Boniturtermin BBC13 und zweiten Boniturtermin BBCH69. Mittelwerte mit verschiedenen Großbuchstaben unterscheiden sich signifikant bei  $p < 0.05$ .

<b>Impfpräparat</b>	<b>Kontrolle</b>	<b>Produkt 1</b>	<b>Produkt 2</b>	<b>Produkt 3</b>	<b>Produkt 4</b>
<b>BBCH13</b>	0,0	0,2	B 5,9	B 5,3	A 8,0
<b>BBCH69</b>	0,0	0,3	B 12,8	B 5,3	A 8,0

Die Knöllchenzahl pro Pflanze war positiv mit  $r_S = 0.75$  mit dem Ertrag und mit  $r_S = 0.78$  mit dem Proteingehalt korreliert (Rangkorrelation  $P < 0.01$ ). Produkt 1 bewirkte im ersten Versuchsjahr bei allen Sorten eine unzureichende Knöllchen-, Protein- und Ertragsbildung. Produkt 4 wies die höchste Knöllchenzahl pro Pflanze auf und erzielte den höchsten Rohproteingehalt. Hingegen erzielte Produkt 4 die höchsten Erträge, wobei Produkt 4 sich nicht nachweisbar von Produkt 3 unterschied. Beide Produkte unterscheiden sich sowohl im Bakterienstamm als auch in der Formulierung. Diese Ergebnisse werden an weiteren Standorten über insgesamt drei Jahr verifiziert, um konkrete Empfehlungen für die Landwirte geben zu können.

Mit der Unterstützung des Fonds National de la Recherche, Luxemburg und des Bundesprogramms zur Förderung des Ökologischen Landbaus und anderer Formen der nachhaltigen Landwirtschaft (BÖLN) im Rahmen des Projekts „Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland durch züchterische Anpassung und pflanzenbauliche Optimierung“ ([www.sojainfo.de](http://www.sojainfo.de)).

## Untersuchung eines Vorquellverfahrens hinsichtlich des Einflusses auf Keim- und Jugendentwicklung bei Soja (*Glycine max*)

Zurheide, T., Vergara, M. E., Ols, H-W. und Trautz, D.

Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur. E-Mail: tim.zurheide@hs-osnabrueck.de

### Einleitung und Zielsetzung

Aufgrund des hohen Sojabedarfs nach regional produzierter, gentechnikfreier Ware (TAIFUN 2012), besteht seitens der Landwirtschaft Interesse, die Anbauflächen auch in bisherige Ungunstlagen auszuweiten. Da auf Grund der hohen Temperaturansprüche der Sojabohne die gesicherte Abreife in Norddeutschland (Standort Osnabrück) nicht verlässlich stattfindet (HÜSING et al. 2011), wurde mit zwei Versuchsansätzen untersucht, inwiefern ein Vorquellen vor der Aussaat die Vegetationszeit der Sojabohne verkürzen kann.

### Methodik

Die Untersuchungen wurden im Jahr 2011 an der HS- Osnabrück durchgeführt. Angelegt worden ist ein Petrischalenversuch mit den Sorten Protina und Cordoba sowie den Vorquellvarianten 0, 2, 4, 6, 8, 10 Std, mit jeweils 10 Bohnen pro Variante in vierfacher Wiederholung. Während der zehntägigen Versuchsdauer wurden sowohl Keimungsverhalten als auch -geschwindigkeit bonitiert.

Parallel dazu ist im Gewächshaus ein Topfversuch (Ackerboden, IS) durchgeführt worden. Zusätzlich dazu wurden drei unterschiedliche Bodenwasserkapazitäten (20, 40, 60% Wasserkapazität) in den Töpfen eingestellt. Die Versuchsdauer betrug 21 Tage, bonitiert wurde die Auflaufgeschwindigkeit der Sojabohnen.

