
130. VDLUFA-KONGRESS



**Digitalisierung in Landwirtschaft,
Versuchs- und Untersuchungswesen –
Anforderungen und Auswirkungen**

18. bis 21. September 2018
Westfälische Wilhelms-Universität
Münster

Kongressband

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstalten



Der Kongress wurde durchgeführt in Zusammenarbeit mit



WWU
MÜNSTER

Institut
für
Lebensmittelchemie



Landwirtschaftskammer
Nordrhein-Westfalen

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V.



Kongressband 2018 Münster

Vorträge zum Generalthema:

Digitalisierung in Landwirtschaft, Versuchs- und Untersuchungswesen – Anforderungen und Auswirkungen

VDLUFA-Schriftenreihe Band 75/2018

VDLUFA-Verlag, Darmstadt

ISBN 978-3-941273-25-2

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

©2018 by VDLUFA-Verlag, Darmstadt

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung vorbehalten.

Herausgeber:

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Obere Langgasse 40, D-67346 Speyer, Telefon: 06232 / 136121, Fax: 06232 / 136122, E-Mail: info@VDLUFA.eu

Redaktionskomitee:

Dr. B. Brand, Prof. Dr. K. Dittert, Dr. B. Killermann, Dr. L. Nätscher, Dr. K. Severin, Prof. Dr. K.-H. Südekum, Dr. M. Leiterer, Prof. Dr. F. Wiesler

Endredaktion:

Dipl.-Ing. agr. S. Berger, Obere Langgasse 40, 67346 Speyer
Telefon: 06232 / 136121, Fax: 06232 / 136122, E-Mail: info@VDLUFA.eu
Dr. S. Kirchhof, Stinkbüdelsbarg 1, D-24363 Holtsee

Herstellerische Betreuung und Layout:

T. Dräger, Obere Langgasse 40, D-67346 Speyer
Telefon: 06232 / 136121, Fax: 06232 / 136122, E-Mail: info@VDLUFA.eu

Die inhaltliche, orthographische und grammatikalische Verantwortung liegt bei den Autoren.

Druck: Wir machen Druck, Stuttgart

Inhalt

Grußworte

Eröffnung und Begrüßung durch den Präsidenten des VDLUFA F. Wiesler	1
Grußwort P. Oswald	4
Grußwort anlässlich des 130. VDLUFA-Kongresses vom 18.-21. September 2018 in Münster J. Dietzel	9
Grußwort anlässlich der Plenartagung des 130. VDLUFA Kongresses am 18. September 2018 in Münster W. Ruland	12
Anforderungen und Auswirkungen der Digitalisierung auf das Untersuchungs- wesen F. Lorenz	15

Workshop

10 Jahre Internationaler Düngemittel-Ringtest der VDLUFA-Fachgruppe Dün- gemitteluntersuchung EU Q/2009-2018 K. Severin, J. Breuer, H. Hartwig, S. Berger, G. Kiesling, R. Neuenfeldt, I. Paradies-Severin	23
Digitalisierung für Futter und Fütterung nutzen! H. Spiekers, M. Schäffler	31
Big Data in der Nutztierhaltung – Potentiale und Grenzen des Nutzens A. Sundrum	39

Pflanzliche Produktion

Amarant als spurenelementreiches Biogassubstrat M. Hartel, F. Lichti, M. Lebuhn, M. Fritz, B. Sauer, C. Bieloch, D. Young, A. Callaghan, L. Neumann, S. Brunner	48
---	----

Ergebnisse eines dreijährigen Düngungsversuches mit Gärresten zu Weizen und Silomais D. Koch, M. Goebel, M.	56
Einfluss einer Ammoniumthiosulfatdüngung auf die Manganverfügbarkeit und Manganaufnahme bei Weizen H. Paul, M. Dreyern, K. H. Mühling	64
Nickel – ein selten beachtetes Spurenelement M. Sager	69
Phosphor-Nachlieferungspotenzial in Ackerböden: Vergleich der Elektro-Ultrafiltration (EUF) mit der Freisetzungsrates nach Flossmann und Richter T. Appel, D. Horn	87
Aneignungsvermögen verschiedener Winterweizen-Genotypen für organisch gebundenes Phosphat J. Falk, M. Heßler, D. Steffens	95
Charakterisierung der Düngewirkung alternativer P-Dünger im Zierpflanzenbau D. Hauck, D. Lohr, D. Horn, E. Meinken, U. Schmidhalter	104
Wirkung differenzierter P-Düngung auf Ertrag, P-Gehalt im Boden, P-Saldo sowie N-Effizienz auf dem Löß-Braunschwarzerdestandort Friemar nach 6 Jahren Versuchsdauer W. Zorn, H. Schröter	112
Entwicklung der P-Versorgung der Unterböden auf Thüringer Acker- und Grünlandstandorten W. Zorn, H. Schröter, S. Wagner, D. Zopf, G. Kießling	120
Zu einer neuen K-Düngerempfehlung für Silomais in den Niederlanden D.-W. Bussink, H. van Schooten, J.C. van Middelkoop, G. Holshof, G. Doppenberg	129
Beregnungsversuch mit GPS-gesteuerter Parzellenberegnung bei neun Ackerbaukulturen A.F. Butz, J. Ott	140
Bestimmung des entwicklungsstadienabhängigen Düngebedarfs bei Winterroggen mittels reflexionsoptischer Messungen M. Strenner, F.X. Maidl, K.-J. Hülsbergen	145
Nährstoffverteilgenauigkeit bei Applikation von zwei Mischdüngern mittels Zentrifugalstreuer A. Borchert, M. Finke, T. Brockmeyer, M. Ströbel-Fröschle, H.-W. Olf ..	153
Wirkung eines Nitrifikationshemmstoffs auf N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen bei bandförmiger Applikation von Gülle und Gärrest in einem Bodensäulenversuch M. ten Huf, H. Pralle, H.-W. Olf	162

Lachgasemissionen auf einem Schwarzerdestandort bei Harnstoffdüngung N. Tauchnitz, F. Eißner, J. Bischoff, O. Christen, T. Kreuter	171
Schätzung der N ₂ -Fixierungsleistung von Sojabohnen und Erbsen in Süddeutschland B. Paeßens, A.F. Butz, G. Salzedo, P. Urbatzka	180
Sind Pflanzenkohlen ein geeigneter Zuschlagstoff in Baums substraten? K. Beck, M. Klemisch	185
Reduzierte Bodenbearbeitung und unterschiedliche Herbizidstrategien bei Sojabohnen B. Paeßens, A.F. Butz	193
Einfluss der Impfung von Sojabohnen mit kommerziellen Bradyrhizobien-Präparaten auf Ertrag und Eiweißgehalt A. F. Butz	197
Wie hat sich die Nährstoffaufnahme von Zuckerrüben bei gestiegenen Erträgen geändert? K. Bürcky, J. Heyn, D. Horn, D. Koch	201
MR digital – Überbetrieblicher Einsatz von informationsgestützter Landtechnik H. Weber, W. Leibfried, H. Fetzer, H. Hengge, H. W. Griepentrog, R. Doluschitz, T. Müller, M. Weis, K. Möller	209
Bewertung von Extraktionsmethoden zur Bestimmung des Aluminiumgehaltes in Baumschulböden am Beispiel von <i>Abies nordmanniana</i> F. Meints, D. Daum, H. Lösing	214
Silizium in der Biosphäre M. Sager	222

Tierische Produktion

Einfluss der Silagebereitung eines Mais-Stangenbohnen-Gemisches auf den Phasingehalt U. Wyss, A. Enggist, D. Brugger	238
Aminosäureprofile von zugekauftem Alleinfutter für Schweine K.-H. Grünwald, A. Heinze, S. Schwick	247
Schätzung der ruminalen Freisetzung von Slow-Release Harnstoff im pansen-saftbasierten in vitro-System Hohenheimer Futterwerttest C. Böttger, A. Fröhlingdorf, K.-H. Südekum	257

Untersuchungen zur Milchharnstoffbestimmung mit MIR-Spektroskopie im Vergleich zu Referenzverfahren T. Jilg, T. Engelhard, C. Koch, M. Pries	264
Untersuchungen zur Futteraufnahme und Zuwachsleistung in der Aufzucht von Fresserkälbern der Rassen Braunvieh und Fleckvieh bei variierender Höhe des Angebots an Milchaustauscher T. Ettle, A. Obermaier, M. Heim	270
Untersuchungen zur Futteraufnahme und zum Energieaufwand von Junggrindern der Rasse Fleckvieh und Holstein L. Gruber, T. Ettle, F.J. Schwarz, B. Fischer, M. Pries, T. Jilg, C. Koch, U. Meyer, H.-J. Kunz, M. Royer, A. Susenbeth	278
Verdaulichkeitsbestimmungen von Totalen Mischrationen mit Hammeln und Milchkühen B. Bothe, L. Steevens, M. Pries, K.-H. Südekum	289
Untersuchungen zur Futteraufnahme tragender und säugender Mutterschafe um den Geburtszeitraum S. Piepenbrink, C. Burau, T. Ravenschlag, K. Gerlach, K.-H. Südekum	297
Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Leistung sowie Gesundheits- und Fruchtbarkeitsparameter von Milchkühen L. Gruber, J. Häusler, A. Haiger, G. Terler, A. Schauer, M. Royer, D. Eingang	305
Vergleich von Klee gras dominierten Rationen mit Maissilage reichen Rationen unter ökologischen Fütterungsbedingungen A. Verhoeven, S. Hoppe, K. Hünting, S. Beintmann, M. Pries	317
Einfluss einer proteinreduzierten Fütterung hochleistender Milchkühe auf Leistungsparameter und Stickstoffausscheidungen M. Pries, S. Hoppe, K.-H. Südekum, M. Baum, M. Bruinenberg	325
Grobfutterleistung von Milchkühen und Futterertrag – Auswertung der Versuchsdaten des Verbundprojekts optiKuh* H. Spiekers, T. Ettle, T. Jilg, B. Kuhla, U. Mohr, M. Pries	334
Unterschiedliche Faserkomponenten im Futter von Zuchtsauen – Auswirkungen auf Futteraufnahme, Lebendmasseentwicklung und Zuchtleistung W. Preißinger, G. Propstmeier, S. Scherb	342
Möglichkeiten und Grenzen der Digitalisierung in der Milchviehhaltung S. Hoy	350
Digitalisierung in der Milchviehhaltung – Überwachung der Ruminat ion vor und nach der Kalbung K. Halli, C. Koch, S. Hoy	358

Akzeptanz des Verfahrens der Gülleansäuerung zur Reduktion von Ammoniakemissionen im Stall und Lager S. Höcherl, F. Lichti	366
Bestimmung des Reinproteingehaltes von Futtermitteln: Vergleich von Trichloroessigsäure und Wolframsäure als Fällungsmittel C. Böttger, F. Dohme-Meier, U. Wyss, K.-H. Südekum	372
Antinutritive Inhaltsstoffe in heimischen Körnerleguminosen und Sojabohnen A. Heinze, S. Dunkel, V. Schulz	377
Zum ruminalen Abbau von Phasinen aus Stangenbohnen (<i>Phaseolus vulgaris</i>) sowie deren Einfluss auf die Gasbildung <i>in vitro</i> D. Brugger, T. Hobmeier, M. Buffler, C. Bolduan, W. Windisch	381
Einfluss von Maiskleberfuttersilage auf Futteraufnahme und Milchleistung von Fleckviehkühen T. Jilg	389
Wirkung einer Mikronisierung bei Rapssaat und Ackerbohnen auf den intraruminalen Rohproteinabbau bei Milchkühen S. Dunkel, H.-J. Alert, P. Wolf	397
Beurteilung der Versorgungslage von Milchkühen anhand der Milchinhaltsstoffe K. Ornetsmüller,, L. Gruber, W. Zollitsch	404
Einsatzpotential von rohen Sojabohnen mit reduziertem Gehalt an Trypsininhibitoren in der Ferkelfütterung W. Wetscherek, R. Puntigam, G. Wetscherek-Seipelt	411
„Demonstration farms“ – ein neuer Ansatz des digitalen Wissenstransfers im Schweinebereich E.-M. Brunlehner, S. Schneider	416

Saatgut

Lässt sich durch Beizung der Feldaufgang und Ertrag bei Sojabohnen (<i>Glycine max</i>) verbessern? B. Voit, B. Killermann	424
Nachweis des Zwergsteinbrands (<i>Tilletia controversa</i>) mittels qPCR M.K. Grundler, S. Sedaghatjoo, M. Sedlmeier, B. Killermann, L. Niessen	429

Analytik

Bewertung, Zertifizierung und Überprüfung der Qualität von Online-Sensoranwendungen bei der Digitalisierung in der Landwirtschaft G. Henkelmann	434
Trennung von Kohlenstoff- und Stickstofffraktionen im Boden mit einer Temperaturrampe F. Alt, A. Loos, L. Lange	442
Bestimmung des Gehalts von Precursor-Substanzen auf PFC-belasteten Versuchsflächen über den TOP-Assay M. Mechler, F.X. Steemann, B. Schneider, K. Müller, T. Nagel, J. Breuer	445
Einsatz von Kaninchenkot als Inokulum im Hohenheimer Futterwerttest D. Jacobs, J. Lenz, K.-H. Südekum, P. Steuer	452
Messunsicherheit bei NIRS-Messungen P. Tillmann	461
ArDB: Eine innovative Datenbank für Analysenergebnisse und Datenvisualisierung F. Alt, S. Barker, K. Taylor, M. Sudnik, M. Seed	467
Bestimmung von Nitrat, Ammonium und Kalium im Pflanzensaft von Baum-schulgehölzen mit Schnelltestmethoden M.-L. Schachtschneider, D. Daum, S. Dinklage, H. Lösing	471
Bestimmung von Chlorid, Nitrat und Sulfat in pflanzlichem Material mittels Ionenchromatographie K. Michels, A. Bauherr	478
Anpassung von Labormethoden für die Online-Bodenuntersuchung im Feld E. Najdenko, C. Neuhaus, F. Lorenz,	487
Bestimmung von Phosphor und Kalium im Doppellaktat (DL)-Auszug von Böden mit optischer Emissionsspektroskopie und induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) K. Weiß, S. Nöther	495
Digitalisierung im Analysenlabor - Beispiele für Anwendungen bei Analyseverfahren und Labororganisation K. Fischer, M. Schuster, G. Strauß	504
Autorenindex; Adressliste der korrespondierenden Autoren	510

Eröffnung und Begrüßung durch den Präsidenten des VDLUFA

F. Wiesler
LUFA Speyer

Meine sehr geehrten Damen und Herren,
ich möchte Sie ganz herzlich auf dem 130. Kongress des Verbandes Deutscher
Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten in Münster
begrüßen.

Münster ist Sitz der LUFA Nordrhein-Westfalen. Insofern überrascht es nicht,
dass der VDLUFA-Kongress schon mehrere Male hier stattgefunden hat. Im
Jahre 1958 widmeten sich die Teilnehmer zum Beispiel dem Generalthema
„Das Atom in der Landwirtschaft“ und ein weiterer Kongress im Jahre 1982 dem
Generalthema „Schwermetalle in der Nahrungskette“. Das ist lange her – und es
wurde Zeit wieder einmal hierher zu kommen.

Ganz herzlich als unsere Ehrengäste willkommen heißen möchte ich nun **Herrn
Dr. Peter Oswald** vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft,
Herrn Dr. Jan Dietzel vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und
Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen und **Frau Dr. Waltraut
Ruland** von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Unsere österreichische Schwesterorganisation ALVA wird in diesem Jahr von
Frau Dr. Heide Spiegel vertreten, die ich ebenso wie alle anderen ausländi-
schen Gäste sehr herzlich willkommen heiße. Mit ihnen begrüße ich die Vertre-
ter aus den Landwirtschaftsministerien und den Behörden des Bundes und der
Länder und ich heiße auch unsere Ehrenmitglieder und korrespondierenden
Mitglieder ganz herzlich willkommen. Nicht zuletzt begrüße ich die Mitglieder
unseres Beirats, so dessen Vorsitzenden, Herrn Dr. Dietrich Pradt.

Auf dem diesjährigen Kongress wollen wir uns dem Generalthema
„**Digitalisierung in Landwirtschaft Versuchs- und Untersuchungswe-
sen- Anforderungen und Auswirkungen**“
widmen.

Wir setzen dabei etwas andere Schwerpunkte als viele auf den auf den ersten Blick ähnliche Veranstaltungen indem wir den Fokus gleichermaßen auf die Landwirtschaft wie auf das Versuchs- und Untersuchungswesen lenken.

Entsprechend haben wir auch die folgende Plenartagung thematisch gestaltet, als deren Referenten begrüße ich ganz herzlich

- **Herrn Peter Hettlich** vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen,
- **Herrn Dr. Wilfried Hermann** von der Universität Hohenheim und
- **Herrn Dr. Frank Lorenz** von der LUFA Nord-West.

Ebenso wie die Referenten des heutigen Nachmittags begrüße ich alle Referenten und Referentinnen, die mit ihren Beiträgen auf den morgigen Workshops sowie in den öffentlichen Sitzungen und Posterpräsentationen zum Erfolg dieses Kongresses beitragen werden. Die Workshops haben wir so gestaltet, dass zunächst ein gemeinsamer Teil mit zwei Vorträgen stattfindet, die alle interessieren sollten, anschließend teilt sich der Workshop in drei Teile für die Pflanzen- und Tierproduzenten sowie die Analytiker.

Für die Durchführung des Kongresses haben wir vielfältige Unterstützung erfahren, wofür ich mich an dieser Stelle ganz herzlich bedanke, schon traditionell beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, das uns finanziell maßgeblich unterstützt und auch die Schirmherrschaft für den Kongress übernommen hat.

Die Durchführung des VDLUFA-Kongresses wäre undenkbar ohne die Unterstützung einer Einrichtung vor Ort. Es ist mir ein besonderes Anliegen, mich in diesem Jahr bei meinem Kollegen, Herrn Dr. Hajo Neumann von der LUFA Nordrhein-Westfalen für die durchgängige Unterstützung während der Vorbereitung und Durchführung des Kongresses zu bedanken. In diesen Dank schließe ich Herrn Dirk Wilke und Herrn Bultmann von Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen ein. Dass wir den Kongress zu vertretbaren Bedingungen am PharmaCampus der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster durchführen können, verdanken wir Herrn Prof. Dr. Hans-Ulrich Humpf, Geschäftsführender Direktor des Instituts für Lebensmittelchemie, den ich ebenfalls ganz herzlich begrüße. Beide, die NUFA NRW der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen als auch das Institut für Lebensmittelchemie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster sind Mitveranstalter des Kongresses.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Firmen, die durch Sponsoring und durch ihre Teilnahme an der Fachausstellung zur Attraktivität und zur Finanzierung des Kongresses beitragen. Bitte nehmen Sie die Gelegenheit wahr, sich durch den Besuch der Stände über das breite Leistungsangebot der Aussteller zu informieren.

Hinweisen möchte ich noch darauf, dass die Pausenverpflegung durch die Alexianer Münster GmbH organisiert wird, deren Träger die Stiftung der Alexianerbrüder ist, die sich seit vielen Jahren um Menschen kümmert, die am Rande der Gesellschaft stehen.

Schließlich möchte ich an dieser Stelle noch erwähnen, dass wir in diesem wie im letzten Jahr eine digitale Umfrage über Ihre Einschätzung des Kongresses durchführen werden. Die letztjährige Umfrage war insgesamt sehr positiv. Aufgrund Ihrer Verbesserungsvorschläge haben wir z.B. organisiert, dass die Kaffeeverversorgung bis zum Ende der Tagung am Donnerstag Nachmittag gesichert ist. Ein anderer Verbesserungsvorschlag war, alle Poster bis zum Ende des Kongresses hängen zu lassen, was ich nur als Bitte an die Teilnehmer weitergeben kann.

Grußwort

P. Oswald

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Bonn

Sehr geehrter Herr Präsident Professor Wiesler,
meine sehr geehrten Damen und Herren!

Im Namen des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft begrüße ich Sie herzlich zum 130. Kongress des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten begrüßen. Frau Bundesministerin Julia Klöckner hat auch in diesem Jahr gern die Schirmherrschaft für den Kongress übernommen. Dies ist Zeichen der hohen Wertschätzung des BMEL für die Arbeit des VDLUFA. Sie wünscht der Veranstaltung einen guten Verlauf, sehr gute und fachlich fundierte Vorträge sowie angeregte Diskussionen zu den Posterpräsentationen.

Digitalisierung

Das Generalthema des diesjährigen Kongresses lautet: „Digitalisierung in Landwirtschaft, Versuchs- und Untersuchungswesen – Anforderungen und Auswirkungen.“ Damit befasst sich der VDLUFA-Kongress erneut mit einem sehr aktuellen Thema. Die Digitalisierung hat längst alle Bereiche der Gesellschaft erreicht. Das spüren wir täglich. Im privaten Bereich ist das Handy mit seinen Fähigkeiten heute nicht mehr wegzudenken.

Auch die Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft sowie der Gartenbau sind Bereiche, in denen die Digitalisierung zunehmend an Bedeutung gewinnt. Frau Bundesministerin Klöckner hat dieses Thema zu einem Schwerpunkt der Arbeit des BMEL gemacht. Hierfür wurden die Strukturen im BMEL angepasst.

Im Bereich Digitalisierung werden dazu drei neue Referate aufgebaut:

1. Digitalisierung in ländlichen Räumen,
2. Anwendung der Digitalisierung in der Landwirtschaft sowie
3. ein zentrales Grundsatz- und Koordinierungsreferat für Digitalisierung.

Zudem wird es in jeder Abteilung des BMEL einen Digitalisierungsreferenten geben. Darüber hinaus wird in jeder Abteilung das bisherige Koordinierungsre-

ferat zusätzlich mit der Koordinierung von Digitalisierungsfragen für die jeweilige Abteilung beauftragt. Im Haushalt des BMEL sind im Jahr 2018 für den Bereich Digitalisierung in der Landwirtschaft Mittel in Höhe von 10 Mio. EUR veranschlagt.

Für das Haushaltsjahr 2019 sind im Regierungsentwurf Mittel in Höhe von insgesamt 15 Mio. EUR vorgesehen. Das sind beträchtliche Mittel. Damit will das BMEL Digitalisierung konkret machen. Wir wollen wegkommen von den pauschalen Aussagen „Digitalisierung ist wichtig“. Wichtig ist die praktische Umsetzung.

Einige Techniken haben schon Einzug in die Praxis gehalten. Zum Beispiel Traktoren, die über Satelliten gesteuert werden, um zentimetergenau zu arbeiten, oder mit angehängten Geräten zu kommunizieren. Und die dadurch Treibstoff, Pflanzenschutzmittel oder Dünger einsparen. Oder Düngerstreuer und Pflanzenschutzspritzen, die über Sensoren die Betriebsmittel sehr viel zielgenauer ausbringen, wodurch gleichzeitig die Menge reduziert wird. Drohnen, die mit Hilfe von Kameras Rehkitze im Grünland finden, und die so vor dem Mähbalken gerettet werden können. Oder die über Maisfelder fliegen und Schlupfwespen abwerfen, damit sie Schädlinge vernichten.

Auch im Gartenbau spielt die Digitalisierung eine zunehmende Rolle. Sei es bei der exakt gesteuerten Bewässerung oder der mechanischen Unkrautbekämpfung mit kameragesteuerten Hackgeräten, die auch bereits im Ackerbau eingesetzt werden. Bei der Tierhaltung werden Futterrationen schon seit längerem mit digitaler Technik exakt gemischt und Kühe werden von einem Melkroboter gemolken. Dabei werden zahlreiche Parameter untersucht, die Informationen über die Milchqualität und den Gesundheitszustand der Tiere ermitteln.