### Ergebnisse

Keimrate und -geschwindigkeit der vorgequollenen Varianten (4 bzw.6 Std.) im Petrischalenversuch waren am zehnten Versuchstag im Vergleich zu den nicht vorgequollenen Varianten signifikant höher (Abb. 1), in den anderen Varianten zeigten sich entsprechende Tendenzen (nicht dargestellt). Die Gesamtkeimrate am zehnten Versuchstag betrug bei der Kontrolle 83,75%, bei den vorgequollenen Varianten (4 und 6 Std.) 98,75%. Die verbleibenden Bohnen zeigten keine Keimungstendenz und wurden als keimunfähig eingestuft.

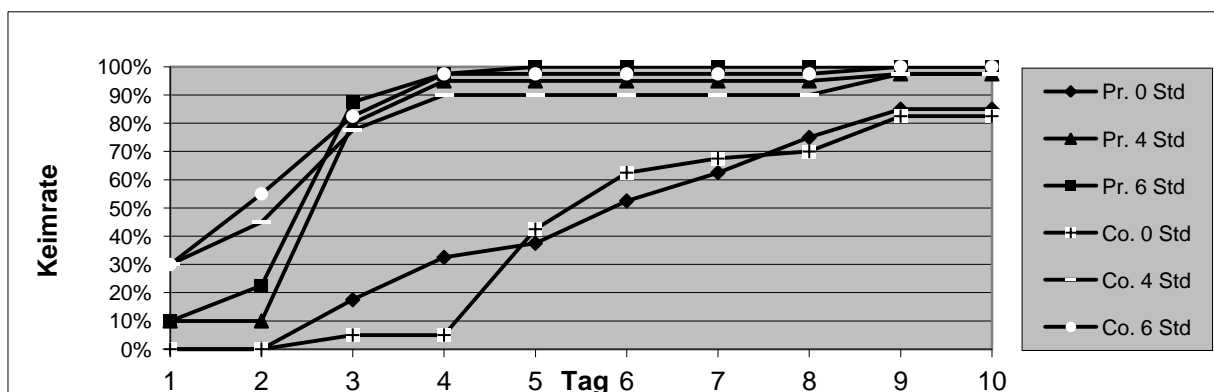


Abb. 1: Keimrate der Sojabohnensorten Protina (Pr.) und Cordoba (Co.) bei verschiedenen Vorquellzeiten (Labor, GD 4,1)

Im Topfversuch differierten die Auflaufraten nach 21 Tagen je nach WK und Vorquellzeit deutlich. In allen Varianten war die Auflaufrate der nichtvorgequollenen

Varianten signifikant höher als die der vorgequollenen (Tab.1). Absehen von den Varianten Protina, 40% WK und Cordoba, 60% WK konnten die höchsten Auflaufraten bei der Vorquellvariante 4 Std. beobachtet werden. Die nach 21 Tagen nicht aufgelaufenen Bohnen zeigten keine Keimungstendenzen und wurden als keimunfähig bonitiert.

**Tab. 1:** Auflaufrate der Sojabohnen bei unterschiedlichen Wasserkapazitäten (WK) und Vorquellzeiten am 21. Versuchstag (Versuchsende)

Vorquellzeit	0 Std	2 Std	4 Std	6 Std	8 Std	10 Std
<b>20 % BWK</b>						
Protina	77,5	47,5	65,0	35,0	55,0	40,0
Cordoba	85,0	62,5	82,5	60,0	67,5	60,0
<b>40 % BWK</b>						
Protina	97,5	70,0	62,5	65,0	65,0	52,5
Cordoba	92,5	80,0	87,5	77,5	80,0	70,0
<b>60 % BWK</b>						
Protina	70,0	50,0	65,0	60,0	57,5	40,0
Cordoba	77,5	60,0	62,5	65,0	55,0	55,0

BWK=Bodenwasserkapazität

### Diskussion und Fazit

Während beim Vorquellen in der Petrischale signifikante Vorteile für die Vorquellvarianten 4 und 6 Std. hinsichtlich der Keim- und Jugendentwicklung dokumentiert wurden, war dies im Topfversuch nicht der Fall. Auch die Gesamtaufaufraten aller Varianten waren im Topfversuch deutlich geringer als im Laborversuch.

Da die Keimung als komplexer Vorgang nicht nur von der Feuchtigkeit (Keimling/Boden) und Temperatur, sondern auch von anderen Umweltfaktoren beeinflusst wird, können die Ergebnisse aus dem Labor ohne genauerer Kenntnis dieser Wechselwirkungen nicht unmittelbar auf die Aussaat im Boden übertragen werden. Weitere Untersuchungen müssen folgen.

### Förderung

Die Untersuchung wurde dankenswerterweise im Rahmen des Verbundprojektes „Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland durch züchterische Anpassung und pflanzenbauliche Optimierung (BÖLN -2809OE081)“ gefördert.

### Literatur

HÜSING, B., SCHLIEPHAKE, U., HAASE, T., MINDERMAN, A., TRAUTZ, D., HEß, J. (2011): Sortenprüfung frühabreiferer Sojabohnensorten im ökologischen Landbau.

TAIFUN (2012): <http://www.taifun tofu.de/de/sojaanbau>, 26.06.2012

## Autorenverzeichnis

Alpmann D.....	322	Dittmann B.....	164, 166
Amthauer Gallardo D.....	108	Dobers E.S. ....	174, 314
Andres M. ....	84	Drabkin D.....	236
Andruschkewitsch M.....	212	Drastig K.....	94
Antar P.M.....	140	Duchon B.....	214
Appel T. ....	74, 88	Duensing R.....	275
Arndorfer M.....	70	Eichler-Löbermann B. ....	122, 324
Augustin J.....	84, 104, 184	Eiler T. ....	82
Bargmann I.....	60	El Jellouli A. ....	106
Barkusky D. ....	102	Ellerbrock R.H.....	66
Baumecker M.21, 94, 138, 162, 240, 270		Ellmer F.21, 92, 94, 138, 162, 240, 266, 270, 287	
Beck R. ....	80	Emeis N. ....	90
Bender J. ....	279	Enders M. ....	279
Bergner T.....	164, 166	Erbs M. ....	146, 275, 279
Bianka Hüsing B. ....	329	Erekul O.....	287
Billen N. ....	202	Ewert F. ....	142, 244, 277, 297, 298
Bischoff W.-A.....	56	Fangmeier A. ....	268
Biskupek-Korell B. ....	114	Fellenberg T.....	285
Blascke H. ....	220	Fiedler K. ....	275
Blum B.....	106	Fier A. ....	82
Böhm H.....	124, 136, 170, 325	Figueiredo A.M.R.....	320
Bosak V. ....	204	Fischer H. ....	114
Böttcher J. ....	82	Fischer J.....	124, 325
Böttcher U.....	172, 176, 306	Flenet F. ....	172
Brandhuber R. ....	80, 170	Fließbach A.....	5
Brandt C. ....	122	Formowitz B.....	80
Braun J. ....	322	Förster K.....	156
Brock C.....	64, 68, 198	Fox C.A.....	102
Brozio S.....	96	Frank H.....	337
Bruns C.....	170	Franko U.....	64, 102
Bruun S.....	86	French W.T.....	224, 232
Bühle L. ....	25, 160, 218	Freyer B. ....	190
Burghardt B. ....	275	Fricke T.....	116
Burkhardt J. ....	275	Friedel J.K.....	190
Burmeister J. ....	80	Füger M. ....	214
Busch S. ....	324	Fuhrmann K.....	206
Chen Q. ....	304	Gäbert T.....	21, 162, 240
Chen S.....	29	Gajić A. ....	32
Chmelikova L.....	194	Ganz C. ....	88
Christel W.....	86	Gaudchau M. ....	118
Christen O. ....	230	Gauder M.....	36
Claupein W.152, 168, 202, 214, 224, 232, 257, 260, 274, 302, 304, 308, 327		Geib B.....	150
Couwenberg J. ....	13	Geipel J. ....	260, 274
Deller B.....	110	George C. ....	62
Demmel M. ....	170	Gerlach F.....	102
		Giebels M.....	184
		Gierus M. ....	132