Die Digitalisierung ist deshalb für alle Bereiche des BMEL ein zentrales Thema. Das BMEL wird deshalb neue Projekte starten, zum Beispiel Experimentierfelder, die zusammen mit den Ländern eingerichtet werden sollen. Das sind digitale Testfelder auf landwirtschaftlichen Betrieben und in deren Umfeld, mit denen wir konkret ausprobieren werden, wie Digitalisierung vor Ort funktionieren kann.

Das ist der Anfang, viele weitere Maßnahmen werden folgen, damit wir hier wirklich ins Handeln kommen. Die heutigen Vorträge im Plenum und der morgige Workshop werden dabei wichtige Impulse setzen.

Lassen Sie mich noch kurz auf zwei wichtige Bereiche eingehen, wo Digitalisierung künftig eine bedeutende Rolle spielen wird.

Ackerbaustrategie

Der Ackerbau in Deutschland steht vor großen ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Herausforderungen. Denn im Ackerbau wird der mit Abstand größte Teil der Grundnahrungs- und Futtermittel erzeugt, aber auch ein Großteil der nachwachsenden Rohstoffe. Daher sind ackerbauliche Produktionssysteme der Grundpfeiler der Ernährungssicherung. Pflanzenbauliche Produktionsverfahren sind auf Grund von Umweltrisiken und negativen Umweltwirkungen, wie dem Rückgang der Biodiversität/biologischen Vielfalt oder Umweltbelastungen durch Dünge- und Pflanzenschutzmittel, zunehmend der Kritik aus der Gesellschaft ausgesetzt. Außerdem muss im Ackerbau der Klimaschutz aufgrund nationaler und internationaler Verpflichtungen mehr in den Blick genommen werden. Darüber hinaus erfordern Maßnahmen zur Klimaanpassung sowie das Ziel der nachhaltigen und ressourceneffizienten Pflanzenproduktion neue Anbaustrategien.

Mit der Ackerbaustrategie werden wir daher folgende grundlegenden Ziele verfolgen:

- Gewährleistung der Versorgung der Bevölkerung mit einer Vielfalt an qualitativ hochwertigen Lebensmitteln, Bereitstellung geeigneter Futtermittel und biobasierter Rohstoffe,
- Schutz der natürlichen Ressourcen (Boden, Wasser, Luft), Verminderung/Vermeidung von Risiken und negativen Auswirkungen auf die Umwelt, Entwicklung positiver Wirkungen auf die Umwelt und die Agrarlandschaft,
- Erhalt und Förderung der Biodiversität/biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft,
- Anpassung des Ackerbaus an den Klimawandel,
- Ausbau des Beitrags des Ackerbaus zum Klimaschutz,
- Entwicklung regionaler Wertschöpfungsketten,
- Sicherung des Einkommens der Landwirte

Um diese Ziele zu erreichen, wurde zunächst ein Grundlagenpapier erstellt. Als wichtige Handlungsfelder wurden identifiziert:

- Boden,
- Kulturpflanze,

- Düngung,
- Pflanzenschutz,
- Pflanzenforschung und -züchtung,
- Digitalisierung
- Biodiversität,
- Klimaschutz,
- Klimaanpassung,
- Folgenabschätzung und
- ökonomische Bewertung.

Für jedes Handlungsfeld wurden Sachstand, Herausforderungen und Zielkonflikte beschrieben und bereits erste zielführende fachliche Lösungsmöglichkeiten formuliert. Auf dieser Grundlage werden wir nun die Ackerbaustrategie entwickeln und einen breit angelegten Dialog mit allen Beteiligten einleiten.

EuGH-Urteil Nitratrichtlinie

Der Europäische Gerichtshof (EuGH) hat am 21. Juni 2018 sein Urteil im Klageverfahren der Kommission gegen Deutschland wegen unzureichender Umsetzung der Nitratrichtlinie verkündet. Das Urteil bezieht sich auf die Rechtslage, die im September 2014 bestand, und damit auf die alte Düngeverordnung von 2006.

Der Bundesregierung wurde mit Datum vom 4. Juli 2018 das Aufforderungsschreiben der Europäischen Kommission hinsichtlich der Umsetzung des Urteils des EuGH gegen Deutschland im Vertragsverletzungsverfahren wegen Verstoßes gegen die Nitratrichtlinie zugestellt. Die mit dem BMU abgestimmte Antwort der Bundesregierung wurde am 4. September 2018 an die Kommission versandt. In der Antwort sind die im letzten Jahr in Kraft getretenen Änderungen des Düngegesetzes und der Düngeverordnung sowie der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen dargelegt. Ferner wurde zu allen Punkten aus dem Urteil Stellung genommen.

Insbesondere der zulässigen Kontrollwert im Nährstoffvergleich, die Sperrzeiten und die Bewirtschaftung auf Flächen mit starker Hangneigung bedurften weiterer Erläuterung. Zum System der Düngebedarfsermittlung und des Nährstoffvergleichs wurden zur Unterstützung der Argumentation Berechnungsbeispiele von landwirtschaftlichen Betrieben mit und ohne Tierhaltung beigelegt.

Die Gespräche mit der Kommission wurden bereits aufgenommen. Dabei wurden die Inhalte des neuen Düngerechts dargelegt und die kritischen Punkte diskutiert. Die Kommission hat dabei auch betont, dass Sie von den Ländern die zeitnahe Ausweisung der belasteten Gebiete nach § 13 der Düngeverordnung und die Festlegung von mindestens drei wirksamen Maßnahmen erwartet. Ein weiteres Gespräch wird Ende Oktober 2018 stattfinden.

Meine sehr geehrten Damen und Herren, die vergangenen Kongresse haben die Fachdiskussionen in unserem Sektor bereichert und zur Lösung fachlicher und fachpolitischer Fragen beigetragen.

Ich bin sicher, dass dies auch für den vor uns liegende Tagung gelten wird.

Ihrem 130. Kongress wünsche ich einen guten Verlauf, gewohnt sachkundig und engagiert geführte Diskussionen sowie nachhaltig wirkende Ergebnisse.

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit.

Grußwort anlässlich des 130. VDLUFA-Kongresses vom 18.-21. September 2018 in Münster

J. Dietzel

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Nordrhein-Westfalen

Sehr geehrter Herr Präsident Wiesler, sehr geehrte Damen und Herren,

ich möchte Sie ganz herzlich in Münster zum 130. Kongress der VDLUFA begrüßen.

Münster ist nicht nur Standort der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt und der Landwirtschaftskammer von Nordrhein-Westfalen, wir sind hier auch im Herzen einer der wichtigsten Agrarregionen des Landes.

NRW ist drittgrößtes Agrarland in Deutschland, jeder 8. Arbeitsplatz steht hier mit dem Agribusiness in Verbindung. Mit etwa 50 Mrd. Euro beträgt der Produktionswert von Land-, Forstwirtschaft und Fischerei in Deutschland mehr alles doppelt so viel wie im Textil-, Bekleidungs- und Schuhgewerbe.

Es ist also folgerichtig, dass sich der 130. VDLUFA-Kongress mit zentralen Zukunftsfragen der Landwirtschaft befasst: Die Digitalisierung in der Landwirtschaft bietet ein enormes Potential, um den Herausforderungen, die an die heutige und zukünftige Landwirtschaft gestellt werden, zu begegnen. Wir müssen uns aber nicht nur intensiv mit der Weiterentwicklung der Technik befassen, sondern auch die Auswirkungen und Konsequenzen für die Betriebe, die landwirtschaftlichen Strukturen und den ländlichen Raum befassen.

Ein Blick in das wie immer umfangreiche Tagungsprogramm zeigt, dass die Digitalisierung alle Bereiche der landwirtschaftlichen Produktion, sowohl in der Tierhaltung als auch im Pflanzenbau. Es geht aber auch um Monitoring, Untersuchungen und Analysen, Zustandserfassung von Umweltbedingungen oder Pflanzen und Pflanzenbeständen. Datenerfassung und Auswertung schaffen Voraussetzungen für automatisierte Prozesse und Robotik, etwa in der automatisierten Unkrauterkennung und -bekämpfung zur Einsparung von Herbiziden vor allem in Reihenkulturen oder der Maiszünslerbekämpfung mit gezieltem

Einsatz von Drohnen. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist ein umfassendes Datenmanagement.

Für alle ländlichen Räume gilt es dafür fördernde Rahmenbedingungen zu schaffen. Eine Voraussetzung für digitales Leben und Arbeiten ist die gute Ausstattung mit schnellen Breitbandverbindungen. Anwendungen wie Cloud Computing oder Telemedizin, aber auch die moderne Landwirtschaft wird spätestens mittelfristig Bandbreiten von mehreren Hundert Mbit/s benötigen. Und wenn wir heute über zukunftsfähigen Breitbandausbau reden, müssen wir insbesondere den Ausbau der Glasfasernetze in den Fokus nehmen.

Wir brauchen auch im ländlichen Raum Gigabitfähige Netze! Deswegen unterstützt Nordrhein-Westfalen den Ausbau der Breitbandversorgung im ländlichen Raum mit einer eigenen Förderung aus Mitteln des ELER und der Digitalen Dividende II.

Die Digitalisierung hat bereits viele unserer Lebensbereiche durchdrungen und entwickelt sich rasant weiter. Nach der Industrie 4.0 rückt auch die Digitalisierung in der Landwirtschaft – auch Landwirtschaft 4.0 genannt – immer stärker in unseren Fokus.

Landwirtschaft 4.0 allerdings nur auf Digitalisierung zu reduzieren ginge am Kern der Sache vorbei, denn die parallel ablaufende technische Revolution in der Land- und Stalltechnik dürfte ein wesentlicher Bestandteil für ihren Erfolg werden. Aber der Einsatz von Drohnen in der Schädlingsbekämpfung oder intelligenter Hacksysteme bei der Unkrautbekämpfung, von Melkrobotern oder der Signalfütterung bei Schweinen ist ohne die digitale Revolution nicht vorstellbar.

Es ist unsere Aufgabe, für eine schnelle, verlässliche und sichere Dateninfrastruktur und gegebenenfalls für einen Rechtsrahmen zu sorgen. Dies betrifft neben dem Breitbandausbau auch den Ausbau flächendeckender und leistungsfähiger Mobilfunknetze im ländlichen Raum. Darüber hinaus setzen wir uns für „offene“ Schnittstellen (ISO-Bus) und definierte Protokolle ein, um die Kommunikation (AGRO-XML) und Kompatibilitäten zwischen Systemen unterschiedlicher Hersteller zu gewährleisten.

Eine konkrete Unterstützung zur Nutzung von Präzisionstechnik im Ackerbau bietet das Land NRW mit der kostenfreien Nutzung von SAPOS. Mit diesem Kor-

rektursignal lässt sich die satellitengestützte Bestellung der Felder oder auch die Düngung zentimetergenau durchführen. Das nützt der Umwelt und spart gleichzeitig Kosten. Wir haben daher die rechtlichen und technischen Grundlagen für eine gebührenfreie Nutzung der SAPOS Dienste in Nordrhein-Westfalen geschaffen. Seit dem 30.03.2018 kann SAPOS kostenfrei genutzt werden.

Viele Landfrauen und Landwirte stehen der Landwirtschaft 4.0 noch zurückhaltend bis skeptisch gegenüber und scheuen auch vor den hohen Investitionskosten zurück. Und ich möchte deutlich machen: Die Digitalisierung in der Landwirtschaft ist kein Selbstzweck sondern soll Ihnen und uns allen helfen, die Herausforderungen im Pflanzenbau oder in der Tierhaltung zu meistern. Und in diesem Zusammenhang muss auch die Frage nach der Datenhoheit über die große Datenflut (Stichwort Big Data) verlässlich beantwortet werden.

Es ist für mich von zentraler Bedeutung, dass wir diejenigen nicht zurücklassen, die sich von diesen dynamischen Entwicklungen überrollt fühlen. Landwirtschaft 4.0 kann nur erfolgreich sein, wenn sie allen dient und die Arbeit und das Leben auf dem Lande erleichtert.

Ich bin sicher, dass dieser VDLUFA-Kongress einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Digitalisierung in diesem Sinne leisten wird und wünsche der Veranstaltung einen guten Verlauf.

Grußwort anlässlich der Plenartagung des 130. VDLUFA Kongresses am 18. September 2018 in Münster

W. Ruland

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster

Sehr geehrter Präsident Prof. Wiesler,
sehr geehrter Herr Dr. Dietzel,
sehr geehrte Frau Dr. Spiegel,
sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer des 130. VDLUFA Kongresses,

als Vertreterin der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, darf ich Sie herzlich hier in Münster begrüßen. Sie haben für Ihren 130. Kongress ein anspruchsvolles Thema gewählt. Das Thema Digitalisierung wird unser Arbeiten vereinfachen und verändern. Einige Tätigkeiten werden verschwinden, andere neu hinzukommen.

Die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen als Einrichtung der landwirtschaftlichen Selbstverwaltung ist ebenfalls dabei, diese Veränderungen zu erfassen und die damit verbundenen Chancen zu nutzen. Die LUFA NRW ist ein Geschäftsbereich der Landwirtschaftskammer, andere Geschäftsbereiche sind Bildung, Beratung oder Förderung. Wir als Landwirtschaftskammer wissen es sehr zu schätzen, dass Sie als Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Münster als Tagungsort gewählt haben.

Dies ist kein erstmaliges Ereignis. Schon 1982 fand die Jahrestagung in Münster statt. Damals war es die 94. VDLUFA Tagung mit dem Titel „Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung“. Die Schwerpunktthemen bezogen sich auf Schwermetalle in Böden oder in Futtermitteln. Cadmium, Blei oder Quecksilber standen im Mittelpunkt. Der Einfluss der P-Düngung wurde auch thematisiert und zwar mit dem Schwerpunkt der Cadmiumbelastung. Heute steht die Phosphordüngung aus anderen Gründen im Fokus.

In Nordrhein-Westfalen verfügen wir über eine lange Tradition der Untersuchungen landwirtschaftlicher Betriebsmittel und Produkte. Ausgehend vom Joseph-König Institut seit 1871 und natürlich mit etlichen Zwischenstufen, ist die LUFA

NRW für die landwirtschaftlichen Betriebe als Untersuchungseinrichtung tätig. Wir als Selbstverwaltung schätzen die Arbeit der LUFA hoch ein.

Analysen der Betriebsmittel sind heute wie damals und sicher auch in Zukunft unverzichtbarer Bestandteil der Betriebsführung. Boden, Wasser, Düngemittel, Saatgut und Gärsubstrate werden auf ihre wertbestimmenden oder unerwünschten Inhaltsstoffe untersucht. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Produktionsverfahren stabil und verlässlich gesteuert werden können. Nur wenn bekannt ist, was sich im Düngemittel befindet, kann die Düngung sachgerecht erfolgen. Im Ergebnis können die Produkte, die den landwirtschaftlichen Betrieb verlassen, die geforderten Qualitätsansprüche erfüllen. So tragen verlässliche Analysen dazu bei, die landwirtschaftlichen Produktionsverfahren transparenter und nachvollziehbarer zu gestalten, auch wenn ein Wirtschaften unter freiem Himmel noch genug Unwägbarkeiten beinhaltet. Diese Transparenz und sichere Produktionsprozesse sind unverzichtbar, wenn es für die Landwirtschaft darum geht, in der öffentlichen Wahrnehmung Vertrauen zurück zu gewinnen. Analysen stehen am Beginn dieser Kette.

Ein Wort zu den Bodenuntersuchungen als Beispiel der LUFA- Kernkompetenz. Gerade die letzte Vegetationsperiode hat uns den Wert des Bodens deutlich vor Augen geführt. Ein viel zu nasser Winter ging in einen viel zu trockenen und heißen Sommer über und das fast nahtlos. Neben den Niederschlägen war auch die Bodenstruktur oft ausschlaggebend für die Ertragsbildung. Regenverdaulichkeit auf der einen Seite und Wasserhaltevermögen auf der anderen Seite, werden auch durch so etwas Banalem wie den pH-Wert, und so etwas Komplexem wie der Bodenstruktur bestimmt.

Ein zweites Beispiel: Knappes Futter bei Mais und Gras sind die Folge der diesjährigen Dürre für die landwirtschaftlichen Betriebe. Und wieder gilt es, dieses Futter analysieren zu lassen, um es so entsprechend seiner Qualität und möglichst effizient einzusetzen. Denn gutes Futter ist nicht nur knapp, sondern auch teuer, wenn es denn überhaupt zu erhalten ist.

Diese Tätigkeiten hören sich nach Selbstverständlichkeiten an, nach Routinen im Tagesgeschäft und doch bilden solche Selbstverständlichkeiten und Routinen die Stärke unserer Arbeit und unterstützen landwirtschaftliche Betriebe in ihrer Betriebsführung.

Der Verband der deutschen landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten leistet seit Jahrzehnten wegweisende Arbeit: Die Standardisierung der Analysen, die Methodenkompetenz, Ringversuche sichern die Qualität der Arbeit in den Laboren und damit die Verlässlichkeit der Analysen. Spätestens seit der neuen Düngeverordnung gelangt die Frage der Methoden, z. B. bei den P- Gehalten von Böden in den Fokus. Darüber hinaus regt der Verband fachliche Diskussionen an, wie aktuell um die P-Richtwerte. Auch wenn wir in diesem Punkt von Seiten des Verbandes der Landwirtschaftskammern zu einer etwas anderen Einschätzung kommen, halte ich die Diskussion darüber für wertvoll. Sie erfolgte auf hohem Niveau und mit gegenseitiger Wertschätzung. Das ist wichtig für uns und unsere Kunden. Ansonsten wäre durch solch ein Expertenstreit eine Verunsicherung unserer Kunden zu befürchten, die in der Folge weniger Analysen in Auftrag geben würden.

Lassen Sie mich mit ein paar Worten zur Stadt Münster schließen: Münster bietet als Wissenschafts- und Verwaltungsstadt mit einem landwirtschaftlich geprägten Umfeld den attraktiven Rahmen für diesen 130. VDLUFA Kongress. Münster hat etwa 310 000 Einwohner und über 600 000 Fahrräder, viele davon am Bahnhof. Entgegen anderer Vorurteile über Radfahrer: „nach oben buckeln, nach unten treten“ handelt es sich bei den Radfahrern in Münster um eine sehr selbstbewusste Spezies, die ihr Terrain, die rot markierten Radwege, verteidigen. Seien Sie dort vorsichtig. Münster hat mehrere Hochschulen mit insgesamt über 60 000 Studenten. Sie ist Stadt des westfälischen Friedens von 1648, war Veranstaltungsort des diesjährigen Katholikentages unter dem Motto „Suche Frieden“ und – und das ist ein Kontrapunkt: sie ist bekannt als Tatorstadt.

Mein Rat: Genießen Sie nach anregenden Vorträgen, workshops und Fachgruppensitzungen die Atmosphäre der Stadt Münster auf dem Prinzipalmarkt, im Dom oder auf der Promenade.

Anforderungen und Auswirkungen der Digitalisierung auf das Untersuchungswesen

F. Lorenz

LUFA Nord-West, Oldenburg

1 Herausforderung Digitalisierung

Die Ergebnisse der Untersuchung landwirtschaftlicher Produktionsmittel und Erzeugnisse sind vorwiegend Zahlenwerte. Sie dienen in der Regel dazu, diese Produktionsmittel und Erzeugnisse zu klassifizieren und zu bewerten. Die informationstechnische Verarbeitung dieser Werte – also deren Digitalisierung – ermöglicht eine schnelle und zunehmend automatisierte Auswertung, insbesondere auch dann, wenn diese Werte mit anderen Informationen vernetzt werden.

Die Automatisierung von Produktionsprozessen ist auf Informationen angewiesen. Einfach zu bewältigen ist zum Beispiel die Bereitstellung von Informationen zum Steuern des vollautomatisierten, robotergestützten Schweißens von Fahrzeugrahmen in einer Fabrikhalle, da sowohl die Umgebung (Fabrikhalle) eine sehr geringe Variabilität aufweist als auch die Objekte (Fahrzeugrahmen), die hergestellt werden (vgl. Bechar u. Vigneault, 2016). Bei der Produktion von Nahrungsmitteln ist das anders: sowohl die Variabilität der Objekte (Tiere, Pflanzen) als auch die Variabilität der Umwelt sind hoch, wobei letzteres für Acker und Grünland deutlich stärker zutrifft als für den Stall oder das Gewächshaus. Je nach Produktionsrichtung lässt sich die Variabilität der Umwelt bei Letzteren mehr oder weniger genau kontrollieren - im geschlossenen Schweine- oder Geflügelstall wiederum mehr als in den dem Außenklima ausgesetzten Laufställen in der Rinderhaltung (Griepentrog, 2018).

Je größer aber die Variabilität von Umwelt und Objekten ist, desto mehr Informationen werden in relativ kurzen Zeiteinheiten benötigt, um die Prozesse steuern zu können. Dabei spielt die Untersuchung eine bedeutende Rolle, wobei diese nicht nur die Probenahme und die Analytik im Labor umfasst, sondern auch die Messung vor Ort mittels Sensoren.

Aufgrund der Komplexität der landwirtschaftlichen Produktion ist das Ziel, diese vollständig zu automatisieren, in naher Zukunft unter mitteleuropäischen Ver-

hältnissen nicht zu erreichen. Umso mehr ist es von Bedeutung, dem Bewirtschafteter Entscheidungshilfen an die Hand zu geben, um die Produktion wirtschaftlich und verlustarm zu gestalten.

Dafür stehen die folgenden Werkzeuge zur Verfügung, auf die im Folgenden näher Bezug genommen wird:

IoT (Internet of Things, Internet der Dinge): Maschinen und Geräte werden in die Lage versetzt, Daten zu senden und zu empfangen und damit in Echtzeit zu reagieren.

Big Data: Große Datenmengen aus unterschiedlichen Quellen werden miteinander verknüpft und durch sinnvolle Abfragen Schlussfolgerungen abgeleitet.

Cloud Computing: Die Datenverarbeitung erfolgt durch professionelle Dienstleister auf leistungsfähigen Servern über das Internet.

AI (Artificial Intelligence, Künstliche Intelligenz): Die eigenständige Bearbeitung von Aufgaben durch Computersoftware, „die Simulation intelligenten Verhaltens mit Mitteln der Mathematik und der Informatik“ (Wikipedia, 2018).

2 Anforderungen an die Probenahme

Bei der Probenahme, der Probenaufbereitung und der Analytik können Fehler auftreten, die das Untersuchungsergebnis beeinflussen. Aufgrund der weitgehenden Standardisierung der Probenaufbereitung und der Analytik in den Labors ist der Anteil möglicher Fehlerquellen dort deutlich niedriger als bei der Probenahme. Man schätzt, dass der Anteil der Probenahme bei bis zu 90 % liegt (VDLUFA, 1991). Hier bietet die Digitalisierung deutliches Verbesserungspotential, was am Beispiel der Bodenuntersuchung erläutert wird.

Eine wesentliche Forderung an die Bodenprobenahme ist die Berücksichtigung der Heterogenität innerhalb von Ackerflächen, also der unterschiedlichen Bodenarten, die sich auf einem Schlag befinden. Das ist sinnvoll, da unterschiedliche Bodenarten auch unterschiedlich gekalkt und gedüngt werden (vgl. zum Beispiel Kerschberger et al., 2000). Auch variieren aufgrund des verschiedenen Wasserspeichervermögens die Naturalerträge und damit die Nährstoffabfuhr. Um die unterschiedlichen Bodenarten zu berücksichtigen, werden die Probe-

nahmeflächen entsprechend der Bodenarten in Zonen eingeteilt (Lorenz et al., 2015).