Giesemann A.....	268, 279	Isselstein J.....	192
Götze H. ....	166	Jacobs A.....	196
Grabendorfer S.....	262	Jacobs O.....	312
Graeff-Hönninger S.214, 224, 232, 302, 308		Jeanneret P. ....	70
Graß R.....	112, 160, 178, 216	Jensen L.S.....	86
Greef J.M.....	60	Jerrentrup J.S. ....	192
Grimes S.....	302	Joosten H.....	13
Gröblinghoff F.-F. ....	180	Joschko M.....	102
Gronle A. ....	136, 170	Jung R. ....	264
Grosse M. ....	182	Jurisch N.....	184
Gruber H.....	154	Kaemena F. ....	192
Gruber S.....	152, 168, 304, 327	Kage H.130, 172, 176, 251, 253, 277, 300, 306	
Gutsal V.....	308	Kainz M.....	70, 72, 228, 262
Haase T.....	182, 329, 341	Kamrath G. ....	76
Habekuß A.....	279	Kaul H.-P. ....	148, 331, 332
Häberle K.-H.....	220	Kaupenjohann M.....	1
Hagemann U. ....	84, 104	Kautz T. ....	140
Hamacher M.....	242	Kempken S. ....	106
Hartmann A. ....	238	Kern A.....	245
Haßdenteufel M. ....	82	Kersebaum K.-C. ....	178
Haubold-Rosar M. ....	226	Khalsa J.....	40
Heimerl D.....	88	Kilian B. ....	279
Heinrich J.....	186	Kirsten F. ....	186
Heinzinger M. ....	190	Kivelitz H.....	180
Hejzman M. ....	194	Klepatzki J. ....	266
Hensgen F.....	218	Klingebiel L. ....	160
Hermann L.....	258	Knapwost C. ....	114
Hermann W. ....	202	Knebl L. ....	198
Hernandez R. ....	224, 232	Knorre S.....	156
Herz P.....	148, 332	Koblenz B. ....	230
Herzog F.....	70	Koch H.-J.....	78, 188, 196, 316
Herzog H. ....	272	Kohler C.....	214
Heß J.....	182, 329, 341	Kolbe H.....	64
Heumann S.....	82	Kölsch E.....	182
Hierold W.....	66	Köpke U.....	140, 150
Hinck S. ....	90	Kottmann L. ....	268
Hoffmann C. ....	144, 293, 300	Krieger J. ....	138, 270, 272
Hoffmann M.....	184	Kroschewski B. ....	138, 164, 166
Hofmann B.....	230	Kücke M.....	60, 62, 76
Honermeier B.118, 120, 222, 258, 289, 310, 318		Kuka K. ....	64, 102
Höper H. ....	82	Kupisch M.....	142, 298
Huber J.....	220	Küpper P.M.....	140
Hubert S. ....	283, 312, 333	Lamerre J.....	230
Hüging H.....	244	Landgraf A. ....	126
Hülsbergen K.-J.70, 72, 194, 220, 228, 337		Langensiepen M. ....	142, 298
Isermann K. ....	100	Laser H. ....	180
Isermann R.....	100	Leithold G. ....	64, 68, 158, 198, 210
		Lemme H. ....	78, 188
		Leschhorn B.....	222

Lilienthal H.....	268	Perkons U.....	150
Link W.....	331	Petersen U.....	44
Link-Dolezal J. ....	257, 274	Pfenning J.....	56, 202, 308
Loel J.....	144	Pflaum S.....	312
Loges R. ....	242	Phukdeecheon W. ....	74
Lu J.....	304	Pohl M. ....	84, 104
Lüscher G.....	70	Präger A.....	214
Lütke Entrup N.....	180	Prochnow A. ....	94
Lux G.....	128, 170	Rademacher A.....	226
Magid J.....	86	Rampin E.....	172
Maginot K. ....	327	Ratjen A. M.....	48
Maidl F.-X. ....	245, 255	Rauber R. ....	98, 264, 285
Makary T.....	247, 249	Recknagel J.....	335, 339
Manderscheid R. ....	146, 251, 275, 277	Reddersen B.....	116
Massucati L. ....	150	Reents H.J.....	72, 228, 262
Mast B. ....	224	Reinhold J.....	64, 102
Meinen C. ....	98	Reinsdorf E. ....	316
Merker C.....	291	Ren T.....	304
Merkt N.....	224, 232, 308	Richter N.....	268
Meßmer M. ....	341	Rillig M.C. ....	62
Meyer-Aurich A.....	94	Rogasik J.....	102
Mindermann A. ....	329, 341	Röhle H.....	108
Mitterbauer E.....	279	Rohn S.....	322
Mohamed S. ....	120	Roß C.-L. ....	287
Morhard J. ....	202	Rücknagel J.....	230
Mueller K. ....	90	Russo M.....	289
Müller J.....	277	Santos da Costa R.M.G.....	320
Müller T.....	58, 247, 249	Sayer J. ....	266
Muskolus A.....	270	Schäbitz B.....	192
Nägele M. ....	198	Schäfer A.....	13
Neeteson J. ....	9	Schäfer B.C. ....	291, 322
Nendel C.....	320	Schäfer W.....	82
Neugschwandtner R. ....	148, 331, 332	Schatz T.....	96
Neukam D.....	176	Schittenhelm S.....	268
Ni K.....	130	Schmid H. ....	190, 194, 220
Niggli U.....	5	Schmidke K.....	126
Nitzsche O.....	186	Schmidt W. ....	164, 166, 186, 281, 333
Nußbaumer H.....	335	Schmidtke K.....	128, 134, 170
Nyord T.....	253	Schmitt A.-K.....	230
Oberholzer H.-R. ....	64	Schneider C.....	114
Olfs H-W.....	343	Schneider T. ....	232
Ordon F. ....	279	Schnell S.....	120
Pacholski A.....	130, 251, 253	Schnepel K. ....	293
Paeßens B.....	251	Schulz F.....	68
Pallutt B. ....	295	Schulz H. ....	132, 329, 341
Paoletti M.....	70	Schulz R. ....	247, 249
Papaja-Hülsbergen S. ....	70	Schumacher A. ....	106
Patzel N.....	200	Schütze W. ....	132
Pekrun C.....	247, 249, 281, 283, 312, 333, 339	Schwarz A.....	56
		Schwarz J. ....	295

Schweigmann M. ....	132	Vergara M.E.....	329, 343
Seelig J.....	74	Wachendorf C.....	212
Seidel A. ....	253	Wachendorf M.112, 116, 160, 178, 212, 216, 218	
Shafiee Hajiabad M. ....	318	Walter R.....	80
Siebert S.....	244, 277, 297	Wartenberg S.....	114
Siebrecht N.....	70, 72	Weber E.A. ....	152, 304
Sieling K. ....	306	Wedlich K.....	106
Simon R.....	337	Weigel H.-J. ....	146, 251, 275, 277, 279
Sommer H. ....	158, 210	Weinfurtner K.....	236
Sommer M.....	104	Weiß K.....	312
Spicker A. ....	255	Westerschulte M. ....	106
Spuhler M. ....	304	Weyer T. ....	106
Stadler A.....	142, 298	Weymann W. ....	306
Stang S.....	66	Wichmann S. ....	13
Starke P.....	52	Wichtmann W. ....	13
Stauß B.....	312, 339	Wilbois K.-P.....	335, 339, 341
Steinmann H.-H. ....	314	Wild M.....	170
Stephan H.....	300	Wilde P. ....	268
Stieber J. ....	134	Wittich K.-P. ....	268
Stockmann F. ....	234	Wolf S. ....	308
Stolzenburg K. ....	110	Wolfrum S. ....	70
Stülpnagel R. ....	112, 160, 216	Yan F. ....	258
Surböck A. ....	190	Yan Z. ....	304
Taube F. ....	132, 242	Zecha C. ....	257, 274
Teufel F. ....	168	Zeller S. ....	310
Thies B. ....	178	Ziegler K. ....	331
Tischer S. ....	230	Zielinski C. ....	106
Tonn B.....	192	Zikeli S.....	168, 308, 327
Trautz D.....	329, 343	Zimmer J.....	92, 164, 166
Trost B.....	94	Zimmer S. ....	341
Tscharntke T.....	17	Zimmermann C. ....	281, 312, 333
Übelhör A.....	202	Zurheide T. ....	343
Ulonska H.-J. ....	208		
Veh C. ....	302		