Für die Zonierung können zahlreiche digitale Informationsquellen herangezogen werden, wie Ertragskarten, Karten der elektrischen Bodenleitfähigkeitsmessung, Biomassekarten, Karten der Bodenschätzung und geologische Karten. Die Erfahrung zeigt, dass es nur eine Kombination verschiedener Informationen ermöglicht, die Zonierung entsprechend den Anforderungen der Praxis zu gestalten (Lorenz u. Münchhoff, 2015).

Durch die Digitalisierung eröffnen sich neue Möglichkeiten, die Zonierung deutlich schneller und günstiger und für den Nutzer einfacher zu gestalten. Die ESA (European Space Agency) stellt im Rahmen des Erdbeobachtungsprogrammes Copernicus verschiedene Satellitensysteme zur Verfügung, von denen Sentinel-1 Radarmessungen durchführt und Sentinel-2 die Reflektion elektromagnetischer Wellen über einen breiten Bereich inklusive des sichtbaren Lichtes misst (ESA, 2018). So kann zum Beispiel mit Sentinel-1 die Bodenfeuchte und mit Sentinel-2 der Humusgehalt des Bodens gemessen oder abgeschätzt werden. Durch die Kombination der Reflektion verschiedener Wellen zu Indizes werden weitere Parameter identifiziert. Die Fa. Agricircle aus der Schweiz hat einen Algorithmus entwickelt, der auf der Grundlage von Satellitenbildern unbewachsener Felder eine automatische Bodenzonierung durchführt und so den aufwendigen Prozess des Erstellens einer Bodenkarte auf ein Minimum reduziert. Auf der Grundlage dieser Zonenkarte können Bodenproben innerhalb der Zonen gezogen werden. Die Karte sowie die Ergebnisse der Bodenuntersuchung werden dem Landwirt über ein webbasiertes FMIS (Farm-Management-Informationssystem) zur Verfügung gestellt.

Die schlageinheitliche Probenahme könnte so auf Dauer durch eine teilflächen-spezifische Probenahme ersetzt werden, die die natürlichen Gegebenheiten bei der Bewirtschaftung zu berücksichtigen hilft.

3 Anforderungen an die Laboruntersuchung

Auch ein Labor, das Proben aus der Landwirtschaft oder der Lebensmittel-erzeugung analysiert, ist – analog zu den Ausführungen in Abschnitt 1 – ein Produktionssystem mit einer wenig variablen Umwelt, da die Probenaufberei-

tung und die Analytik standardisiert sind. Aufgrund dieser homogenen Umwelt besteht ein hohes Potential zur Automatisierung mittels Digitalisierung. Dies beginnt bereits bei der Probenahme. Anknüpfend an das oben erklärte Beispiel der Bodenuntersuchung kann bereits auf dem Feld ein Barcode generiert werden, der alle relevanten Informationen zur Probe enthält (Name des Kunden, Bezeichnung der Fläche, Auflistung der georeferenzierten Einstichstellen der Mischprobe). Der Barcode wird auf dem Probenahmefahrzeug ausgedruckt und auf der Probenüte befestigt. Gleichzeitig erhält das LIMS (Labor-Informations-Managementsystem) des Labors über eine mobile Datenverbindung die Informationen zur Probe, so dass die in den kommenden Tagen eintreffenden Proben disponiert werden können.

Beim Eintreffen der Probe im Labor wird der Barcode eingescannt und somit vom LIMS erkannt, dass die Probe physisch vorhanden ist. Der Kunde wird über eine Nachricht auf sein Smartphone über das Eintreffen benachrichtigt. Mittels Barcode wird die Probe auch auf ihrem Weg durch das Labor gekennzeichnet.

Nach der Untersuchung führt das LIMS eine automatische Plausibilitätskontrolle durch. Nachdem der Laborleiter die Ergebnisse der Probe im LIMS geprüft und freigegeben hat, werden die Ergebnisse dem Kunden zur Verfügung gestellt. Über das Kundenportal des Laborunternehmens hat er die Möglichkeit, den Prüfbericht für Dokumentationszwecke herunterzuladen. Die Daten stehen gleichzeitig in einem Format für Tabellenkalkulationsprogramme zur Verfügung, mit denen sie auf Wunsch des Kunden an ein FMIS weitergeleitet werden, das die Düngebedarfsermittlung durchführt und Applikationskarten für einen Düngeauftrag erstellt.

Zusätzliche Möglichkeiten der Automatisierung im Labor bestehen zum Beispiel in der Übertragung der Messergebnisse an das LIMS sowie bei der Kontrolle von rechtlichen Vorgaben wie zum Beispiel Höchstmengen. Welche weiteren Möglichkeiten die Digitalisierung für die Untersuchung bietet, wird in diesem Tagungsband in anderen Publikationen dargestellt.

4 Anforderungen an Messungen vor Ort

In der landwirtschaftlichen Praxis setzt man große Hoffnungen in die Anwendung von (mobilen) Sensoren für die Messung vor Ort, also im Stall, im Güllela-

ger, auf dem Feld etc. Dafür gibt es zwei Gründe: Die Schwierigkeit, eine repräsentative Probe zu gewinnen und die Untersuchungsdauer im Labor. Deshalb werden von Wissenschaft und Industrie erhebliche Anstrengungen unternommen, Anwendungen für die Messung vor Ort auf der Basis von Sensoren zu entwickeln. Dabei geht es nicht alleine um die Gewinnung von Daten, sondern deren unmittelbare Übertragung in digitale Expertensysteme oder auf Maschinen zur Prozesssteuerung in Feld und Stall.

Ein Sensor ist ein technisches Bauteil, das bei Änderung einer chemischen oder physikalischen Größe mit einem elektrischen Signal reagiert. Er misst also nicht direkt, sondern indirekt. Daher muss der Sensor kalibriert werden. Beispiele aus dem Labor sind die pH-Elektrode oder ein digitales Thermometer. In der Praxis stark diskutiert werden aktuell die Bestimmung von Futtermittelinhaltsstoffen mittels Nahinfrarot-Spektroskopie auf dem Futtermischwagen oder von Trockenmasse und Nährstoffen auf Ausbringergeräten für flüssige organische Düngemittel wie Gülle und Gärreste. Ein weiteres Gebiet, das sich noch in der Erforschung befindet, ist die Bodenuntersuchung (Beispiele bei Hinck et al, 2018).

Tab. 1: Merkmale der Analytik im Labor und der Sensormessung vor Ort

Analytik im Labor	Sensormessung vor Ort
• Untersuchungsgegenstand kommt zum Labor	• Sensor kommt zum Untersuchungsgegenstand
• Entnahme einer gestörten Probe erforderlich	• Messung in situ – meistens ungestört
• Untersuchung einer Einzel(misch)probe	• Messung einer sehr großen Anzahl von Stichproben
• Wenige Proben	• Hohe räumliche Auflösung
• Zeitliche Distanz zwischen Probenahme und Ergebnisübermittlung	• Real-Time-Übertragung Live View
• Direkte Bestimmung der Parameter	• Kalibration an Laboruntersuchungen erforderlich
• Wiederholbar und vergleichbar	• Eingeschränkte Wiederhol- und Vergleichbarkeit
• Sehr große Bandbreite zu untersuchender Parameter	• Beschränkt auf wenige Parameter, für die eine Kalibration mit hohem Bestimmtheitsmaß besteht

Die Merkmale der Analytik im Labor und der Sensormessung vor Ort und in Tabelle 1 zusammengefasst. Die wesentliche Herausforderung für die mobile Sensormessung vor Ort ist die Kalibration an nasschemischen Laboruntersuchungen nach Referenzmethoden. Bisher gibt es nur wenige Anwendungen, bei denen ein hohes Bestimmtheitsmaß zwischen Labor- und Sensormessung besteht, wie zum Beispiel die TM- und Proteinbestimmung von Gras mittels NIRS auf dem Feldhäcksler (André et al., 2005). Bei der Kalibration von NIRS-Sensoren für organische Flüssigdünger nutzen die Hersteller jeweils eigene Kalibrationen, die sie nach unterschiedlichen Verfahren erstellen. Für die landwirtschaftliche Praxis wäre es von Vorteil, auch hier die Vorteile der Digitalisierung zu nutzen und eine gemeinsame, zentrale Kalibrationsdatenbank zu erstellen, die auf den Geräten installiert und bei Bedarf ein Update erhalten kann.

5 Auswirkungen auf Geschäftsmodelle

Durch die Digitalisierung ändern sich in vielen Bereichen der Wirtschaft Geschäftsmodelle oder werden durch andere ersetzt (Disruption). Im Bereich der landwirtschaftlichen Laboranalytik sind schnelle Veränderungen nicht zu erwarten, da Sensormessungen erst für wenige Parameter verfügbar sind und häufig nicht die erwartete Genauigkeit erzielen. Viele Laboruntersuchungen werden vor dem Hintergrund rechtlicher Regelungen durchgeführt, die entweder eine amtliche Methode, eine VDLUFA-Methode oder eine wissenschaftlich anerkannte Methode erfordern. Erfahrungsgemäß ändern sich rechtliche Vorgaben eher mittel- bis langfristig.

Neue Geschäftsmodelle nutzen in hohem Maße den Erkenntnisgewinn aus der Verknüpfung unterschiedlicher Datenquellen (Big Data, s. Abschnitt 1) oder der Anwendung künstlicher Intelligenz. So bietet ein Unternehmen aus Kanada (<http://www.laserag.com/>) die Bodenuntersuchung mittels LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) an. Mit dieser Methode werden Element-*Gesamt*gehalte ermittelt. Das Unternehmen verspricht, mit Hilfe chemometrischer Methoden unter Einbeziehung verschiedener Eigenschaften der Bodenproben inklusive ihres Standorts die Messergebnisse so zu kalibrieren, dass sie den Ergebnissen von Methoden zur Messung *pflanzenverfügbarer* Nährstoffgehalte entsprechen.

Die Firma plantix aus Hannover (<https://plantix.net/de>) bietet eine Applikation für das Smartphone an, die weltweit Pflanzenkrankheiten und Nährstoffmangel

erkennt. Neben der optischen Erkennung der Pflanzen wird zusätzlich Expertenwissen zur Beurteilung herangezogen, so dass das Maschinenwissen durch menschliches Wissen ergänzt und kalibriert werden kann.

Die sichere Rückverfolgung über die Produktionskette ist bei vielen Lebensmitteln bereits möglich. Ob die Daten auch unverändert und damit sicher übertragen wurden, kann man nicht ohne weiteres überprüfen. Neue Technologien wie die Blockchain können hier Abhilfe schaffen. Dabei werden die Daten jedes Gliedes in der Kette in sogenannten Blöcken zusammengefasst und verschlüsselt, miteinander verknüpft und dezentral gespeichert, so dass eine Fälschung zum derzeitigen Stand des Wissens nicht mehr möglich ist, ohne dass es an anderer Stelle sofort auffallen würde. Die Blockchain-Technologie hat noch Nachteile hinsichtlich des Energieverbrauchs und des Speicherplatzbedarfs, wobei an Lösungen für diese Probleme bereits intensiv gearbeitet wird (Schlatt et al., 2016).

6 Auswirkungen auf Vernetzung und Auswertung

Die Betrachtung von Systemen und Kreisläufen ist eine der ältesten Herausforderungen der Agrarforschung und bisher nur mit sehr großem Aufwand realisierbar. Das Untersuchungswesen stellt zwar Daten zur Verfügung, jedoch werden diese selten mit anderen Informationen vernetzt. Betrachtet man den Nährstoffkreislauf im Futterbaubetrieb, so sind es letztlich nur die Inhaltsstoffe von Futter (wirtschaftseigene Futtermittel, Zukauffuttermittel), Boden und Düngemitteln (organisch und mineralisch), die bekannt sind. Um den Kreislauf vollständig beschreiben zu können, sind die Nutzungsfrequenz, der Biomasseaufwuchs, die resultierende Menge an wirtschaftseigenen Futtermitteln, die gedüngten Nährstoffmengen, Ammoniakverluste, Bodeneigenschaften und Witterungsverlauf, der Milchertrag und die Entscheidungen des Bewirtschafters ebenfalls notwendig. Einige dieser Daten werden auch in der Praxis bereits erhoben, einige fehlen noch; miteinander verknüpft und ausgewertet werden sie bislang nur in sehr aufwendigen Projekten. Dies könnte durch die Digitalisierung wesentlich vereinfacht werden. So stellen die Ertragsermittlung via Satellit oder die Abschätzung der Ammoniakemission mit Hilfe von Witterungsdaten für die nahe Zukunft realistische Möglichkeit dar.

Mit der Abbildung und ständigen Aktualisierung des Nährstoffkreislaufs wäre es möglich, die Stellschrauben des Kreislaufs besser beschreiben zu können

und so die Entscheidungsfindung und die Wirtschaftlichkeit in der Praxis zu verbessern sowie die Emissionen in die Umwelt zu reduzieren. Hierzu sind allerdings noch eine Reihe von Fragen zu klären, vor allem der Finanzierung und der Rechte an den Daten.

7 Literaturangaben

- Bechar, A., Vigneault, C., 2016: Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering* 149, 94-111.
- Griepentrog, H. W., 2018: Vom Einzelprodukt zum Managementsystem – Daten als Innovationstreiber in der Landtechnik. Vortrag auf der DLG-Wintertagung in Münster am 21.02.2018.
- ESA, 2018: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus, abgerufen am 27.09.2018.
- André, H., Günther, A., Bernhardt, G., 2005: Bestimmung der Inhaltsstoffe bei der Ernte mit dem Feldhäcksler. *Landtechnik* 1/2005, 20-21.
- Hinck, S., Möller, A., Mentrup, D., Najdenko, E., Lorenz, F., Mosler, T., Tesch, H., Nietfeld, W., Scholz, C., Tsukor, V., Ruckelshausen, A., 2018: soil2data: Concept for a mobile field laboratory for nutrient analysis. 14th International Conference on Precision Agriculture, Montreal, Quebec, Canada.
- Kerschberger, M., Deller, B., Hege, U., Heyn, J., Kape, H.-E., Krause, O., Pollehn, J., Rex, M.J., Severin, K., 2000: Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Lorenz, F., Armbruster, M., König, V., Nätscher, L., Olf, H.-W., 2015: Georeferenzierte Bodenprobenahme auf landwirtschaftlichen Flächen als Grundlage für eine teilschlagspezifische Düngung mit Kalk und Grundnährstoffen. VDLUFA-Standpunkt, VDLUFA-Verlag, Speyer.
- Lorenz, F., Münchhoff, K., 2015: Teilflächen bewirtschaften – Schritt für Schritt. *AgrarPraxis kompakt*, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Schlatt, V., Schweizer, A., Urbach, N., Fridgen, G., 2016: Blockchain: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale. Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT, Bayreuth.
- VDLUFA, 1991: VDLUFA-Methodenbuch Band I Die Untersuchung von Böden 1. bis 6. Teillieferung. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Wikipedia, 2018: Künstliche Intelligenz. https://de.wikipedia.org/wiki/Künstliche_Intelligenz, abgerufen am 26.09.2018.

10 Jahre Internationaler Düngemittel-Ringtest der VDLUFA-Fachgruppe Düngemitteluntersuchung EU Q/2009-2018

K. Severin¹, J. Breuer², H. Hartwig², S. Berger³, G. Kießling⁴, R. Neuenfeldt⁵, I. Paradies-Severin⁶

¹Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover, ²Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Karlsruhe, ³Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) e. V., Speyer, ⁴Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena, ⁵Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft/LUFA, Nossen, ⁶LUFA Nord-West, Hameln

1 Einleitung

Die Düngemittelanalytik befasst sich mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln. Diese Stoffe müssen auf Makro-, Sekundär- und Spurennährstoffe sowie anorganische und organische Schadstoffe untersucht werden. Je nach Zusammensetzung (Deklaration) reichen die Gehalte der Makronährstoffe dabei von jeweils 1 % für Stickstoff, Phosphor, Kalium bis z. B. 60 % Kalium für 60er Kali oder 46 % Stickstoff für Harnstoff.

Im Bereich der Spurennährstoffe werden reine Spurennährstoffdünger mit z. B. 10 % Mangan oder 13 % Eisen, im Milligrammbereich von etwa 20 mg Molybdän/kg oder 400 mg Eisen/kg untersucht. Bei den Schwermetallen reicht, je nach Schwermetall, der Gehaltsbereich von 1-100 mg. Hierbei handelt es sich um die Grenzwerte. Kennzeichnungswerte liegen etwa in Größenordnung der halben Grenzwerte. Es müssen also sicher bis mindestens unter 50 % der Grenzwerte untersucht werden können. Organische Schadstoffe umfassen Perfluorierte Tenside, dl-PCBs, Dibenzodioxine (Dioxine) und Dibenzofurane (Furane) in Größenordnungen von 0,1 mg/kg PFT und 30 bzw. 8 ng/kg WHO-TE für die dl-PCBs und die Dioxine und Furane.

Für die amtliche Kontrolle sind Analysemethoden in der Düngemittel-Probenahme- und Analyseverordnung festgelegt. Bei der amtlichen Untersuchung von nationalen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln sind Methoden nach dem Handbuch des VDLUFA Band II.1 und

Band II.2 anzuwenden. In beiden Bänden liegen insgesamt etwa 280 Methoden zur Untersuchung vor.

Bei EG-Düngemittel handelt es sich ausschließlich um Mineraldünger. Sie müssen amtlich mit DIN- / EN-Normen untersucht werden. Für Spurennährstoffe gelten z.Z. Untersuchungsmethoden, die in der EU-Verordnung 2003/2003 veröffentlicht sind. Zukünftig sind hier auch DIN-EN-Normen vorgesehen. Das gleiche gilt für die Probenahme. Insgesamt existieren ca. 132 CEN-Standards und technische Spezifikationen.

Für die Düngemittelanalytik muss sich mit sehr unterschiedlichen Matrices befassen. Bei der Matrix handelt es sich um Mineraldünger, organisch-minerale und organische Düngemittel. Darüber hinaus müssen insgesamt, je nach Düngemittel, 10 Stickstoffformen bzw. 11 Phosphorformen analysiert werden. Die amtlich vorgeschriebenen Analysemethoden werden auch im nichtamtlichen Untersuchungsbereich angewendet. Die Detektionsmethoden sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tab. 1: Analysemethoden für die Untersuchung von deutschen und EG-Düngemittel

Analyt	Detektionsverfahren	
	Dt-Düngemittel	EG-Düngemittel
N	Verbrennungsmethode	Kjeldahl/Destillation
P ₂ O ₅ , K ₂ O, Ca + MG	ICP-OES	Gravimetrie, Komplexometrie
Ca	ICP-OES	AAS
Mg	ICP-OES	AAS
S	ICP-OES	Gravimetrie, ICP-OES
Spurennährstoffe	ICP-OES, ICP-MS	AAS, Tritrimetrie (Mn, B), Gravimetrie (Mo, Co)

Gemäß der deutschen Düngemittel-Verordnung werden die aufgeführten Nährstoffe in Extrakten ausschließlich mit instrumentellen Verfahren detektiert. Bei EG-Düngemittel müssen in gleichen Extrakten wie oben Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium mittels Gravimetrie bzw. Komplexometrie bestimmt werden.

Für Schwefel kann neben der Gravimetrie auch eine Messung mittels ICP-OES durchgeführt werden.

2 Anlass und Zielsetzung

Anlass für die Durchführung des EU-weiten Ringtests waren:

- Die Deklaration und die Analysenmethoden zur Kontrolle von Düngemitteln sind für einen großen Teil der gehandelten Düngemittel EU-weit geregelt.
- Es existiert aber keine EU-weite Qualitätssicherung der Analytik.
- Die Methodenentwicklung erfolgt zunehmend international (CEN).
- Ergebnisse nationaler Ringversuche werden in internationalen Gremien (CEN) oft nicht akzeptiert.
- Referenzmaterialien für die Düngemitteluntersuchung sind nicht verfügbar.

Aufgrund dieser Unzulänglichkeiten beschloss die Fachgruppe-III – Düngemitteluntersuchung im Frühjahr 2007 die Organisation und Durchführung eines EU-weiten Ringversuchs zur Düngemittelanalytik. Dieser Ringversuch sollte international angeboten werden. Neben den im VDLUFA-organisierten Laboratorien konnten auch andere private und amtliche Laboratorien aus Deutschland und Europa teilnehmen. Die Kosten des Ringversuchs sollten über Teilnahmebeträge der teilnehmenden Labore finanziert werden. Der Durchführung des Ringversuchs liegt folgende Zielsetzung zugrunde:

- Schaffung einer Plattform für Labore zur Überprüfung ihrer Analysenqualität, auch für die Notifizierung nach VO(EG) 2003/2003, Artikel 30 und 33
- Zertifikat für die Labor-Akkreditierung
- Anwendung von EG-Methoden, CEN-Standards und nationalen Standards
- Bereitstellung von Referenzmaterialien für die interne Laborüberwachung
- Erfahrungsaustausch zwischen Laboren
- Aufdeckung von analytischen Problemen
- Etablierung moderner instrumenteller Methoden für die amtliche und nicht amtliche Düngemitteluntersuchung

3 Organisation der EU-Ringtests

Für die Organisation und Durchführung wurde eine Projektgruppe gegründet, der die Geschäftsstelle des VDLUFA (Organisation und Schriftwechsel), die

LUFAs Nord-West, die TLL Jena und die BfULNossen (jeweils Probenvorbereitung und die Homogenitätstests im jährlichen Wechsel) sowie die LTZ Augustenberg (Auswertung) angehören. Der Ringversuch wird mittlerweile im 10. Jahr durchgeführt. In Tabelle 2 sind die Proben der Düngemittelringuntersuchungen 2009-2018 aufgeführt. Seit dem ersten Jahr der Durchführung der Ringtests nahm die Zahl der Labore stetig zu (Abb. 1).

Tab.2: Proben der Düngemittelringuntersuchungen

Q01/2009:	NPK fertiliser 12+12+17 (+2 MgO +8 S)
Q02/2010:	Dolomite (magnesiumcalciumcarbonate)
Q03/2011:	NPK slow release fertiliser 15+9+15 (+2 MgO +9 S)
Q04/2012:	Potassium Chloride with Magnesium 40 (+6 +4 +12)
Q05/2013:	NPK fertiliser 12+12+17 (+2 MgO +8 S)
Q06/2014:	NP fertiliser 12+52
Q07/2015:	Liquid micronutrient fertiliser Multimicro® fluid
Q08/2016:	Magnesiumcalcium carbonate (dolomiticlimestone)
Q09/2017:	Calcium ammoniumnitrate (CAN27) Urea 46
Q10/2018:	Potassium Chloride 60 (60er Kali®) Organic NPK fertiliser (Lawnfertiliser)

Bis 2017 wurden nur EG-Düngemitteltypen (Mineraldünger) analysiert. 2018 und 2019 wurde zusätzlich ein organisches Düngemittel in Vorbereitung auf die kommende EU-Düngemittelgesetzgebung in die Ringuntersuchung einbezogen.

In den Anfangsjahren traten organisatorische Unzulänglichkeiten wie z. B. Schwierigkeiten beim Probenversand ins Ausland, Probleme bei der Übermittlung der Daten und der Labordateien sowie Dichtigkeitsprobleme bei Flüssigdüngern auf. Für die Auswertung wurden von den Labors teilweise weniger als die geforderten Werte von 4 Wiederholungen angegeben. Für Spurenelemente wurden z. B. keine exakten Messwerte, sondern kleiner-als Werte geliefert, es wurden Analysenmerkmale (z. B. Trockenmasse-, Wassergehalt) vertauscht oder es gab Probleme bei der Angabe der Schwermetallgehalte bezogen auf Trockensubstanz bzw. Originalsubstanz.

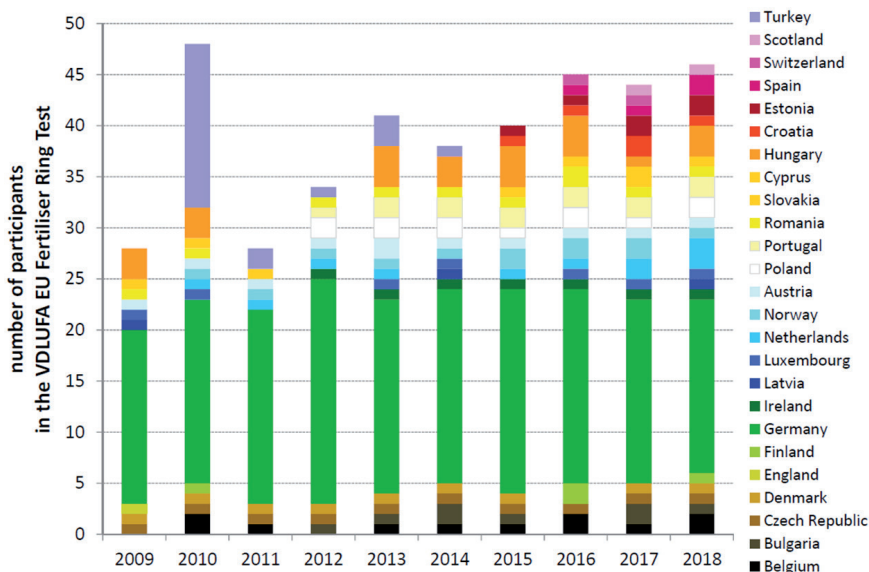


Abb. 1: Teilnehmende Labore

4 Methoden

Für die Analyse wurden verbindliche EG-Methoden und freiwillig durchzuführende Methoden vorgegeben. EG-Methoden mussten für alle Parameter durchgeführt werden. Zusätzlich konnten Methoden angewendet werden, die in den Laboratorien der teilnehmenden Länder üblich sind, wie z. B. VDLUFA-Methoden, nationale Normen, ISO-Normen oder Hausmethoden. Die EG-Methoden basieren meist auf der klassischen, chemischen Analyse (Gravimetrie, Titrimetrie). Die Analyseverfahren zeichnen sich durch eine hohe Präzision bei hohen Analytgehalten aus. Als Nachteile sind jedoch der hohe Zeitbedarf und die Verwendung problematischer Reagenzien bei der Analyse zu nennen.

Ziel des Ringversuchs war auch ein Vergleich der amtlichen Verfahren mit den modernen analytischen Verfahren (Elementaranalyse und Spektrometrie). Es sollten Daten zur analytischen Leistungsfähigkeit dieser Verfahren gewonnen werden. Mit den Daten der modernen analytischen Verfahren aus diesen internationalen Ringversuchen sollte die Akzeptanz in den Gremien der EU-Kommission und in Normungsgremien erhöht werden.

5 Ergebnisse

Die statistischen Kennwerte werden am Beispiel der Analysenergebnisse von gesamt-Stickstoff, neutral-ammonicitratlöslichem Phosphat und wasserlöslichem Kalium dargestellt (Tab 3, 4 und 5).

Tab. 3: Ergebnisse: Gesamtstickstoff Beispiel Q1/2009

	Ngesamt					
	Elementaranalyse			Amtliche Methode (EU, naßchemisch)		
	Labore n	MW %	RSD %	NLabore	MW Massen%	RSD %
Q1/2009	16	11,9	1,06	23	11,9	1,61
Q3/2011	16	14,8	1,17	20	14,5	2,69
Q5/2013	19	12,1	1,53	30	12,1	1,22
Q6/2014	15	12,1	1,45	28	12,0	1,24
Q9/2017	23	26,8	1,62	28	26,8	1,21
Q9/2017	23	46,4	0,81	23	46,3	0,85
Q10/2018	25	8,18	2,24	14	7,99	2,09

n = Anzahl Labore; MW = Mittelwert; RSD = Vergleichbarkeit

Tab. 4: Ergebnisse: Phosphornacl Q5/2013

	P ₂ O ₅ neutrales Ammoniumcitrat (nacl)					
	Endbestimmung ICP-OES			Amtliche Methode (EU, naßchemisch)		
	Labore n	MW %	RSD %	NLabore	MW Massen%	RSD %
Q1/2009	6	12,6	1,30	17	12,5	0,98
Q3/2011	6	9,78	1,24	25	9,80	1,47
Q5/2013	12	12,0	2,59	20	12,1	1,41
Q6/2014	18	51,9	2,99	24	51,9	1,26

n = Anzahl Labore; MW = Mittelwert; RSD = Vergleichbarkeit

Tab. 5: Ergebnisse: Kalium wasserlöslich Beispiel Q10/2018

	K ₂ O Wasserlöslich					
	Endbestimmung ICP-OES			Amtliche Methode (EU, naßchemisch)		
	Labore	MW	RSD	NLabore	MW	RSD
	n	%	%		Massen%	%
Q1/2009	8	17,3	1,60	17	17,1	1,01
Q3/2011	8	14,9	2,16	8	15,0	1,46
Q4/2012	10	40,1	1,50	19	40,5	1,40
Q5/2013	15	17,0	1,18	18	17,0	1,20
Q10/2018	24	60,2	1,87	21	60,3	1,32

n = Anzahl Labore; MW = Mittelwert; RSD = Vergleichbarkeit

Die Ergebnisse der 10-jährigen Ringversuche zeigen, dass

- für die untersuchten Elemente Stickstoff, Phosphat, Kalium, Calcium, Natrium, Schwefel sowie Spurenelemente sehr gute Übereinstimmung klassischer und instrumenteller Methoden bestanden,
- die Streuung der Ergebnisse bei modernen Verfahren geringer war als bei klassischen Methoden,
- schlechtere Vergleichbarkeiten bei klassischen (z. B. Gravimetrie, Komplextometrie) als bei instrumentellen Verfahren nach VDLUFA-Methodenbuch erzielt wurden; bei den klassischen Verfahren mangelte es wahrscheinlich an ausreichender Übung,
- die Nachfrage nach diesem internationalen Ringversuch groß ist.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ringversuchsergebnisse zeigen, dass

- instrumentelle Methoden klassischen Methoden ebenbürtig sind,
- moderne instrumentelle Methoden als CEN-Methoden etabliert und bisherige ablösen sollten,
- klassische Methoden daneben als Referenzmethode bestehen bleiben müssen,

- die Ergebnisse Antrieb für die Weiterentwicklung der instrumentellen Methoden sein müssen,
- die Ergebnisse für die Ableitung und Überprüfung der Toleranzen herangezogen werden können,
- die Ergebnisse der Ringversuche mit organischen Düngemitteln für die Bewertung entsprechender neuer Methoden dienen können,
- Ringversuche dieser Art Voraussetzung für die Notifizierung der EU-Laboratorien werden sollten.

Besonderer Dank gilt den Firmen, die die Proben für die Ringversuche zur Verfügung gestellt haben:

Aglukon (Düsseldorf), BASF (Ludwigshafen), Eurochem Agro (Mannheim), Kali und Salz (Kassel), Neudorff (Emmerthal), Ostrauer Kalkwerke (Ostrau), SKW (Wittenberg), Wünschendorfer Dolomitwerk (Wünschendorf).

Digitalisierung für Futter und Fütterung nutzen!

H. Spiekers, M. Schäffler

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub

1 Zielstellung

Das Futter und die Futterwirtschaft sind das Bindeglied zwischen Feld und Stall (Davies et al., 2018). Es interessieren eine Reihe von Informationen um die Prozesse zu verstehen und zu steuern. Im Weiteren werden die Notwendigkeiten und die Möglichkeiten zur Nutzung der Digitalisierung aus fachlicher Sicht aufgezeigt. Ausgangspunkt sind die Erfahrungen im eigenen Arbeitsumfeld und die bestehenden bundesweiten Vernetzungen über die Gremien von DLG, VDI, KTBL etc. Es werden die Bereiche Futterwirtschaft, Futteranalyse, Rationsplanung, Fütterung, Controlling und Beratung näher betrachtet.

2 Einführung

In der Erzeugung von Milch, Fleisch und Eiern kommt dem Futter und der Ausgestaltung der Fütterung große Bedeutung für die Ressourceneffizienz, der Produktqualität, der Gesundheitsvorsorge bei Mensch und Tier, der Umweltwirkung der Nutztierhaltung und der „Beschäftigung“ der Nutztiere zu. Die Ressourceneffizienz betrifft hier den Aufwand an Energie, N, P etc. je Einheit Produkt. Bei der Produktqualität sind neben Eigenschaften wie den Milch Inhaltsstoffen auch die Sicherheit der Futtermittel (Produkthaftung) und die Prozessqualität zu beachten. Die Umweltwirkung betrifft die Klimarelevanz, Nährstoffflüsse an N und P sowie das Emissionspotential. Neue Punkte sind Fragen der „Beschäftigung“ der Nutztiere über die Gabe von Grobfutter z. B. Maissilage beim Schwein. Zur Erreichung der Ziele sind der heutige Stand der Digitalisierung und zukünftige Fortentwicklungen unbedingt zu nutzen. Über die Digitalisierung können die zur Steuerung der Prozesse erforderlichen vielfältigen Daten besser erhoben und operationalisiert werden. Mit den Programmen zur Futter- und Rationsplanung war der Bereich Futter und Fütterung einer der Pioniere in der Digitalisierung.

Für eine erfolgreiche Digitalisierung müssen die Schnittstellen entsprechend ausgestaltet sein. Dies betrifft zunächst die Vernetzung des Nutztier haltenden

Betriebs mit den vor- und nachgelagerten Bereichen wie Futtermittelindustrie, Landhandel, Molkerei, Schlachthof etc. Von zentraler Bedeutung sind aber auch die Dienstleister in Feld und Stall wie Lohnunternehmer und Maschinenringe. Weitere Punkte sind die Verwaltung mit dem Förderwesen, der Umsetzung von Verordnungen im Bereich Düngung (DüV), Rückverfolgbarkeit etc. In der Beratung ergeben sich Schnittstellen zur Betriebszweigmauswertung, Planungsrechnungen, Controlling etc. In der Forschung ist beim on-Farm Research die Ausgestaltung der Schnittstellen Voraussetzung für Erfolg.

3 Futterwirtschaft

Der größte Teil der Landnutzung entfällt auf den Bereich der Futterzeugung und auch bei den Flächen, die zur Erzeugung von Lebensmitteln dienen fallen erhebliche Mengen an Nebenprodukten z. B. Kleien, Ölkuchen, Trester, Schlempen an. Die aktuellen Herausforderungen liegen zunächst in der weiteren Digitalisierung der Futterwirtschaft (Davies et al., 2018). Ohne weitere Innovationen sind eine routinemäßige Erfassung der Ernteerträge und deren Nutzung für Düngeplanung und Düngecontrolling, Futterplanung und Futtercontrolling sowie gesamtbetriebliches Management nicht möglich. Dies betrifft insbesondere die Fernerkundung und die Operationalisierung der Daten beim Landwirt, Lohnunternehmer, Berater etc. Die Innovationsgenerierung muss hierbei inter- und transdisziplinär erfolgen, um den tatsächlichen Möglichkeiten und Bedürfnissen der Praxis gerecht zu werden.

Die Reserven, die in der Nutzung der Ertragserfassung stecken sind aus der Streuung der Ertragsdaten beim Dauergrünland ersichtlich. Aus der Abbildung 1 sind die Ergebnisse von Köhler et al. (2017) aus Bayern zu entnehmen. Es zeigen sich erhebliche Unterschiede zwischen den Betrieben, den Jahren und den einzelnen Schlägen. Die Erträge schwanken dabei auch zwischen den Schlägen um den Faktor zwei. In den Untersuchungen der LfL erfolgt die Erfassung der Ernteerträge über die Fuhrwerkswaage. Eine Ertragserfassung kann aber auch über den Häcksler oder den Ladewagen erfolgen. Hierbei kommen direkte und indirekte Verfahren der Messung zum Einsatz. Die Messung der TM-Gehalte kann über NIR-Sensoren am Futterauswurf des Häckslers erfolgen. Als Vorteil ergibt sich hier, dass kontinuierlich gemessen werden kann und somit der Probenahmefehler kleiner wird. Alle indirekten Verfahren erfordern eine konsequente Kalibrierung entsprechend der jeweiligen konkreten Bedingungen auf dem Feld.

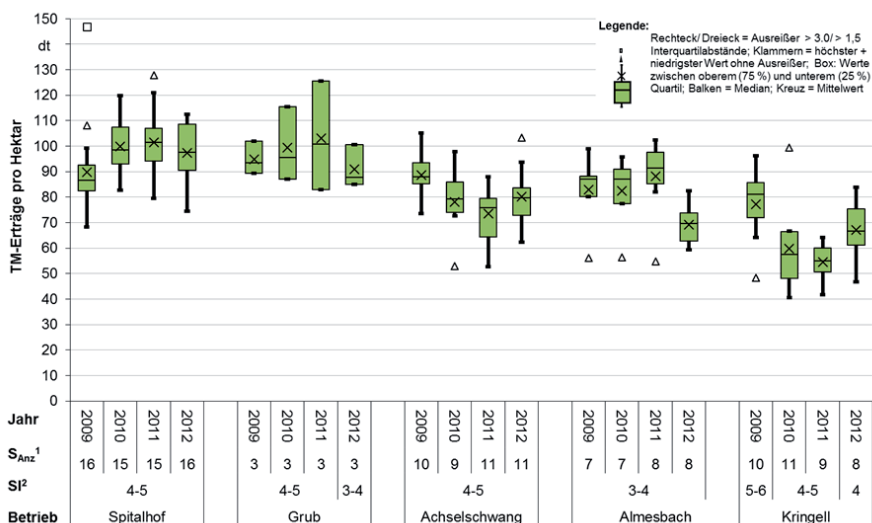


Abb. 1: Ernteerträge vom Grünland an den verschiedenen Betrieben der LfL, Jahreserträge bei überwiegender Silagenutzung (Köhler et al., 2017)

Trotz der zentralen Bedeutung des Trockenmasseertrags ist die Erfassung in der Breite im Gegensatz zur Milchkontrolle oder dem Zählen der geborenen Ferkel nicht als Standard etabliert. Um die Ertragserfassung zu etablieren bieten sich folgende Maßnahmen an:

- Weiterentwicklung der direkten und indirekten Messtechniken. Dies betrifft die Wägetechnik an den Ernte- und Transportfahrzeugen sowie den Entnahmegaräten.
- Systementwicklung: automatische Flächenerfassung, Zuordnung der Ergebnisse, Verrechnung, Dokumentation, Schnittstellengenerierung (*an der Lebenswirklichkeit der Landwirte, Lohnunternehmer etc. ausrichten*)
- Neue Ansätze: Nutzung bildgebender Verfahren über Satellit etc. (*Projekte: SatGrünschnitt => GeoCare, sattGrün ...*)
- Anerkennung der gemessenen Erträge z. B. beim Silomais im Nährstoffvergleich nach DüV.
- Einbeziehung der Ertragserfassung in Förderprogramme zur Digitalisierung.
- Ertragsebenen (DLG, 2016) und damit Verluste in der Futterwirtschaft in Verwaltung, Schule und Beratung bewusster machen.

Erhebliche Fortschritte gibt es in der Nutzung von Satellitendaten. Anzuführen ist z. B. das Projekt „Geoinformationstechnologie für landwirtschaftlichen Ressourcenschutz und Risikomanagement“ (GeoCare) gefördert vom BMEL im Rahmen Big Data in der Landwirtschaft“ (Hartmann und Relin, 2018). Für Bayern soll ein flächendeckendes System etabliert werden, das als Grundservice und zum Risikomonitoring dient. Wichtig ist, dass die Daten an realen Messdaten abgeleitet und systematisch kalibriert werden. Zur Systematik der verschiedenen Ertragsebenen wird die Anwendung des Merkblatts 416 der DLG (2016) empfohlen.

Die Verluste im Lager können über die total-in/total-out Methode nach Köhler et al. (2013) ermittelt werden. Eine aktuelle Auswertung von Daten zu Gras- und Maissilage in Fahrsilos ist Köhler et al. (2018) zu entnehmen. Die zentrale Maschine deren Daten zu digitalisieren sind ist der Futtermischwagen. Ernteträge und die Verluste in Lager und Stall sollten digital erfasst werden, da diese eine zentrale Stellung in der Optimierung des Betriebsgeschehens haben.

4 Futteranalytik

Neben den Futtermengen sind die Gehalte an Trockenmasse, Rohnährstoffen, Energie, Proteinkennwerten und Mineralstoffen von Belang. Die Messung erfolgt im Labor oder über Sensoren im landwirtschaftlichen Betrieb. Es gibt folgende Anwendungsbereiche:

- Trockenmasse, Stickstoff und Phosphor etc. sind schon bei der Ertragserfassung erforderlich; Futtermengenplanung
- Düngecontrolling (z.B. N-Gehalte im Silomais zur Beurteilung der erfolgten N-Düngung)
- Monitoring der Gehalte in der Zeit und über Regionen etc., Erstellung von Tabellenwerken
- Rationsberechnung und -kontrolle
- Nährstoffsaldierungen: Fläche, Stall, Betrieb z.B. Stoffstrombilanz
- Benchmarking.

Die Digitalisierungsbereiche sind zum einen die Probenerfassung und -kennung sowie die Bearbeitung im Labor über entsprechende Laborinformationssysteme. Weitere Bereiche sind die Informationsübermittlung und das Benchmarking. Die Schnittstellen sind die Rationsberechnung, Futterplanung,

Nährstoffsaldierung etc. In Bayern wird das webFuLab für diesen Bereich mit Erfolg genutzt (Schäffler et al., 2018). Die Schnittstellen zur Rationsberechnung sind inzwischen digitalisiert. Vom Verbundpartner LKV-Bayern, der auch das Futterlabor in Grub betreibt, wurde eine App für den Nutzer von webFuLab entwickelt, die dem Landwirt das Vorhandensein neuer Ergebnisse zur Futterprobe anzeigt.

Die Daten aus dem webFuLab können auch zur Generierung von aktuellen Tabellenwerten genutzt werden. Allerdings ist dies auf die Einsendungen aus Bayern und auf Futterproben beschränkt. Eine aktuelle Anfrage an die DLG vom BMEL zur Generierung aktueller Daten zu den mittleren Gehalten in Ernteprodukten und Futtermitteln konnte bundesweit nur unzureichend bearbeitet werden, da in anderen Einrichtungen Deutschlands die Daten nicht in der notwendigen Form der digitalen Aufbereitung vorliegen.

5 Rationsplanung/Fütterung

Die Rationsberechnung ist eines der ersten Bereiche in denen die Digitalisierung im Bereich Futter und Fütterung Anwendung gefunden hat (Rutzmoser et al., 2018). In der Rationsplanung werden die Empfehlungen zur Versorgung der Nutztiere vom Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (AfBN) mit den Daten des Betriebes in Übereinstimmung gebracht. Hierzu existieren eine Reihe von Programmen. In Bayern wird in Forschung, Schule und Beratung das Programm Zifo2 genutzt (Schäffler et al., 2018). Zum webFuLab besteht eine Schnittstelle, so dass betriebliche Analysedaten zu Grobfutter, Getreide etc. direkt einfließen. Die Daten zu Futtermitteln des Handels werden nach Möglichkeit auch aktuell hinterlegt. Es wird daran gearbeitet, dass die Daten weiterer Labore auch direkt über eine Schnittstelle genutzt werden können. Dies ist von besonderem Interesse, wenn zukünftig Programme auch regionsübergreifend genutzt werden. Dies ist unbedingt zu fördern, da die Kosten der Entwicklung und der laufenden Betreuung hoch sind. Wünschenswert wäre eine Arbeitsteilung innerhalb Deutschlands in der die einzelnen Institutionen sich die Entwicklung und Betreuung verschiedener Anwendungen aufteilen, um wettbewerbsfähig zu sein.

Das Programm Zifo2 ist auch für Futtermengenplanung und die Nährstoffsaldierung nutzbar. Die Schnittstellen zur Futtermengenerfassung auf dem Feld und

im Betrieb sind noch weiter zu entwickeln. Ein erster Ansatz ist die Schnittstelle zum Futtermischwagen oder zur Fütterungsanlage.

6 Rationscontrolling/Beratung

Für den Erfolg der Fütterung ist das Rationscontrolling unverzichtbar. Hierzu ist es sinnvoll die Planungsdaten mit Auswerteprogrammen zu verknüpfen. Hierbei geht es um Futteraufnahme, biologische Leistungen, Ökonomie und Umweltwirkungen. Ein Beispiel ist das vom LKV-Bayern genutzte Programm Ringmastschwein. Hier werden die Daten zu den Kennzahlen der Fütterung aus Zifo2 mit biologischen und ökonomischen Auswertungen der Schweinemastgruppen verknüpft. Der Landwirt erhält als ein Ergebnis ein Stärken-/Schwächenprofil durch den Vergleich mit anderen Betrieben. Der Grundsatz von messen und steuern im Controlling kann so gezielt verfolgt werden.

Eine konsequente Weiterentwicklung der Digitalisierung der Fütterungsberatung erfolgt im Projekt „Demonstration-Farms“ (Brunlehner und Schneider, 2018). Die beteiligten Schweinehalter können hier ihre Daten webbasiert fürs Benchmarking nutzen. Der gesamte Betrieb vom Feld über den Pflanzenbau zur Schweinehaltung und zurück über die Nährstofflieferung mit der Schweinegülle auf die Fläche steht hier im Fokus. Eine frühzeitige Orientierung im Rahmen der Stoffstrombilanzierung ist hierdurch möglich.

Wünschenswert wären gesamtbetriebliche Planungsprogramme z. B. zur Ausrichtung des Anbaus von Getreide. Welche Implikationen hat die Absenkung des Rohproteingehaltes im Futterweizen von 13 auf 11 % auf N-Düngung, Fütterung, Umfang der möglichen Schweinehaltung nach DüV, Nährstoffsalden, Ökonomie etc.? Solche Planungsprogramme sollten auf bestehende Anwendungen mit entsprechenden Schnittstellen zurückgreifen und nach Möglichkeit auch wieder ein betriebliches Controlling erlauben.

7 Schlussfolgerungen

Zur Digitalisierung von Futter und Fütterung ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Die Digitalisierung erspart zeitaufwendige Handeingabe von Daten und Eingabefehler.
- Sie liefert zusätzliche Information oder verknüpft diese besser.
- Bestehende Anwendungen unterstützen die Planung der Fütterung. Für das Controlling gibt es bisher nur wenige Systeme.
- Folgende Bereiche der Digitalisierung sollten vorrangig bearbeitet werden:
 - Etablierung der Ertragserfassung
 - Bundesweite Zusammenführung der Analysedaten
 - Vernetzung vom Feld bis zum Produkt
 - Nährstoffhaushalt, integrierte Planungsprogramme
 - vernetztes Controlling.
- Der Nutzen für den Anwender muss im Vordergrund stehen.
- Grundsätzlich beschleunigen gemeinsame Schnittstellen und/oder eine offene Kommunikation über diese die Digitalisierung von Futter und Fütterung.

8 Literaturangaben

- Brunlehner, E.-M., Schneider S., 2018: „demonstration farms“ – ein neuer Ansatz des digitalen Wissenstransfers im Schweinebereich. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 75, Kongressband 2018 Münster, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 416-423.
- Davies, D., Thomsen, A.L., Borreani G., 2018: New technologies to improve silage quality from field to feed out. in: Proceedings of the XVIII. International Silage Conference 24.-26.07.2018, Bonn, edited by K. Gerlach and K.-H. Südekum, 438-450, ISBN: 978-3-86972-044-9.
- DLG 2016: Mengenmäßige Erfassung des wirtschaftseigenen Futters – Definition von Mengenbegriffen und Verlustgrößen. DLG-Merkblatt 416, 9 Seiten www.dlg.org.
- Hartmann, S., Relin A., 2018: GeoCare - Vom Satellitenbild zur Ertragsinformation. Vorstellung des Projekts und dessen Potenzials. Folienvorlage, persönliche Mitteilung.
- Köhler, B., Diepolder, M., Ostertag, J., Thurner, S., Spiekers, H., 2013: Dry matter losses of grass, lucerne and maize silages in bunker silos. *Agricultural and Food Science* 22, 145-150.

- Köhler, B., Spiekers, H., Kluß, C., Taube, F., 2017: Leistungen vom Grünland im Futterbaubetrieb – Analyse auf Betriebsebene unter bayerischen Standortbedingungen. Berichte über Landwirtschaft, Band 95, Ausgabe 1, Mai 2017, Seite 1-32, ISSN 2196-5099.
- Köhler, B., Taube, F., Ostertag, J., Thurner, S., Kluß, C., Spiekers, H., 2018: Dry matter losses and nutrient changes in grass and maize silages stored in bunker silos. in: Proceedings of the XVIII. International Silage Conference 24.-26.07.2018, Bonn, edited by K. Gerlach and K.-H. Südekum, 478/479, ISBN: 978-3-86972-044-9.
- Rutzmoser, K., Meier, J., Schuster, H., Spiekers, H., 2018: Entwicklungen im Bereich Terernährung und Futterwirtschaft. in: Gruber Chronik „100 Jahre Kompetenz für Nutztiere“ 1918 – 2018, Eigenverlag LfL-Bayern, Freising, 92-117.
- Schäffler, M., Wirthgen, S., Rauch, P., Brunlehner E.-M., 2018: Möglichkeiten der Digitalisierung nutzen: Futter und Fütterung. in: Tagungsband „Nutztierhaltung – Basis der Landwirtschaft in Bayern – 100 Jahre Kompetenzzentrum für Nutztiere in Grub“ 5.7.2018, LfL-Schriftenreihe 1/2018, 49 – 55. ISSN 1611-4159.

Big Data in der Nutztierhaltung – Potentiale und Grenzen des Nutzens

A. Sundrum

Universität Kassel, Fachgebiet Tierernährung und Tiergesundheit, Witzenhausen

1 Einleitung

Digitalisierung ist die Transformation analoger in diskret abzählbare, binär codierte, statistisch auswertbare und maschinell berechenbare Prozesse (Baecker, 2018). Digitalisierung ist ferner ein Schlagwort, das derzeit viel mediale Aufmerksamkeit hervorruft und auch Agrarwirtschaft und -politik in den Bann zieht. Aus agrarwissenschaftlicher Sicht stellt sich die Situation weit weniger spektakulär dar. Digitalisierung wird genutzt, seit es Computer gibt; der Umgang mit Daten in digitaler Form ist seit langer Zeit Bestandteil wissenschaftlicher Arbeit. Nicht die Digitalisierung selbst, sondern der exponentielle Zuwachs an Daten (Big Data), die automatisierte Erfassung, beschleunigte Bearbeitung sowie die Ausweitung der Anwendungsbereiche führen zu Veränderungen. Gleichzeitig hat sich das Ausmaß an Erwartungen, die auf digitale Techniken projiziert werden, deutlich erhöht. Ob diese Erwartungen gerechtfertigt sind und welche Veränderungen eintreten werden, hängt in erster Linie davon ab, welche Zwecke mit dem Einsatz digitaler Techniken avisiert werden.

2 Hohe Erwartungen

Vom Deutschen Bauernverband wird die Devise ausgegeben (Bitsch et al., 2018): „Durch die Digitalisierung ergeben sich ganz neue Chancen zur Versöhnung von Effizienzzielen und Erwartungen der Gesellschaft. (...) Die Digitalisierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse eröffnet Anwendungsmöglichkeiten für eine ressourcen- und klimaschonende Landbewirtschaftung. Sensoren und digitale Technik ermöglichen aber auch ein Plus an Tierwohl und verbesserte Haltungsformen.“ Angesichts solcher Erwartungen reibt man sich als Wissenschaftler verwundert die Augen: Warum sollte mit der Ausweitung der Digitalisierung etwas gelingen, was den Agrarwissenschaftler*Innen trotz jahrzehntelanger Forschungstätigkeit bislang nicht gelungen ist? Während in der

Nutztierhaltung ein deutlicher Produktivitätszuwachs realisiert wurde, sind im Bereich von Tier- und Umweltschutz bislang keine relevanten Verbesserungen aktenkundig. Für manche ist es bereits ein Erfolg, wenn Leistungssteigerungen nicht zu einer wahrnehmbaren Verschlechterung von Tier- und Umweltschutz geführt haben. Jedoch ist das Problem dabei, dass keine validen Daten vorliegen, mit denen das allgemeine Niveau und die zurückliegenden Entwicklungen im Tier- und Umweltschutz in Deutschland beurteilt werden könnten. Was vorliegt sind (lediglich) die Ergebnisse zahlreicher wissenschaftlicher Studien, welche auf mehr oder weniger umfangreichen Praxiserhebungen in Form von Stichproben und Momentaufnahmen basieren und eine seit vielen Jahren sehr heterogene Situation beschreiben. Daraus leitet sich die Schlussfolgerung ab, dass m. o. w. viele Betriebe mit unzureichenden Tier- und Umweltschutzleistungen aufwarten, ohne dass sich erkennbar daran etwas ändert. Allenfalls beim Verbraucherschutz kann durch den deutlichen Rückgang der Antibiotikaeinsatzmengen ein beachtlicher Teilerfolg verbucht werden (Wallmann et al., 2018).

Erwartungen bergen nicht nur das Risiko der Enttäuschung bei Nichterfüllung. Sie richten die Aufmerksamkeit auf die Zukunft und sind daher sehr gut geeignet, von den gegenwärtigen Problemen abzulenken. Werden die Erwartungen – wie im vorliegenden Fall – sehr vage formuliert, tragen sie eher dazu bei, einer Veränderung bestehender Verhältnisse entgegenzuwirken als sie zu befördern, insbesondere wenn die Messbarkeit von Fortschritten nicht gegeben ist.

Unabhängig davon, was digitale Techniken zu leisten vermögen, ihr Einsatz steht wie bei anderen Produktionsmitteln und wie bei vielen in der Vergangenheit erarbeiteten Lösungsansätzen immer unter dem Kostenvorbehalt. Angesichts einer von Agrarpolitik und -ökonomie beförderten Exportorientierung der tierischen Erzeugung (BMEL, 2017) und dem damit einhergehenden Zwang zur Kostenführerschaft haben nur solche Mittel eine Anwendungschance, die nicht mit einer Erhöhung der Produktionskosten einhergehen. Entsprechend hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass digitale Techniken vor allem zur Steigerung der Produktivität mit dem erhöhten Risiko unerwünschter Nebenwirkungen eingesetzt werden und nicht zur Verbesserung von Tier- oder Umweltschutz. Hinzu kommt, dass viele Landwirte sich im Hinblick auf qualitative Verbesserungen, wie Tierschutzleistungen, eher reaktiv und selten präventiv verhalten (Dillon et al., 2018).

In der Vergangenheit war die Nutzbarmachung von Daten für viele landwirtschaftliche Betriebe eher unattraktiv. Sie war für lange Zeit vorrangig für die Zuchtorganisationen, die Landeskontrollstellen und die wissenschaftlichen Einrichtungen von Interesse. Dies verändert sich gerade. Auf vielen Betrieben helfen Roboter beim Melken und Füttern, Sensortechniken unterstützen das Herdenmanagement. Unübersehbar ist der Trend zur Automatisierung von Prozessabläufen mit dem Ziel, manuelle menschliche Arbeit und Arbeitskosten zu reduzieren. Ein geringerer Arbeitszeitaufwand pro Einzeltier ermöglicht das Führen von größeren Herden, die aufgrund der erhofften Skaleneffekte einen Wettbewerbsvorteil versprechen. Gleichzeitig können mittels erweiterter Sensortechnik mehr tierbezogene Informationen generiert werden, um sich einen besseren Überblick zu verschaffen.

3 Anwendungsbereiche sensorbasierter Daten

Neuere, bei Tieren angewendete Sensortechniken haben die Möglichkeiten, Daten miteinander in Beziehung zu setzen, beträchtlich erweitert. Daten können als Teilinformation über die Einzeltiere genutzt und gespeichert, zu Mittelwerten aggregiert, kategorisiert und mit anderen Daten verglichen werden. Allerdings bestehen auch relevante Einschränkungen. Rechenleistungen mittels Algorithmen sind Umformungen von Zeichen und Zeichenreihen nach bestimmten Regeln. Sie tragen zur Lösung eines spezifischen Problems mit Hilfe von eindeutigen Handlungsvorschriften bei. Entsprechend existiert in der Zeichenwelt der Algorithmen nur das, was durch Regeln als Zeichen erfasst und für eine Transformation genutzt werden kann. Dagegen werden Sachverhalte ausgeblendet, für die keine Regeln angewendet werden können und die deshalb nicht zu dieser Zeichenwelt gehören. Algorithmen sind folgerichtig nur bei Fragestellungen erfolgreich, die gut formalisierbar und mathematisch beschreibbar sind. Nach Rutten et al. (2013) können für die von Nutzung von sensorbasierten Daten vier Anwendungsbereiche unterschieden werden: (I) Techniken, die Daten von Tieren erfassen (u. a. Leistungsdaten, Milchzellzahlen); (II) Interpretation von Daten, welche Veränderungen zusammenfassen (u. a. Anstieg bzw. Abfall von Messwerten), und dadurch Informationen über den Status des Tieres liefern (z. B. Brunst, Geburtsbeginn); (III) Integration von Informationen aus verschiedenen Quellen, welche in eine Beratungsleistung münden (z. B. besamen, nicht besamen); (IV) von den Auswertungstechniken werden eigenständig Entscheidungen getroffen (z. B. Separieren von Tieren, Auftragserteilung an die

Besamungsstation). Bislang konnten nur in den beiden erstgenannten Bereichen einzelne Sensortechniken bis zur Praxisreife entwickelt werden. Die übrigen Bereiche markieren die Richtung, welche angestrebt wird, und welche weitere Erwartungen im Hinblick auf Arbeitsentlastung bei der Kundschaft wecken.

4 Was Digitalisierung nicht leisten kann

Wie alle Lebewesen stehen Nutztiere in einem wechselseitigen Bezug zu ihrer Umwelt. Leben heißt: in wechselseitigen Verhältnissen, Aktionen und Reaktionen zur Umwelt die eigene Identität als Aktions- und Reaktionseinheit aufzubauen (Schwemmer, 2004). Ohne Berücksichtigung der wechselseitigen Bezüge des inneren organischen und äußeren motorischen Verhaltens können Lebewesen nicht verstanden werden. Leben als Austauschgeschehen mit der Umwelt und Techniken als Funktionieren in isolierten Systemen markieren grundlegende Unterschiede zwischen Organismus und Maschine. Bei technischen Einrichtungen, wie z. B. einem Auto ergeben sich die Ergebnisse von Datenauswertungen deterministisch aus der Verknüpfung von eingehenden Signalen und definierten Operationen. Diese bringen bei gleichen Verfahrensabläufen und Randbedingungen den gleichen Output hervor. Demgegenüber kommen Output-Größen des tierischen Organismus (z. B. Produktionsleistungen) aufgrund von unterschiedlichen internen Anpassungsreaktionen und von Verhaltensänderungen in Reaktion auf Umweltveränderungen zustande. Zum Beispiel kann die gleiche Milchmenge, die pro Tag von Milchkühen ausgeschieden wird, aus sehr unterschiedlichen Futtermengeaufnahmemengen, Allokationen der Nährstoffe im Organismus und aus einer unterschiedlichen Mobilisierung körpereigener Substanzen hervorgehen.

Aggregationen von Einzeltierdaten sind dann nutzbar, wenn den beobachteten Prozessen im Organismus physiologische Gesetz- bzw. Regelmäßigkeiten zugrunde liegen, wie z. B. die Abnahme der Wiederkäuaktivität kurz vor der Geburt. Entsprechende Sensordaten können Hinweise auf den Geburtsbeginn liefern (Büchel und Sundrum, 2014). Dagegen sind keine Muster bei Interaktionen zwischen Wiederkäuaktivitäten und metabolischen Störungen oder Futterzusammensetzung und pH-Wertentwicklung im Pansen erkennbar (Stein, 2016). Ohne ein zugrundeliegendes wiederkehrendes Muster liefern Sensordaten nur tierindividuelle Informationen. Sensordaten aus einer Stichprobe von Tieren liefern keine belastbaren Ergebnisse, um daraus Aussagen über die Verhältnisse in der Herde zu extrapolieren.

Gesundheitsstörungen gehen eher selten aus Prozessen hervor, die wiederkehrenden Mustern folgen. Vielmehr resultieren Störungen aus sehr komplexen und heterogen verlaufenden Interaktionen zwischen der Innenwelt des Organismus und den jeweiligen Lebensbedingungen. Die interaktiven Prozesse unterliegen zwar gewissen physiologischen Regelmäßigkeiten. Sie werden jedoch durch die jeweiligen Anfangs- und Randbedingungen derart modifiziert, dass der Ausgang der interaktiven Prozesse nicht wissenschaftlich belastbar vorhergesagt werden kann (Sundrum, 2015). Hinzu kommt, dass viele Sensorsysteme erst dann relevante Abweichungen melden, wenn die Symptome bereits sehr ausgeprägt sind. Beispielsweise reagieren Tiere bei schmerzhaften Klauenerkrankungen mit deutlichen Veränderungen des Bewegungsablaufes. Entsprechend werden mit einem Bewegungssensor nur Tiere erkannt, die bereits deutlich geschädigt sind. Somit generieren die Sensorsysteme bislang keine Informationen, die für eine frühe Behandlung von Klauenerkrankungen genutzt werden können (Rutten et al., 2013).

5 Verfügungs-, Orientierungs- und Handlungswissen

Ein Rechner ist ein hoch intelligenter und vor allem ein unglaublich schneller *Idiot*. Ein Idiot ist derjenige, der sich auf das Eigene beschränkt, der nur das Eigene seiner Zeichenwelt kennt, dies aber so perfekt, dass er in Algorithmen dieser Zeichenwelt Höchstleistungen vollbringt (Schwemmer, 2004). Die Erkennung von Mustern und Regelmäßigkeiten mittels Algorithmus-basierter Datenauswertung kann dem Verfügungswissen zugeordnet werden. Hierunter ist das in der Regel bibliothekarisch verfügbare, faktische und prozessuale Wissen einzuordnen, das kontext-unabhängig Gültigkeit beanspruchen kann. Was die Aufdeckung weiterer, bislang unbekannter kontext-unabhängiger Gesetz- und Regelmäßigkeiten betrifft, ist die Digitalisierung sehr erfolgreich. Wenn es jedoch darum geht, das Ausmaß der in der Praxis durch die Anfangs- und Randbedingungen im jeweiligen Kontext hervorgerufenen Abweichungen von den Regel- und Gesetzmäßigkeiten, d. h. die Variation der Ergebnisse zu erkennen und valide Vorhersagen zu tierindividuellen Prozessen zu treffen, verhält sich die digitale Technik wie ein Idiot. Dies trifft auch für den Umgang mit antagonistischen und synergistischen Effekten zu, die sich zwischen Wirkkomponenten ereignen und insbesondere bei Zielkonflikten zwischen den ökonomischen Interessen der Betriebe und den Interessen des Gemeinwohles (Tier- und Umweltschutz) aufbrechen können. Diese Komplexität ist einer mathematischen

Modellierung nicht zugänglich. Sie markiert relevante, bislang weitgehend ausgeblendete Grenzen der Digitalisierung. Folglich sollte man Rechnern (und den nur auf das Eigene fokussierenden Menschen) keine Aufgaben übertragen, die eine interaktive Beurteilungskompetenz erfordern (Schwemmer, 2004).

Die Komplexität wird erheblich ausgeweitet durch die betriebsspezifischen Grenznutzenfunktionen, denen die landwirtschaftlichen Produktionsprozesse unterliegen. Damit ist die Effizienz beim Einsatz von Produktionsmitteln nicht zuletzt vom jeweiligen Produktivitätsniveau und vom Ausmaß der unerwünschten Nebenwirkungen abhängig. Entsprechende Kenntnisse des betrieblichen Niveaus in Relation zu Mittelwerten sind dem Orientierungswissen zuzuordnen. Hierzu gehören auch Kenntnisse des tierindividuellen Nährstoffbedarfs, erforderlich im Bemühen, den Einzeltieren (Referenz) gerecht zu werden, d. h. sie tiergerecht zu versorgen. Bezüglich individueller und durchschnittlicher Referenzgrößen bestehen in der Praxis erhebliche Defizite und damit eine gewisse Orientierungslosigkeit, dem nur durch ein umfassendes Monitoring begegnet werden kann (Sundrum, 2018).

Neben Verfügungs- und Orientierungswissens bedarf es ferner eines Handlungswissens, d. h. Kenntnisse darüber, welche Maßnahmen im betrieblichen Kontext eine hinreichende Effektivität und Effizienz erwarten lassen, um sowohl dem Ziel der ökonomischen Existenzfähigkeit des Betriebes als auch des Selbsterhalts der im Betrieb gehaltenen Nutztiere Rechnung zu tragen. Auch hier sind Defizite in der Praxis offenkundig. Angesichts fehlender Automatismen werden digitale Techniken hier allerdings nur indirekt einen Beitrag leisten können, indem Ergebnisse und Erfahrungen im betrieblichen Kontext kontinuierlich erfasst, ausgewertet und bei Entscheidungen des Managements berücksichtigt werden.

6 Daten und Informationen als Mittel zum Zweck

Die Frage nach dem Verhältnis des Aufwandes der Datenakquise und -verarbeitung und dem Nutzen der dadurch gewonnenen Information erschließt sich am ehesten, wenn Daten und digitale Techniken als Mittel zu einem spezifischen Zweck und nicht als Selbstzweck gehandhabt werden. Ob anvisierte Ziele erreicht werden und wie effizient die eingesetzten Mittel dazu beitragen, ist einer Analyse zugänglich. Anwender digitaler Techniken sollten sich daher im Klaren

sein, welche konkreten Ziele sie mit dem Einsatz verfolgen und welche Maßstäbe sie an das Ergebnis der Produktionsprozesse anlegen. Genauso wichtig ist es, die Anforderungen zu kennen, die künftig bezogen auf umwelt-, tier- und Verbraucherschutzrelevante Auswirkungen der Nutztierhaltung an die Betriebe herangetragen werden. Entsprechend wird der Zweck des Einsatzes von Produktionsmitteln, wozu auch Datenakquise und -verarbeitung gehören, nicht nur vom einzelnen Landwirt definiert, sondern auch davon, in welchem Maße die Primärerzeugung mit ihrem Mitteleinsatz neben den Zielen der Produktivität auch einen Beitrag zum Gemeinwohl zu leisten in der Lage ist.

Die Herausforderung, divergierende private und öffentliche Interessen auszubalancieren, übersteigt deutlich das bisherige Ausmaß an Komplexität. Ausgangspunkt ist der Rückgriff auf belastbare Informationen. Hierzu können digitale Techniken beitragen, insbesondere da wo landwirtschaftliche Prozesse auf Regel- und Gesetzmäßigkeiten basieren. Dies gilt ferner für die kontinuierliche Erfassung von Produktionsleistungen sowie für das Monitoring der betrieblichen und überbetrieblichen Tierschutz- und Umweltschutzleistungen.

7 Schlussfolgerungen

Datenakquise und -verarbeitung bieten in der Nutztierhaltung diverse Potentiale der Informationsbeschaffung. Jedoch ist der Einsatz digitaler Techniken ambivalent, d. h. es können sowohl vorteilhafte als auch nachteilige Effekte damit verbunden sein. Dies betrifft nicht nur die Gefahr von Fehlinterpretationen und -entscheidungen sowie die damit einhergehenden Enttäuschungen, sondern auch das Verhältnis von Aufwand und Nutzen. Ob Vorteile die Nachteile überwiegen, entscheidet sich im jeweiligen Kontext und in Abhängigkeit von der Zielsetzung. Aufgrund der Kontextabhängigkeit biologischer Prozesse ist ein Abgleich zwischen divergierenden Zielen (Produktivitätssteigerung auf der einen und Verbesserung von Tier- und Umweltschutz auf der anderen Seite) nur innerhalb von Systemgrenzen, d. h. innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebssystems, möglich. Auswertungen von Big Data, welche zu verallgemeinernden Aussagen aggregiert werden, liefern allenfalls Anhaltspunkte für eine Hypothesenbildung, jedoch keine validen Vorhersagen bezüglich zu erwartender Ergebnisse.

Die hohen Erwartungen, die mit der Entwicklung und dem Einsatz digitaler Techniken verbunden sind, sollten nicht den Blick verstellen, dass unter den gegen-

wärtigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen keine Lösungen hinsichtlich der Tier- und Umweltschutzproblematik erwartet werden können, die den Landwirten mehr Geld kosten als sie einbringen. „Zur Versöhnung von Effizienzzielen und Erwartungen der Gesellschaft“ sind daher grundlegende Änderungen der Rahmenbedingungen erforderlich; dergestalt, dass Mehraufwendungen für Tier- und Umweltschutz sowohl über die Bindung von Subventionen an Leistungen für das Gemeinwohl als auch über zu entwickelnde Märkte mit entsprechender Produktdifferenzierung angemessen honoriert werden. Änderungsnotwendigkeiten bestehen auch deshalb, weil der seit Jahren anhaltende Stillstand bei der Lösung gesellschaftspolitisch relevanter Probleme die Bereitschaft der Steuerzahler unterminiert, die Landwirte in der bisherigen Größenordnung zu unterstützen.

Unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen ist es naheliegend, dass die Digitalisierung in der Nutztierhaltung vor allem zu einer weiteren Produktivitätssteigerung, inklusive der Gefahr zunehmender unerwünschter Nebenwirkungen eingesetzt wird. Sie könnte jedoch auch genutzt werden, um notwendige Veränderungen zu befördern. Hierzu gehören ein verbessertes Verständnis von Regel- und Gesetzmäßigkeiten (Verfügungswissen) und die Herstellung von Bezügen zu Referenzwerten (Orientierungswissen), um landwirtschaftliche Produktionsprozesse zu optimieren. Gleichzeitig kann sie eingesetzt werden, um den für eine Honorierung unabdingbaren einzelbetrieblichen Nachweis erbrachter Tier- und Umweltschutzleistungen zu dokumentieren. Für einen effektiveren und effizienteren Einsatz von Produktionsmitteln im jeweiligen betrieblichen Kontext (Handlungswissen) sind digitale Techniken jedoch nur indirekt von Nutzen.

8 Literaturangaben

- Baecker, D., 2018: 4.0 oder Die Lücke die der Rechner lässt. Merve Verlag.
- Bitsch, V., Glebe, T., Kantelhardt, J., Oedl-Wieser, T., Sauer, J., 2018: Agrar- und Ernährungswirtschaft zwischen Ressourceneffizienz und gesellschaftlichen Erwartungen. Berichte über Landwirtschaft 96 (2), 1-29.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft) (2017): Nutztierhaltungsstrategie. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Nutztierhaltungsstrategie.pdf>.

- Büchel, S., Sundrum, A., 2014: Decrease in Rumination Time as an Indicator of the Onset of Calving. *J. Dairy Sci.* 97, 3120-3127.
- Dillon, E.J., Hennessy, T., Howley, P., Cullinan, J., Heanue, K., Cawley, A., 2018: Routine inertia and reactionary response in animal health best practice. *Agric. Hum. Values* 35, 207-221.
- Rutten, C.J., Velthuis, A.G.J., Steeneveld, W., Hogeveen, H., 2013: Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 96, 1928-1952.
- Schwemmer, O., 2004: Der Mensch zwischen Weltbezug und Selbstsein. In: List E, Fiala E (eds) *Grundlagen der Kulturwissenschaften*. Francke, Tübingen, S. 339-358.
- Stein, S., 2016: Determination of subclinical metabolic disorders in transition of dairy cows. Diss. Universität Kassel.
- Sundrum, A., 2015: Metabolic disorders in the transition period indicate that the dairy cows' ability to adapt is overstressed. *Animals* 5, 978-1020.
- Sundrum, A., 2018: Beurteilung von Tierschutzleistungen in der Nutztierhaltung. *Berichte über Landwirtschaft* 96 (1), 1-33.
- Wallmann, J., Bode, C., Bender, A., Heberer, T., 2018: Abgabemengenerfassung von Antibiotika in Deutschland 2017. *Deutsches Tierärzteblatt* 96, 1238-1247.

Amarant als spurenelementreiches Biogassubstrat

M. Hartel¹, F. Lichti¹, M. Lebuhn², M. Fritz³, B. Sauer⁴, C. Bie-
loch¹, D. Young², A. Callaghan², L. Neumann³, S. Brunner³

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tier-
haltung, ²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Qualitätssi-
cherung und Untersuchungswesen, ³Technologie und Förderzentrum Straubing,
⁴Interdisziplinäres Zentrum für nachhaltige Entwicklung, IZNE Universität Göttingen

1 Einleitung

Maissilage stellt in der Biogasbereitstellung auf Grund seiner hohen Methan-
hektarerträge und den förderpolitischen Modalitäten nach wie vor die wichtigste
Kulturpflanze dar. Die Gründe hierfür liegen auch im Fehlen eines adäquaten
Substrates als Alternative zum Biogasmais. Die hohen Gaserträge durch den
geringen Anteil an schwer abbaubaren Inhaltsstoffen sind bekannte Vorteile
des Silomais gegenüber anderen Kulturen. Allerdings können in überwiegend
mit Mais gefütterten Anlagen essentielle Spurenelemente für die methanpro-
duzierenden Mikroorganismen durch das Substrat nicht ausreichend nachge-
liefert werden, so dass schwerwiegende Prozessstörungen entstehen können
(Munk et al., 2010). Die mangelnde Nachversorgung mit Spurenelementen
kann oftmals nur mit Hilfe von mineralischen Biogasadditiven ausgeglichen wer-
den, wenn Gülle oder Mist aus der Tierhaltung bzw. größere Mengen anderer,
spurenelementreicher Substrate nicht oder nur selten zur Verfügung stehen.

Der Einsatz alternativer Ackerkulturen als Co-Substrat stellt eine Möglichkeit
dar, die nötigen Spurenelemente im Gärprozess nachzuliefern. Viele Kultu-
ren akkumulieren im Vergleich zu Mais deutlich mehr Spurenelemente (SPE)
in den oberirdischen Pflanzenteilen. Unter den möglichen Ackerkulturen wurde
die Kulturpflanze Amarant bisher überwiegend zur Nahrungsmittelproduktion
angebaut. Als Biogassubstrat erzielt Amarant durchaus hohe Trockenmasse-
Erträge pro ha, wurde aber bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht als Substrat für
die Biogasproduktion eingesetzt. Aus ersten Anbauversuchen von Amarant zur
Selektion praxistauglicher Amarantlinien unter bayerischen Standortbedingun-
gen ergab sich, dass die Spurenelementgehalte deutlich über denen von Mais
liegen können (Trauner et al., 2016). Demnach könnte der Einsatz von industri-
ell hergestellten Spurenelementzusätzen durch den Einsatz von Amarantsilage

im Substratmix minimiert werden. Amarant könnte als Substratlieferant oder Cosubstrat in Zukunft somit eine Rolle spielen (Sitkey et al., 2013). Für die Praxis wäre dies ein sehr hilfreicher Ansatz. Allerdings ist praktisch noch nichts zur Stabilität im Biogasprozess mit Amarantzusatz im Langzeitbetrieb bekannt.

2 Zielstellung

Im Projekt sollte ein möglicher Ausgleich der Spurenelementversorgung durch die Zugabe von Amarant als Co-Substrat geprüft werden. Hierzu wurden die Prozessstabilität und Belastungsgrenzen in Langzeitversuchen geprüft und (i) die Monofermentation von Mais, (ii) die Fermentation von Mais mit einer Nährstoffsupplementierung, sowie (iii) die Fermentation von einer Maissilage – Amarant Mischung verglichen.

Für den interdisziplinären Ansatz der Langzeitversuche ergänzten sich die fachlichen Kompetenzen der beteiligten Institutionen. Für die Bereitstellung von geeignetem Amarant als Biogassubstrat dienten bereits begonnene Praxisversuche des Technologie und Förderzentrums (TFZ) zum gezielten Anbau und zur Züchtung von geeigneten Amarantlinien. Die Darstellung der Spurenelementverarmung und mögliche Zusammenhänge mit mikrobiologischen Effekten lieferten begleitende Untersuchungen zur Mikrobiologie durch die Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Untersuchungen zur Spurenelementanalytik der Silagen und Gärgemische wurden durch das Interdisziplinäre Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (IZNE) an der Georg August Universität Göttingen durchgeführt. Die technische Durchführung der Langzeitvergärung in Biogaslaborfermentern, sowie die physikalisch-chemische Abbildung der Biogasprozesse erfolgte am Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) der LfL.

3 Material und Methoden

Vor dem Start der Durchflussversuche sind geeignete Amarantlinien des Erntejahres 2015 ausgewählt und für die Durchflussversuche als Silage bereitgestellt worden. Basierend auf den Spurenelementgehalten von Amarant des Erntejahres 2013 zur Abdeckung der Spurenelement-Sollkonzentration (Frischmasse-Input) ist ein Substratverhältnis von 70 % Maissilage und 30 % Amarantsilage

festgelegt worden. Parallel dazu wurde eine geeignete Praxisanlage zur Bereitstellung der Maissilage und des Inokulums ausgewählt.

Zur Untersuchung der Langzeitstabilität des Biogasprozesses bei semikontinuierlicher Beschickung wurden die Durchflussversuche in kontinuierlich gerührten, liegenden Fermentern mit einem Nutzvolumen von je 40 L bei 38 °C durchgeführt. Neben der Erfassung der Biogas- und Methanerträge konnte das produzierte Biogas nach einem automatisierten Verfahren in regelmäßigen Abständen auf seine Zusammensetzung hin gemessen werden. Neben den Gärresten wurden auch Analysen der Spurennährstoffe für die selektierten Linien aus dem Zuchtgarten und der Referenzkultur Mais von derselben Fläche sowie der eingesetzten Maissilage durchgeführt. Die gemessenen Konzentrationen bildeten die Grundlage für die Prognose der Spurenelementgehalte in den Fermentern, die entnommenen und zugegebenen Massen bzw. Volumina und den während des Fermentermanagements entstandenen Verluste. Die für den Biogasprozess wichtigsten Zielelemente der Analyse waren hierbei Kobalt (Co), Nickel (Ni), Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Molybdän (Mo) und Zink (Zn). Die Belastungstests erfolgten durch eine Steigerung der Raumbelastung in Anlehnung an die VDI Richtlinie 4630 (Anonymus, 2016)

Tab. 1: Versuchsaufbau der untersuchten Varianten im Durchflussversuch. Substratmengen sind in Prozent, bezogen auf die Frischmasse angegeben

Fermenter ID	Variante	Substratanteil [% FM]	
		Mais	Amarant
A1	Kontrolle	100	-
A2	Kontrolle	100	-
A3	Kontrolle SPE	min. 100	-
A4	Kontrolle	70	30

In Tabelle 1 sind die gewählten Varianten dargestellt. A1 und A2 wurden hierbei ohne Spurenelementzugabe mit 100 % Mais gefüttert. Die Variante A3 wurde ebenfalls mit 100 % Maissilage gefüttert. Bei Erreichen der Schwellengrenze zur Mangelerscheinung (Lebuhn et al., 2014) wurde ein mineralischer Spuren-

elementcocktail zugegeben, um die optimale Nährstoffkonzentration für den Biogasprozess zu behalten. Variante A4 wurde ohne Spurenelementzugabe mit einer Substratmischung aus 30 % Amarant und 70 % Maissilage gefüttert.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der erfassten Gasertragsdaten zeigten bis zu einer organischen Raumbelastung (OLR) von $2,5 \text{ kg oTS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ nach 320 Versuchstagen (VT) keine Unterschiede zwischen den getesteten Varianten. Dabei konnten die Varianten mit A1, A2, A3 und A4 stabil betrieben werden. Allerdings zeichnete sich bei A4 bereits zu Beginn des Fütterungsbetriebes mit Amarant ein Anstieg des spezifischen Arbeitsvolumens ab. Im Langzeitbetrieb veränderte sich das Gärgemisch sichtbar, wodurch gegenüber den Varianten mit 100 % Maissilage mehr Gärrest zur Konstanthaltung des Arbeitsvolumens entnommen werden musste. Als Folge verkürzte sich hier die durchschnittliche hydraulische Verweilzeit gegenüber den Kontrollen. Das Gärgemisch verarmte zunehmend vor allem an Kobalt, obwohl tatsächlich über die Mais-Amarant Substratmischung mehr Kobalt geliefert wurde als über die Fütterung mit 100 % Maissilage. Die Verarmung in A4 konnte bereits vor der schaumartigen Veränderung des Fermenterinhaltendes durch das Vorhersagemodell zur Spurenelementversorgung abgebildet werden.

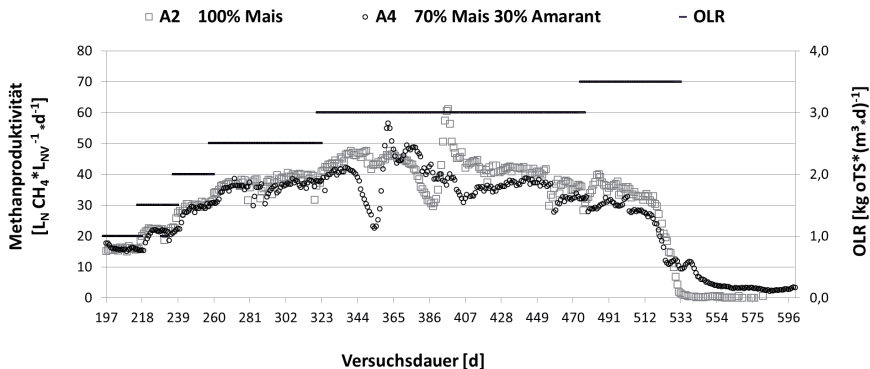


Abb. 1: Methanproduktivität der Substratmischung A4 70 % Mais und 30 % Amarant und der Kontrolle A2 ab Zugabe von Amarant (VT 197) bis zu Versuchsende (VT 596)

Ab einer organischen Raumbelastung von $3,0 \text{ kg oTS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ nach VT 360 konnte zunächst eine verringerte Methanproduktivität in allen Fermentern festgestellt werden. Im weiteren Verlauf sank als erstes bei der Variante mit Amarant die Methanproduktivität was auf die verkürzte Verweilzeit und auf ungünstigere Bedingungen für die Mikroorganismen zurückgeführt wird. Abbildung 1 zeigt einen Vergleich der Verläufe von A2 und A4. Nachdem die Substratmischung A4 als erste das Abbruchkriterium erreichte, folgte nach VT 531 die mit 100 % Mais gefütterte Variante A2. Bereits bei einer Raumbelastung von $3,0 \text{ kg oTS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ zeigten beide Varianten kurzfristig eine verringerte Methanproduktivität an, welche sich allerdings bei gleichbleibendem Futtermanagement innerhalb von 20 Tagen selbst regulierte.

Die prozesschemischen Untersuchungen ergaben im Versuchszeitraum einen Anstieg des Trockensubstanzgehaltes und eine starke Versauerung für alle Varianten. Dabei stiegen die Fettsäuregehalte in den Fermentern bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums bis auf maximal $17,0 \text{ g Essigsäureäquivalente} \cdot \text{kg FM}^{-1}$ an. Die Trockensubstanzgehalte stiegen bis auf 15 % TS an. Dabei konnte mit zunehmender Belastung bei der Substratmischung tendenziell ein leicht höherer TS-Gehalt gegenüber den mit 100 % Mais gefütterten Fermentern im Gärrest festgestellt werden (Abb. 2).

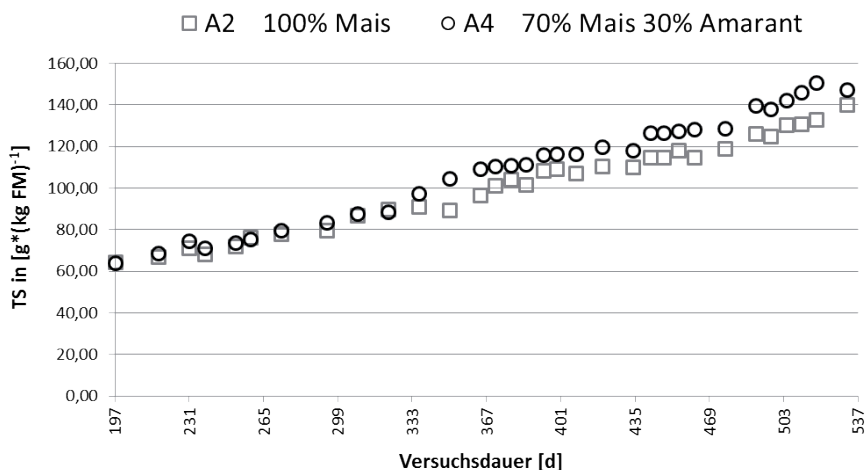


Abb. 2: Entwicklung des Trockensubstanzgehaltes der Gärreste der Substratmischung A4 und der Kontrolle A2

Abbildung 3 zeigt die FOS/TAC Werte im Versuchsverlauf. Dabei ist zunächst nach VT 330 ein kurzer, aber deutlicher Anstieg des FOS/TAC Wertes, zunächst bei A4, dann bei A2 ersichtlich. Wie bereits anhand der verringerten Methanproduktivität in Abbildung 1 ersichtlich, ist der gestörte Biogasprozess auch am Carbonatpuffersystem erkennbar. Ein Grund für diesen Effekt könnte eine mögliche Regeneration der am Biogasprozess beteiligten Mikroorganismen sein, durch die es kurzzeitig zu gestörten Prozessabläufen kam. Nach Aussetzen der Fütterung bei der mit 100 % Mais gefütterten Anlage A2 ab dem VT 531 stieg der FOS/TAC Wert kontinuierlich an. Durch den zeitgleichen Rückgang der Methanproduktivität ist dies ein Hinweis auf gestörte Prozessabläufe. Im Vergleich dazu stabilisierte sich der FOS/TAC Wert der Substratmischung nach Aussetzen der Fütterung am VT 531, was als Hinweis auf vorhandene und funktionierende Prozessabläufe gedeutet werden kann.

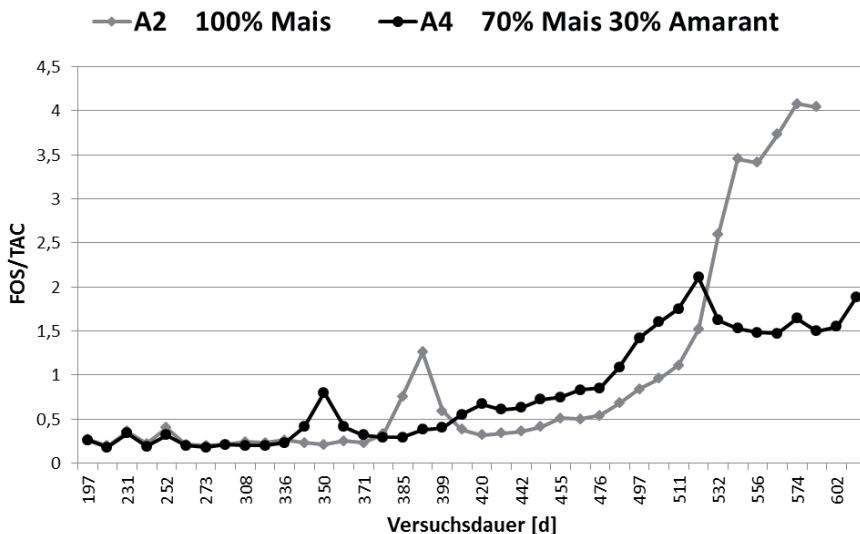


Abb. 3: Verlauf des FOS/TAC Wertes der getesteten Varianten A2 und A4

Hinsichtlich der Spurenelementversorgung unterstützten die Analyseergebnisse das Vorhersagemodell und zeigten geringere Konzentrationen im Mais – Amarant Gärrest gegenüber den Gärresten ohne Amarantanteil. Im Versuchsverlauf fiel der Kobaltgehalt im Fermenter A4 laut Vorhersagemodell unter die Schwelle zum Mangel von etwa $60 \mu\text{g} \cdot \text{kg FM}^{-1}$, im Fermenter A2 wurde diese Schwelle erreicht. Als weiterer Stressfaktor kam der Natriumgehalt in den Fer-

mentern der Schwelle zum Mangel von etwa 30 mg * kg FM⁻¹ sehr nahe. Diese beiden Faktoren werden als hauptverantwortlich für die Prozessversäuerung angesehen.

5 Fazit

Zusammenfassend kann zum jetzigen Zeitpunkt noch keine abschließende Aussage zum Einsatz von Amarant als Biogassubstrat getroffen werden. Neben der Bestätigung der Verfügbarkeit der Spurenelemente im Substratmix müssen die im Versuchszeitraum aufgetretenen Fragen für eine abschließende, praxisrelevante Aussage erst geklärt werden.

Die Variante A4 zeigte nach Aussetzen der Fütterung eine stetige Methanproduktivität an. Somit ist nicht auszuschließen, dass nach aussetzen der Fütterung noch eine ausreichende Versorgung mit Kobalt vorlag, welche essentiell für eine funktionierende Methanbildung durch die beteiligten Mikroorganismen ist.

Das Vorhaben wird vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie gefördert.

Literaturangaben

- Anonymus, 2016: VDI Richtlinie 4630, Verein Deutscher Ingenieure, Vergärung organischer Stoffe – Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche, (2016).
- Lebuhn, M., Munk, B., Effenberger, M., 2014: Agricultural biogas production in Germany - from practice to microbiology basics. *Energy, Sustain. Soc.*, 4/10, pp. 21 DOI:10.1186/2192-0567-4-10, <http://www.energysustainsoc.com/content/4/1/10>.
- Munk, B., Bauer, C., Gronauer, A., Lebuhn, M., 2010: Population dynamics of methanogens during acidification of biogas fermenters fed with maize silage. *Eng. Life Sci.*, 10/6, 496-508, DOI: 10.1002/elsc.201000056.
- Sitkey V., Gadus J, Klisky L, Dudak A., 2013: Biogas production from Amaranth Biomass. *Acta Regionalia et Enviromentalica, Nitra, slovac Universitas Agriculturae Nitrae*, Volume 10, Number 2, November 2013, p. 61-64.

Trauner, A., Fritz, M., 2016: Amaranth als spurenelementreiches Biogassubstrat: Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher Amaranth-Linien für bayerische Standorte, Zwischenbericht des Technologie und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TZF) über das Versuchsjahr 2015, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 05/2016, 72 Seiten.

Ergebnisse eines dreijährigen Düngungsversuches mit Gärresten zu Weizen und Silomais

D. Koch, M. Goebel

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel

1 Einleitung

Der Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) hat im Zuge der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie an einem Projekt teilgenommen, in dem unterschiedliche mineralische und organische Düngungsvarianten (Gärreste) miteinander verglichen werden sollten. Hierzu wurden an zwei Standorten nördlich von Kassel über einen Zeitraum von drei Jahren Versuche in Winterweizen und Silomais angelegt, betreut und beerntet.

2 Material und Methoden

In den nordhessischen Gemeinden Wettelingen und Espenau wurden von 2014 bis 2016 auf den Flächen zweier Betriebe mit angeschlossener Biogasanlage Exaktparzellenversuche in Weizen- und Maisschlägen angelegt. Die Parzellen wurden in die zuvor vom Landwirt ausgesäten Bestände eingemessen.



Abb. 1: Güllezweig von Zunhammer

Jede Einzelparzelle hatte eine Breite von drei Metern und eine Länge von acht Metern. Die Arbeitsbreite des Güllefassens, welches für das Projekt angeschafft

wurde (Güllezwerg von Zunhammer), betrug ebenfalls drei Meter (siehe Abbildung 1). Die Maisernte wurde per Handentnahme vorgenommen. Die Erntemengen wurden direkt auf dem Feld verwogen und schließlich am Feldrand mit einem einreihigen Maisäcksler zerkleinert. Die dabei gewonnenen Pflanzenproben wurden anschließend im Labor inhaltsstofflich analysiert.

Die Weizenversuche wurden mit einem Parzellenmähdrescher im Kerndruschverfahren beerntet. Die Kornfeuchte wurde mittels eine NIRS-Gerätes direkt während des Druschvorganges ermittelt.

Die jeweiligen Variantenpläne sind Tabelle 1 und Tabelle 2 zu entnehmen.

Tab. 1: Variantenplan Silomais

Variante		Stickstoffmenge (kg/ha)
1	Nullvariante	
2	KAS	S100 (50%)
3	KAS	S200 (100%)
4	KAS	S300 (150%)
5	Gärrest	S120 (60%)
6	Gärrest + KAS	S200 (50% + 50%)
7	Gärrest	S200 (100%)
8	Gärrest inkl. Piadin	S120 (60%)
9	Gärrest inkl. Piadin	S160 (80%)
10	Gärrest inkl. Piadin	S200 (100%)

Die Variante 1 der Versuche in einerseits Weizen, andererseits Mais dienten als Referenz (Kontrolle). Der in diesen Varianten gemessene oberirdische Stickstoffentzug wurde als derjenige angesehen, der der Pflanze in dem jeweiligen Versuchsjahr über die Vegetationsperiode hinweg vom Standort zur Verfügung gestellt werden konnte. In den verschiedenen Düngungsvarianten, wurde der Ausnutzungsgrad der jeweils gegebenen Düngungsmenge über die Differenzmethode (Schilling, 2000) bestimmt. Hierbei werden die Erträge und

die damit verbundenen Stickstoffentzüge, mit der vorgenommenen Düngung ins Verhältnis gesetzt. Um die Nährstoffwirkung der organischen Gärresten mit denen einer mineralischen Düngung qualitativ vergleichen zu können, wurde eine Stickstoffsteigerung mit Kalkammonsalpeter (KAS) in das Versuchsdesign miteingeschlossen (Variante 2 bis 4). Für die weiteren Varianten im Silomais wurden ausschließlich organische Varianten vorgesehen (Variante 5 und 7) sowie eine Kombination aus mineralischer und organischer Düngung (Variante 6). Schließlich wurde noch die Kombination einer organischen Düngung, in unterschiedlichen Stickstoffmengen, unter Zugabe eines Nitrifikationshemmers (in Form des Handelsproduktes PIADIN) in den Varianten 8 bis 10 mit in das Versuchsdesign aufgenommen.

Tab. 2: Variantenplan Winterweizen

Varianten		Stickstoffmenge (kg/ha)
1	Nullvariante	
2	KAS	S90/30/60
3	KAS	S120/40/60
4	KAS	S150/50/60
5	Gärrest zu Veg.-Beginn	S220/0/0
6	Gärrest im Frühj.	0/S220/0
7	Gärrest zu Veg.-Beginn + im Frühj.	S110/110/0
8	Gärrest zu Veg.-Beginn + KAS im Frühj.	S110/110/0
9	KAS zu Veg.-Beginn + Gärrest Frühj.	S120/100/0
10	Gärrest zu Veg.-Beginn inkl. Piadin	S220/0/0
11	Gärrest im Frühj. inkl. Piadin	0/S220/0
12	Gärrest zu Veg.-Beginn + im Frühj. inkl. Piadin	S110/110/0

Die Versuchsvarianten in den Weizenparzellen beinhalteten neben der unterschiedlichen Kombination von mineralischen und organischen Varianten auch noch den zeitlichen Aspekt. Ausgehend von der Überlegung, ob das Getreide mineralisch oder organisch angedüngt werden soll, haben sich die Düngungsvarianten 5 bis 9 ergeben. Neben der Differenzmethode zur Berechnung der N

Ausnutzung wird das Mineraldüngeräquivalent (Schilling, 2000) nach der Formel

$$MD\ddot{A} = \frac{N \text{ Menge im Mineraldünger}}{N \text{ Menge organischen Dünger}} \times 100$$

berechnet. Beschrieben wird hiermit die Menge an Stickstoffmineraldünger, welcher bei Ausbringung die gleiche Düngewirkung erzielt, wie 100 kg aus dem Gärrest. Die Berechnung des MDÄ wurde nur für die rein organischen Varianten vorgenommen, da nur hier ein unmittelbarer Nährstoffwirkungsvergleich möglich und sinnvoll war.

3 Ergebnisse und Diskussion

Silomais

Das aus den Parzellenerträgen berechnete Ertragsniveau liegt insgesamt sehr hoch im Vergleich zu Erträgen, die in der landwirtschaftlichen Praxis erzielt werden. Im Jahr 2017 wurde in Hessen ein Durchschnittsertrag von 543 dt FM/ha Silomais geerntet. Bei einem TS-Gehalt von 34 Prozent wäre dies ein Trockenmasseertrag von 184 dt je Hektar.

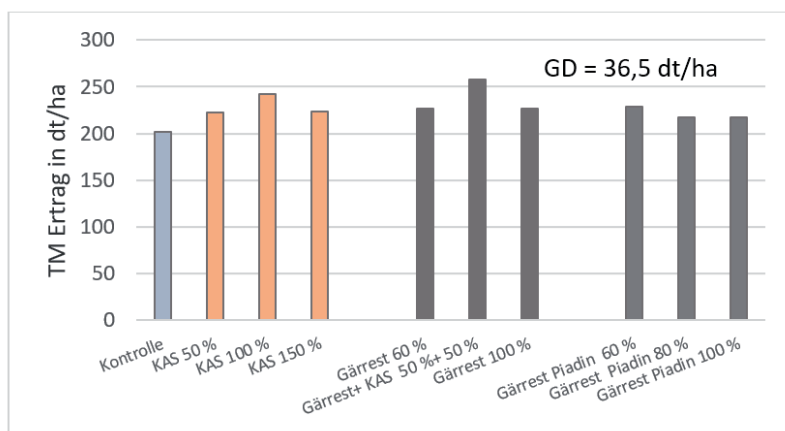


Abb.2: Einfluss unterschiedlicher Gärrestdüngungsvarianten auf den Silomaisertrag im Vergleich zu mineralischer Düngung (Gesamtmittelwerte über 2 Standorte x 3 Jahre)

Die Versuchsvariante 6 hingegen erzielte einen Ertrag von annähernd 260 dt Trockenmasse pro Hektar (siehe Abbildung 2). Dies könnte u.a. durch die verlustfreie Beerntung per Hand und darüber hinaus die Lage der Versuchspartellen, in denen Randeffekte (z. B. Ahnwanneinflüsse) nicht zum Tragen kommen, erklärt werden. Der Trockenmasseertrag in der Kontrollvariante liegt mit 201 dt je ha auf einem hohen Niveau und weist sicherlich auf eine hohe N-Nachlieferung aus dem Boden unter den Versuchsfeldern hin.

Die mineralischen Varianten zeigen einen idealtypischen Verlauf an. Die Ertragswirkung einer unteroptimalen, einer optimalen und einer überoptimalen Düngungshöhe sind gut zu erkennen. Die Varianten 6 (50 % N mineralisch + 50 % N organisch) erzielt die höchsten Erträge im Schnitt der drei Jahre und beider Standorte. Vergleicht man die Variante 5 mit der Variante 7 stellt man fest, dass 60 Prozent der N-Menge aus Gärrest die gleiche Ertragswirkung erzielt, wie die 100 Prozent der N-Menge ausgebracht über Gärreste. Die Gärrest-Varianten mit Zugabe von Piadin fallen unabhängig von der N-Aufwandmenge gegenüber den anderen Behandlungsvarianten ab.

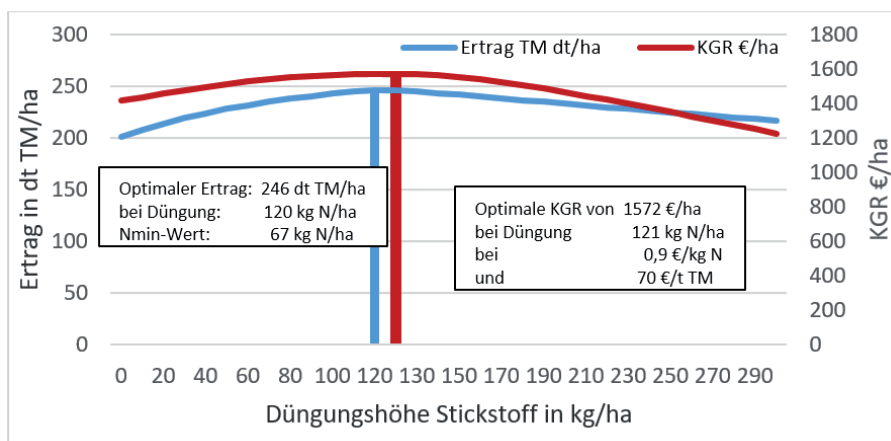


Abb. 3: Gärresterversuch 2014 bis 2018: Trockemasseertrag (dt TM/ha) und korrigierter Geldrohertrag (KGR in €/ha) von Silomais (2 Standorten x 3 Jahre)

Der Abbildung 3 ist zu entnehmen wie sich der Verlauf einer berechneten Ertragskurve in Abhängigkeit der gedüngten Stickstoffmenge darstellt. Die Ertragsfunktion nach Boguslawski und Schneider wurde auf die Varianten 1 bis

4 angewandt. Mittels der von Heyn (2005) entwickelten Anwendung ist nicht nur die Ertragsfunktion, sondern auch der korrigierte Geldrohertrag (KGR) ermittelt worden. Der KGR berechnet sich aus der Marktleistung abzüglich aller mit der Düngung im Zusammenhang stehenden Kosten. Die beiden im Zusammenhang mit einerseits dem reinen Optimalertrag, andererseits dem optimalen KGR, liegen mit 120 bzw. 121 kg N/ha relativ dicht beisammen.

Winterweizen

Auch die Erträge des Winterweizens über die drei Versuchsjahre hinweg sind als außerordentlich gut zu bezeichnen. Durch Anwendung der Ertragsfunktion nach Boguslawski und Schneider konnte in den KAS-Varianten ein Optimalertrag von 105 dt je Hektar bei dem Einsatz von 210 kg Stickstoff je Hektar ermittelt werden.

Insbesondere die Kombinationen von mineralischer und organischer Düngung erzielte vergleichbar hohe Erträge und zwar vor allen Dingen dann, wenn die Gärreste zu Vegetationsbeginn (Vb) appliziert worden sind (siehe Abbildung 4). Eine reine Gärrestdüngung fiel ertraglich ab. Auch die Zugabe von Piadin zum Gärrest zeigte signifikante Mindererträge in diesem Versuch.

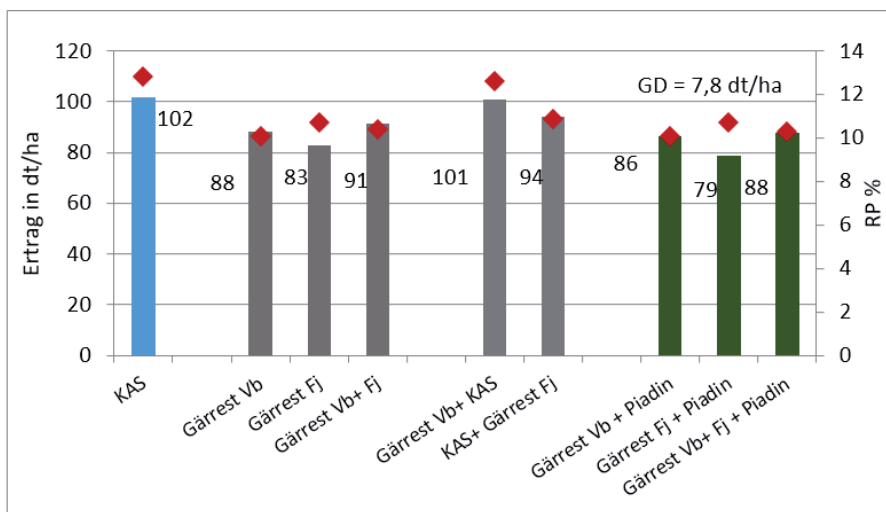


Abb. 4: Einfluss unterschiedlich gestalteter Gärrestdüngung auf den Weizen-Rohproteingehalt und -Ertrag im Vergleich zu mineralischer N-Düngung (Gesamtmittelwerte 2 Standorte x 3 Jahre)

In der Abbildung 5 ist die Stickstoffausnutzung und das berechnete MDÄ dargestellt. Ein der rein mineralischen Düngung vergleichbarer Grad der Ausnutzung wird nur über Gärrestdüngung zu Vegetationsbeginn in Kombination mit einer nachfolgenden KAS-Düngung erzielt. Eine ausschließlich organische Düngung des Weizens erzielt eine Nährstoffausnutzung von ca. 30 % und einen MDÄ von maximal 50 Prozent. Das heißt, es ist mehr als doppelt so viel Gärreststickstoff verglichen mit KAS-Stickstoff im ersten Versuchsjahr sowie im direkten Folgezeitraum von weiteren zwei Jahren notwendig, um den gleichen Ertrag zu erzielen.

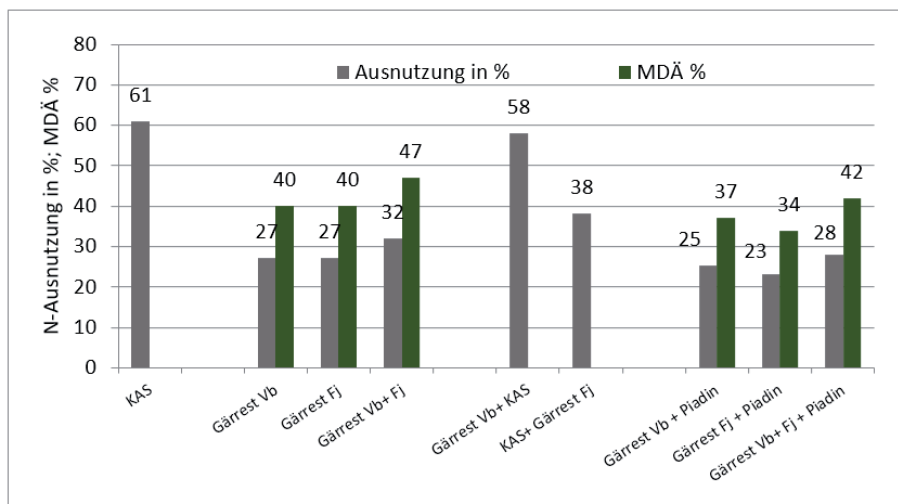


Abb. 5: Ausnutzung und MDÄ des gedüngten Stickstoffs unter Weizen (Gesamtmittelwerte 2 Standorte x 3 Jahre)

4 Fazit

Dreijährige Düngungsversuche des Landesbetriebes Landwirtschaft in den Kulturen Silomais und Winterweizen mit unterschiedlichen Gärrestvarianten haben aufgezeigt, dass die Kombination von organischen und mineralischen Düngern sowohl im Ertrag, als auch in der Stickstoffausnutzung anderen Varianten überlegen ist. Ein Zusatz von Piadin zum Gärrest ergab in beiden Versuchen keine Vorteile hinsichtlich des Ertrages oder aber der Stickstoffausnutzung.

5 Literaturangaben

Schilling, G., 2000: Pflanzenernährung und Düngung, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

Heyn, J., 2005: Die Anwendung der Ertragskurvenberechnung nach Boguslawski und Schneider bei der Auswertung aktueller N Steigerungsversuchen. Archives of Agronomy and Soil Science, <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=gags20>, 15. September 2016.

Einfluss einer Ammoniumthiosulfatdüngung auf die Manganverfügbarkeit und Manganaufnahme bei Weizen

H. Paul, M. Dreyern, K. H. Mühling

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

1 Einleitung

Trotz ausreichend hoher absoluter Mangangehalte der Böden, ist insbesondere auf Böden mit hohem Gehalt an freiem Kalk, z. B. in Teilen Schleswig-Holsteins, der Magdeburger Börde und der Schwäbischen Alb eine unzureichende Manganversorgung von Getreide zu beobachten, welche zumeist auf eine Mn-Festlegung zurückzuführen ist. Denn Mangan ist nur in seiner reduzierten (Mn^{2+}), nicht aber in seiner oxidierten Form (MnO_2 , Braunstein) pflanzenverfügbar (Blume et al., 2010). Je mehr freie Säure (H^+) im Boden vorhanden, und je geringer der Sauerstoffpartialdruck, umso mehr verlagert sich das Gleichgewicht zugunsten der pflanzenverfügbaren Form.

Im Rahmen mehrere Versuche zum Einfluss der Stickstoffform auf die Manganverfügbarkeit konnte gezeigt werden, dass die Manganverfügbarkeit mit steigendem Ammoniumanteil des Düngemittels zunimmt. Treibende Kraft ist dabei nicht wie ursprünglich angenommen die physiologisch saure Wirkung im Zuge der Ammoniumaufnahme, sondern vielmehr die H^+ -Freisetzung infolge der Nitrifikation (Weidemann und Mühling, 2011, Dreyer, 2016, Mühling et al., 2017, Rischen, 2016, Wichmann, 2016). Weiterhin konnten die Versuche zeigen, dass eine Düngung mit Ammoniumthiosulfat (ATS) gegenüber einer Düngung mit Ammoniumsulfat (SSA) in einer noch deutlicheren Verbesserung der Mn-Versorgung resultiert, was auf die reduzierend wirkende Thiosulfatkomponente des ATS zurückzuführen ist (Weidemann, 2015, Dreyer, 2016).

Ziel der Arbeit war es zu überprüfen, ob die Ergebnisse der positiven Wirkung des ATS auf andere Böden übertragbar sind und da eine alleinige Düngung mit ATS nicht praxisrelevant ist, ob es Wechselwirkungen zwischen der Düngung mit ATS und einer Nachdüngung mit AHL gibt.

2 Material und Methoden

Zur Klärung der Versuchsfragen wurde mit einem von der Schwäbischen Alb stammenden Boden, auf dem in der Vergangenheit unter praktischen Anbaubedingungen wiederholt Mn-Mangelsymptome zu beobachten waren, ein Mitscherlich-Gefäßversuch mit einer SSA- sowie einer ATS-Variante in vierfacher Wiederholung im Gewächshaus angelegt. Der Boden ist von der Bodenart als humoser toniger Lehm anzusprechen und wies zu Versuchsbeginn einen pH-Wert von 6,1 auf. Die erste Düngegabe von 0,5 g N/Gefäß erfolgte zu EC 14 mit ATS bzw. SSA. Daran anschließend erfolgte zu EC 21 (7 Tage nach der Düngung) sowie drei Wochen später zu EC 24 die Entnahme der Pflanzen- und Bodenproben. Um mögliche Wechselwirkungen zu quantifizieren wurde in beiden Varianten zu EC 24 einheitlich mit AHL nachgedüngt und anschließend zu EC 25 (11 Tage nach der zweiten N-Gabe) erneut Pflanzen- und Bodenproben genommen. Erfasst wurde neben dem pH-Wert nur das unmittelbar pflanzenverfügbare (0,025 M CaCl₂-extrahierbare) Mn im Boden sowie die Mn-Konzentration in der oberirdischen Pflanzensubstanz.

3 Ergebnisse und Diskussion

Gegenüber dem Ausgangs-pH von 6,1 kam es in beiden Varianten im Zeitverlauf zu einer deutlichen pH-Absenkung um ca. eine Einheit, die Unterschiede zwischen den Varianten waren indes marginal (Tab. 1). Zugleich waren zu diesem Zeitpunkt deutliche Unterschiede in der Mn-Verfügbarkeit nachzuweisen, welche sich jedoch nicht in der Mn-Versorgung der Pflanzen widerspiegelten. Infolge der einheitlichen Nachdüngung mit AHL in beiden Varianten kam es zu einer deutlichen Steigerung der Mn-Gehalte in der ATS- nicht aber in der SSA-angedüngten Variante. Auch zu diesem Zeitpunkt waren keine pH-Unterschiede vorhanden (Tab. 1).

Bei gleichzeitiger Betrachtung der Mn-Verfügbarkeit im Boden zeigt sich zu T2 eine deutliche Diskrepanz zwischen der Mn-Verfügbarkeit und der Mn-Konzentration der oberirdischen Pflanzensubstanz. Trotz einer um das Dreifache höheren Mn-Verfügbarkeit in der ATS-Variante zeigt sich eine tendenziell höhere Mn-Aufnahme in der SSA-Variante (Tab. 1). Daraus kann geschlussfolgert werden, dass eine hohe Verfügbarkeit im Boden offensichtlich nicht ausschlaggebend für eine hohe Mn-Aufnahme durch die Pflanze ist. Erst infolge der Nachdüngung mit AHL kam es gegenüber der SSA-Variante zu einem deutlichen Anstieg der

Mn-Versorgung der Pflanzen in der ATS-Variante, was auf eine Wechselwirkung zwischen der zur ersten und zur zweiten N-Gabe applizierten N-Form (ATS bzw. SSA mit AHL) hindeutet. Anzunehmen ist, dass es durch das mit der Nachdüngung zugeführte Nitrat zu einem positiven Effekt auf die Mn-Versorgung der Pflanze kommt und insbesondere die Kationenaufnahme durch das Vorhandensein von Nitrat gefördert wird (Kirkby, 1968).

Da trotz der deutlichen Unterschiede in der Mn-Verfügbarkeit zwischen den Varianten lediglich marginale Unterschiede in den pH-Werten gemessen wurden, scheint auf dem beprobten carbonatreichen Boden zudem kein kausaler Zusammenhang zwischen dem Boden-pH und der Mn-Versorgung zu bestehen. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich in einem Bodeninkubationsversuch, der die Entwicklung des Boden-pH und die Mn-Verfügbarkeit nach Applikation von Calciumnitrat (CN) und Ammoniumsulfat (SSA) zum Gegenstand hatte (Rischen, 2016).

Tab. 1: pH-Werte und Mn-Verfügbarkeit im Boden sowie Mn-Konzentration der oberirdischen Pflanzensubstanz zu EC 21, EC 24 und EC 25. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten ($P \leq 0,05$).

Variante	T1 (EC 21)	T2 (EC 24)	T3 (EC 25)
pH-Werte			
ATS+AHL	5,8 a	4,7 a	4,6 a
SSA+AHL	5,7 a	4,7 a	4,7 a
Mn-Verfügbarkeit ($\mu\text{g Mn kg}^{-1}$ Boden)			
ATS+AHL	147,1 a	763,0 b	362,7 a
SSA+AHL	84,6 a	225,2 a	208,7 a
Mn-Konzentration (mg Mn kg^{-1} TS)			
ATS+AHL	43,1 b	50,9 a	82,8 b
SSA+AHL	28,9 a	55,8 a	51,6 a

4 Zusammenfassung

Hinsichtlich der Mn-Verfügbarkeit im Boden resultierte die Düngung mit ATS gegenüber SSA in einer deutlichen Verbesserung. Gleichzeitig wird

bei Betrachtung der Mn-Konzentration der oberirdischen Pflanzensubstanz ersichtlich, dass eine hohe Verfügbarkeit im Boden allein offensichtlich nicht ausschlaggebend für eine hohe Mn-Aufnahme durch die Pflanze ist. Der Anstieg der Mn-Konzentration in den Weizenpflanzen nach der AHL-Nachdüngung legt vielmehr nahe, dass es durch das zugeführte Nitrat zu einem positiven Effekt auf die Kationenaufnahme der Pflanze kommt. Weiterhin zeigte sich auf dem beprobten Boden, dass der pH-Wert nicht ausschlaggebend für die Mn-Versorgung zu sein scheint. Die Ergebnisse konnten auf weiteren Versuchsböden (Elbmarsch, Litauen) reproduziert werden.

5 Literaturangaben

- Blume, H.P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knaber, I., Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.M., 2010: *Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- Dreyer, M., 2016: Untersuchungen zum Einfluss der Stickstoff-Form auf die Nährstoffversorgung von Weizen (*Triticum aestivum* L.) unter besonderer Berücksichtigung von Mangan - Ein Vergleich stabilisierter und nicht stabilisierter N-Dünger. Dissertation, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Kirkby, E.A., 1968: Influence of ammonium and nitrate nutrition on the cation-anion balance and nitrogen and carbohydrate metabolism of white mustard plants grown in dilute nutrient solutions. *Soil Science* (105), 133-141.
- Mühling, K.H., Rischen, M., Wichmann, M., Görlach, B., Ehmke, A., Dreyer, M., 2017: Effect of stabilized ammonium fertilizers on soil manganese availability and concentration of wheat plants. In: *Proceedings Book of the XVIII International Plant Nutrition Colloquium with Boron and Manganese Satellite Meetings* (A. Carstensen, K. H. Laursen and J. K. Schjoerring, eds), pp 935-936. University of Copenhagen, Denmark. ISBN 978-87-996274-0-0.
- Rischen, M., 2016: Einfluss stickstoff- und schwefelhaltiger Düngemittel auf die Manganverfügbarkeit im Boden unter besonderer Berücksichtigung des Nitrifikationshemmers Dicyandiamid. Masterarbeit, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

- Weidemann, C., 2015: Beeinflussung der Mn-Verfügbarkeit und der Mn-Konzentration in Winterweizen durch Applikation von N- und S-haltigen Flüssigdüngern. Masterarbeit, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Weidemann, C., Mühling, K.H., 2011: Einfluss verschiedener N-haltiger Düngemittel auf die pH-Werte im Boden und Rhizosphäre sowie die Mn-Gehalte von Boden und Winterweizen. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und -züchtung der CAU Kiel (71), 97-103.
- Wichmann, M., 2016: Einfluss der Nitrifikation auf die Bodenreaktion und die Nährstoffverfügbarkeit - Ein Vergleich von stabilisiertem und nicht stabilisiertem Ammoniumsulfat. Masterarbeit, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Nickel – ein selten beachtetes Spurenelement

M. Sager

Bioforschung Austria, Wien

Vorwort

Die von der EFSA im Jahre 2015 herausgegebene Literaturstudien (Casalegno et al., 2015) zum Thema Nickel in Nahrung und Trinkwasser, in Futtermitteln, sowie über orale Toxizität und Kontaktdermatitis, sind Anlass, die zum Teil nicht publizierten eigenen Werte aus Umwelt, Landwirtschaft und Lebensmitteln zusammenzufassen. Eine Zusammenstellung lokaler österreichischer Daten ist deshalb sinnvoll, weil infolge unterschiedlicher Sorten, Böden, klimatischer Bedingungen und Umweltbelastungen auch unterschiedliche Gehalte in den Lebensmitteln möglich sind.

Nickelgehalte können durch Abrieb oder Korrosion von Stahl aus Mühlen und Messern erhöht werden (Sager und Mittendorfer, 1997), sodass im Vergleich insbesondere mit älteren Daten auch die Aufbereitungsmethode fester Proben zu beachten ist. Zunehmende Beachtung von Blindwerten und nachweisstärkere Messverfahren in den letzten Jahrzehnten haben die Datensicherheit hoffentlich erhöht.

Geologie

Über das Durchschnittsvorkommen in der Erdkruste findet man verschiedene Angaben, am plausibelsten erscheint der Wert 80 mg/kg (Wedepohl 1995). Beim Erkalten des Magmas wird Nickel aus der Silikatschmelze frühzeitig entfernt, daher findet man etwas mehr Nickel in basischen Gesteinen, Tonschiefern und im Flysch (Bodiš und Rapant, 1999). In Gegenwart von Schwefel wird Ni zusammen mit Fe in Pyrrhotit und Pentlandit $[(Ni,Fe)_9S_8]$ gebunden. Andere Vererzungen enthalten Chrom-Nickel-Cobalt angereichert, oder NiAs. Bachsedimente der Slowakei < 0,125 mm enthielten im Median 23 mg/kg (25 % Perzentil = 16 / 75 % Perzentil = 31 / 99 % Perzentil = 88 mg/kg) (Bodiš und Rapant 1999). In Österreich gibt es kleinräumige Vorkommen im Raum Rechnitz in Serpentiniten, sowie bei Preg-Kraubath, Trieben und Heiligenblut (Pirkl et al., 2015). Nickelhaltige Sulfide und Silikate verwittern relativ leicht, das mobilisierte Ni wird bevorzugt an Fe-Mn-Oxide resorbiert, z. B. in tropischen Lateriten (Bodiš und Rapant 1999; Pirkl et al., 2015).

Kohle und Erdöl

In Kohlen hingegen ist Nickel gegenüber Gesteinen und Böden nicht angereichert. In Österreich verwendete Braunkohlen enthielten im Median 29 mg/kg (Bereich 2,1 – 121), und Steinkohlen 15 mg/kg (Bereich 6,3 – 46) an Nickel. Dies liegt im Bereich von chinesischen Kohlen (9,3 – 18,6 mg/kg) oder Kohlen aus den USA (1,1 – 19 mg/kg) (Sager 1999). Nach der Verbrennung in kalorischen Kraftwerken in Österreich wurden 24-398 mg/kg in Schlacken und 22-153 mg/kg in Flugaschen gefunden. Ähnliche Werte für Flugasche aus Kohleverbrennung kommen aus Brasilien (Bereich 115–230 mg/kg) (Bellagamba et al., 1993). Nickel hat nach der Verbrennung Affinität zu Hämatit/Magnetit, nicht aber zu CaO/CaSO₄-Partikeln oder zu Ruß, insbesondere bei Verbrennung feingemahlener Kohle bei 1400°C mit Sauerstoff (Clarke, 1993).

Im Erdöl sind besonders Vanadium, aber auch Nickel, angereichert, gebunden an Porphyrine sie gelten daher als Marker für Ölverbrennung. Das Verhältnis V/Ni reicht von 10 bis 100 und kann zur Klassifikation der Öle und Ausgangsgesteine hinsichtlich der Redoxbedingungen der Entstehungszeit, sowie der Lithologie herangezogen werden (Lopéz Salvador und Monaco, 2017). Die thermische Behandlung bei der Erdöldestillation bewirkt die Anreicherung im Rückstand (Desprez et al., 2014), (Asphalt), welcher im Schnitt 336 mg/kg (Bereich 250–500mg/kg) Ni und >2000 mg/kg (Bereich 500–5000 mg/kg) V enthält. Asphalt ist deshalb eine Hauptquelle von Nickel im Strassenstaub (siehe Abschnitt Atmosphäre).

Böden und Düngemittel

In Böden sind höhere Werte sind eher bei Tonschiefern, eher niedrige bei Karbonaten als Ausgangsgestein zu erwarten, Anreicherungen über Serpentiniten (Danneberg 1999). Im Königswasserauszug, welcher Nickel nicht immer vollständig löst, fand man im Zuge der Bodenzustandsinventur in Ackerböden Ostösterreichs 34 mg/kg (Bereich 25-45 mg/kg) (Danneberg, 1999), im Stadtgebiet von Wien $30,3 \pm 6,3$ mg/kg (Plahl et al., 2002).

Nach Durchmischung der obersten 15cm verschiedener Böden mit nickelkontaminiertem urbanem Klärschlamm (4625mg/kg Ni) migrierte Nickel im Säulenversuch beim Nachwaschen mit carbonatischem simuliertem Flusswasser signifikant. Ni migrierte mehr in wasserungesättigten Säulen, außer im karbo-

natreichen Boden, und am weitesten im ungesättigten Sandboden, trotz gleichzeitiger pH-Erhöhung durch den Klärschlamm. Höhere Retention in der Säule durch Karbonat oder organischen Kohlenstoff wirkt sich nur bei ungesättigten Bedingungen aus (Welch und Lund, 1987). Sequentielle Löseverfahren zeigen hohe Affinität des Nickels zu manganoxid- und eisenoxidhaltigen Phasen, je nach geochemischer Matrix (Sager et al., 1989; Sager und Vogel, 1993). Etwa ¼ oder mehr ist jedoch auch refraktär gebunden. Besonders in nicht kontaminierten Böden ist die Mobilität in 0,16M Essigsäure und 0,2M Oxalatlösung gering (Sager, 2016). Kurzfristig aus Wässern adsorbierte Anteile an Sedimenten werden kaum aus neutraler oder alkalischer Salzlösung, jedoch fast vollständig bei pH 5 wieder freigesetzt. Da sich das an alkalischen Oberflächen bei der Sorption bildende Hydroxid nur langsam wieder löst (Sager, 2001; Zátka et al., 1992). Bei der Migration essigsaurer, weinsaurer oder oxalsaurer Lösungen durch tonige Barrieregesteine war Nickel immer schneller als Cd, Cu und Pb, und auch oft schneller als die Säure (Sager, 2001). Mischen von entwässertem Klärschlamm mit der gleichen Menge Sägespäne sowie 5 % Kalk erhöhten die wasserlösliche und die austauschbare Fraktion von Ni nach 3 Monaten infolge pH-Senkung (Ščančar et al., 2001).

Tab. 1: Nickel in Düngemitteln

mg/kg in TS	Median	Bereich	
Ackerböden Ostösterreich	34	25 - 45	Danneberg 1999
Kalkammonsalpeter	<0,5	<0,5–3,7	Sager 2009
Kalk, Dolomit	2,1	<0,5–30,5	Sager 2009
NPK-Mineraldünger	6,5	<0,5–30,5	Sager 2009
PK-Mineraldünger	11,4	2,2–23,4	Sager 2009
Diammonphosphate	16,4	4,0–89,5	Sager 2009
Gärrückstände (Biotonne)	4,12	1,6–9,8	Sager 2012
Gartenerden	7,6	<0,5–32,6	Sager 2009
Güllen, Miste	10,1	1,2–32,7	Sager 2009
Komposte	24,5	10,0–37,4	Sager 2009

Da Dünger zumeist geringere Nickelkonzentrationen als Böden enthalten, besteht keine Anreicherungsgefahr durch Düngung (Tab. 1). Eine Mineral-

düngergabe von 100 kg P/ha entspricht etwa der atmosphärischen Jahresdeposition auf die Ackerfläche, und eine Gabe von 100 kg N/ha noch weniger (Sager, 2009). Auch Komposte, Gülle und Mist enthalten weniger Nickel als die Ackerböden. So enthielt Bioabfall aus der getrennten Sammlung der Stadt Wien nach Vorreinigung durch Siebung und Magnettrennung in der Trockenmasse bei hoher Verbauung im Durchschnitt 10,46 mg/kg, bei geringer Verbauung 17,12 mg/kg, und am Stadtrand 14,43 mg/kg, die Stadtböden jedoch 30,25 mg/kg (Plahl et al., 2002). In organischen Abfällen, gesammelt in Biotonnen einer österr. Landeshauptstadt, war Nickel sogar etwas geringer als in Komposten vorhanden. Fehlwürfe (2 aus 44 Proben) erhöhten die Nickelkonzentration jedoch auf das 9-fache (Sager, 2012), sodass Kontrollen und Standortselektion empfehlenswert sind.

Wasser

Als Grenzwert für Nickel in Trinkwasser werden auf Empfehlung der WHO durch die EU-Richtlinie 98/83/EG 20 µg/l festgelegt.

Während bei Wässern pH < 6 Cu-Kontaminationen aus Rohrleitungen auftraten, war das bei Ni, Cd und Cr nicht der Fall, gemessen in Cornwall (Ander et al., 2016). Beim Sammeln von Regenwasser von Dächern mit einem Stahlbehälter führte durch dessen Korrosion durch atmosphärisch eingetragenes Chlorid jedoch zum Anstieg von Nickel im aufbereiteten Wasser (Dobrowsky et al., 2015).

An Nadelholzrinden wurde Ni aus synthetischem Süßwasser zu 58 % adsorbiert und zu 8-13 % desorbiert. Nach Vorbehandlung der Rinde mit Harnstoff wurden jedoch 86 % adsorbiert und nur 3-5 % desorbiert (Khokhotva und Waara 2011). Gerstenstroh kann pro Gramm etwa 10 mg Ni aus Lösung adsorbieren, maximal bei pH 4,85 (Thevannan et al., 2010). Montmorillonit sorbiert etwa 2 mg Ni pro Gramm Adsorbens bei pH 5-6, was durch Belegung mit Fe, nicht aber durch Belegung mit Al gesteigert werden kann (Cooper et al., 2002)

Beim Schütteln mit Kalk stellt sich in der Suspension ein pH 8-9 ein, wodurch Nickel, wie auch Pb, Cd, Zn, Cu und Cr(III), zu < 90 % an der Festphase adsorbiert werden. Die Sorption von Nickel an fein gebrochenen Ziegelsteinen war mit 80 %, und an Kieselsteinen zu 65 % deutlich schlechter (Aziz et al., 2008). Flugasche aus Kohlekraftwerken eignet sich zur Entfernung von Nickel aus

anorganisch belasteten Abwässern, z. B. aus der Buntmetallindustrie, was dahingehend notwendig sein kann, da Klärschlamm Bakterien bei $> 15 \text{ mg/l Ni}$ beeinträchtigt werden. Die Effizienz war besser als Aktivkohle, jedoch schlechter als Zeolith. Oberhalb pH 8,5-9 erfolgte vollständige und großteils irreversible Adsorption, unterhalb pH 4,5 jedoch keine (Mavros et al., 1993).

Atmosphäre und Staub

Die wesentliche Quelle ist die Verwitterung der Erdkruste, nebst anthropogenen Emissionen. Anthropogene Emissionen erkennt man durch Anreicherungen gegenüber Eisen.

In Norwegen wurde die Nickeldeposition aus Regenwasserkonzentrationen mit $1,2\text{--}12 \text{ g/ha.a}$, abhängig von der Niederschlagsmenge, berechnet (Berg et al., 1994), was man als Hintergrundwerte bezeichnen kann.

Höhere Niederschlagsmengen, teils auch als Nebel, können im Hochgebirge teils hohe Gesamtdepositionen fernab von Emittenten bewirken. An zwei walddahen Stationen wurden 1997/98 auf dem Christlumpkopf (1768m, Achenkirch, Tirol) Nickeldeposition von $25,02 \text{ g/ha.a}$ gemessen, davon $14,77 \text{ g/ha.a}$ nass, nur $0,71 \text{ g/ha.a}$ trocken, und $9,54 \text{ g/ha.a}$ okkult als Nebel. Weiter talwärts am Mühleggerköpfl betrug die Nickeldeposition nur $13,62 \text{ g/ha.a}$, davon $9,78 \text{ g/ha.a}$ nass, $3,67 \text{ g/ha.a}$ trocken, und nur $0,17 \text{ g/ha.a}$ okkult als Nebel (Bauer et al., 2008). Sequentielle Extraktion der Staubpartikel zeigte Nickel der Gruppe der immobilen Elemente zugehörig (Ni, Mo, Ca, Mg, Ba, Al) (Richter et al., 2007). Hohe Nickeldepositionswerte werden aus dem Stadtgebiet von Paris aus 1988 mit $170\text{--}240 \text{ g/ha.a}$ berichtet (Granier et al., 1992).

Die Konzentration im Strassenstaub erreichte in Tokyo einen Spitzenwert von 540 mg/kg (2005), lag in Seoul in 2010 bei 62 mg/kg (Bereich 42-109), und in Budapest in 2010 bei $27,5 \text{ mg/kg}$ (Bereich 19,2 – 49,9) (Sager et al., 2015); letzteres im Bereich von Böden.

Im Gegensatz zu Böden kann die aus luftgetragenen Stäuben mit Neutralsalzlösungen mobilisierbare Fraktion jedoch hoch sein, z. B. in Sevilla 1996 (Fernandez Espinosa et al., 2002). Der Anteil von mit $0,1 \text{ M-HCl}$ löslichem und also labil bewertetem Nickel in urbanen Staubproben aus dem Großraum Saloniki betrug etwa 80 %, in Staubproben industrienahe Standorte jedoch nur etwa 60 % vom

Gesamtgehalt. Als bioverfügbar wurde die Löslichkeit in künstlichem Serum herangezogen, welche von urbanen Staubproben bei etwa 46 %, von industrienahe Proben jedoch nur bei etwa 24 % lag. Als löslicher Anteil werden NiSO_4 , und als schwerlöslicher Anteil Ni-Oxide vermutet (Voutsas und Samara, 2002).

Völlig andere Partikel findet man in industriellen Stäuben in Hüttenwerken oder der Metallverarbeitung, wie NiS, NiSe, NiTe, Ni_3S_2 , NiAs, $\text{Ni}_{11}\text{As}_8$, Ni-Metall, Ferronickel, Ferrit und natürlich vorkommendem Pentlandit [$(\text{Ni},\text{Fe})_9\text{S}_8$]. Darunter befinden sich einige hochkarzinogene Spezies (NiS, Ni_3S_2). Sie wurden in einem speziellen sequentiellen Löseverfahren mit 0,1 M Ammoniumcitrat („löslich“), H_2O_2 -Citrat („sulfidisch“), Br_2 in CH_3OH („metallisch“) und HNO_3 - HClO_4 -HF („oxidisch“) unterschieden (Zatka et al., 1992).

Berufliche Exposition nickelhaltiger Stäube tritt vor allem in der Arbeitsplatzluft metallverarbeitender Betriebe. Lösliche Nickelverbindungen werden dabei rasch von der Lunge adsorbiert, besonders karzinogen ist Ni_2S_3 . Hingegen konnten im Nickelbergbau keine statistischen Belege für einen Zusammenhang zwischen Lungenkrebs und der Nickelbelastung gefunden werden, da das vorherrschende Mineral Pentlandit [$(\text{Ni},\text{Fe})_9\text{S}_8$] nicht karzinogen ist (Schaumlöffel 2012).

Da in Kohle Nickel in Form von Sulfiden und Oxiden vorliegt, findet man in der Flugasche von Kraftwerksemissionen NiSO_4 , NiS und NiS_2 , sowie nickelhaltige Spinelle NiFe_2O_4 , nicht jedoch Ni_2S_3 . Bei hoher Verbrennungstemperatur bildet sich hauptsächlich das Oxid, bei niedrigerer das Sulfat (Schaumlöffel, 2012).

Futtermittel

Die für verschiedene Tierarten im Handel erhältlichen Alleinfuttermittel enthalten durchschnittlich etwa 2 mg/kg an Nickel. Geringere Gehalte für Kälber und Hund/Katze kommen vermutlich durch Anteile an Fleisch- und Milchprodukten zustande. Etwas differenzierter ist das Vorkommen in Ergänzungsfuttermitteln, welches für Schweine, Zuchtsauen und Ferkel im Median etwas mehr Nickel als für Rind, Kalb, Wild und Geflügel enthält (Tabelle 2). In direkt auf Bauernhöfen in Niederösterreich beprobtem Grundfutter für Milchkühe war Nickel, wie die meisten Spurenelemente, am niedrigsten in Maissilage, und am höchsten in Heu. Die Probe Luzerne war eine Probe, die in 24 verschiedenen Labors gemahlen, und im selben Labor nach Trockenaufschluss analysiert wurde, was etwas über die Analysengenauigkeit aussagt.

Tab.2: Nickel in Futtermitteln, mg/kg (Sager 2006, Sager und Hobegger 2013)

	Median/Bereich Alleinfutter	Anzahl	Median/Bereich Ergänzungsfutter	Anzahl
Heu	3,10/1,09–7,98	18		
Grassilage	1,03/0,23–4,63	17		
Maissilage	0,25/0,17–0,36	8		
Krafftutter	1,00/0,31–1,92	18		
Luzerne	1,09/0,73–2,44	24		
Rind			3,76/1,54–12,6	73
Kalb	0,26/0,09–0,74	12	4,17/1,21–8,37	40
Schaf + Ziege	1,71/0,17–3,60	14	1,75/1,04–3,18	11
Pferd			2,37/0,85–7,12	46
Schwein + Sau	1,78/0,88–3,86	28	5,95/2,05–13,8	169
Ferkel	1,78/0,63–6,55	58	6,09/1,11–15,0	126
Geflügel	2,22/1,34–3,83	46	3,52/2,00–10,1	44
Hund+Katze (TS)	1,01/0,61–2,82	35	1,19/0,44–1,80	7
Fisch	2,21/1,41–3,36	12		

Pflanzliche Lebensmittel

Zur Humanernährung geeignete pflanzliche Lebensmittel enthalten etwas weniger Nickel als Futtermittel für Nutztiere, auch auf Trockenmasse bezogen, nur Karotten lagen überraschend hoch (Tab. 3). Hohe Werte für Kakao sind auch aus der Literatur bekannt. Weitere Nickelquellen für den menschlichen Verzehr, wie bekanntermaßen Nüsse, Spinat, oder Pilze, wurden jedoch nicht untersucht. Teeblätter und Kaffee können relativ viel Nickel enthalten, aber nicht das daraus hergestellte Getränk.

Tab. 3: Nickel in pflanzlichen Lebensmitteln

	Median/Bereich mg/kg TS	Median/Bereich mg/kg FS	Anzahl	
Kartoffeln	1,08/0,61 – 1,65	0,223/0,165 – 0,317	40	Spiegel, Sager 2008
Karotten	4,64/3,79 – 10,69	0,445/0,36 – 1,03	37	Unveröffentlicht
Weizen (Bio)	0,134/0,043 – 0,242		42	Sager, Erhart 2016
Weizen (Ringversuch)	0,255/0,118 – 0,692		30	Sager, Mittendorfer 1997
Gerste (Ringversuch)	0,34/0,18 – 1,06		24	Sager, Mittendorfer 1997
Tomaten mit Kern	0,235/0,115 – 0,485	0,018/0,011 – 0,038	22	Sager 2017
Tomaten ohne Kern	0,235/0,118 – 0,534	0,015/0,009 – 0,022	21	Sager 2017
Äpfel	0,08/ < 0,08 – 0,49	0,011/ < 0,003 – 0,035	104	Sager 2014
Milchschokolade	0,98/0,52 – 1,43		19	Sager 2012
Bitterschokolade	3,07/2,64 – 4,89		9	Sager 2012
Edelbitterschokolade	4,26/2,57 – 7,93		15	Sager 2012
Kakao	15,33/10,77 – 17,12		3	Sager 2012
Soja-„Milch“		0,59/0,43 – 1,06	5	Sager 2018

Nickel wird vor allem in Blattgemüse, Kakao und Nüssen angereichert. In einer Studie aus Grossbritannien enthielten Nüsse mit 2,5 mg/kg (FS) den weitaus höchsten Nickelgehalt (Ysart et al., 1999). Die Aufnahme von Zusätzen von löslichem NiSO_4 zu einem alkalischen Boden (pH=8,0 / 14,3 % Ton, 5,5 % CaCO_3) im Gefäßversuch in verschiedene Nutzpflanzen im Ausmaß von 0-600 mg/kg war nicht der zugebenen Menge proportional. Nur bei Gerste (*hordeum vulgare*) zeigte sich vermindertes Wachstum, nicht aber bei Kraut (*brassica juncea*), Spinat (*spinacea oleracea*), Sorghum (*sorghum vulgare*), Bohnen (*phaseolus vulgaris*), Tomaten (*solanum lycopersicum*) und Ricinus (*ricinus communis*). Nickel bleibt hauptsächlich in den Wurzeln, nur beim Kraut ging der Überschuss schließlich in den Spross. Die maximale Nickelaufnahme erfolgte in Spinatblättern, bzw. bei Ricinus in Wurzel und Blätter, die geringste in die Tomatenpflanze. Hinsichtlich essbarer Anteile wurden bei Spinat 65 mg/kg, in Bohnen 21 mg/kg, in Sorghumkörnern und Gerste 4 mg/kg, und in Tomaten 8,1 mg/kg TS an Nickel erreicht (Giordani et al., 2005).

Der Wert für dänisches Weißbrot (Median 101 $\mu\text{g}/\text{kg}$) gegenüber dem österreichischen Wert für Weizen (Median 255 $\mu\text{g}/\text{kg}$) erklärt sich aus der Feuchtigkeit und dem Ausmahlen des Getreides (Larsen et al., 2002). Ähnliche Nickelgehalte wurden bereits 1983 in der BRD mit im Median 228 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Bereich 60-1100 $\mu\text{g}/\text{kg}$) gefunden. Nach dem Ausmahlen enthielt das mit 70 % Ausbeute erhaltene Mehl jedoch nur 12 % des Gesamt-Ni, der Rest blieb in der Kleie (Scheller et al., 1988). Deutsches Vollkornbrot enthielt mit 0,166 mg/kg etwas mehr als doppelt so viel Nickel wie Mischbrot mit 0,069 mg/kg. Wegen Abrieb in der Bäckerei enthielt Vollkornbrot mehr Nickel als Vollkornmehl.

In deutschen Kartoffeln wurden nur 0,0165 mg/kg Frischgewicht gefunden (Brüggemann und Kumpulainen, 1995), hingegen in dänischen Kartoffeln im Median 0,050 mg/kg FS und in Karotten 0,051 mg/kg FS (Larsen et al., 2002).

Da in Weintrauben mehr als die Hälfte des Nickels in der Beerenhaut gebunden sind, geht bei der Weinerzeugung die Hauptmenge in den Pressrückstand, weitere Anteile werden am Flaschenglas adsorbiert. Auch Teeblätter enthalten vergleichsweise viel Nickel, aus verschiedenen Anbaugebieten Asiens im Median 1,7 mg/kg (Bereich 1,2–2,6). Da sie aus Lösung stark Nickel adsorbieren, ist der im Teegetränk gelöste Anteil minimal (Tadayon und Lahiji, 2011). Lösliches Nickel wird an gemahlenem Kaffee in der Kälte zu 90 % innerhalb von 15 min adsorbiert, bei 44°C allerdings nur mehr zur Hälfte. Die Desorption durch Säuren wird erst bei

Tab. 4: Nickel in tierischen Lebensmitteln

	Median/Bereich 'mg/kg TS	Median/Bereich 'mg/kg FS	Anzahl
Eiklar	<0,6	<0,28	77 Sager2011
Eidotter	<0,25	<0,23	65 Sager2011
Wurstwaren	0,142/0,017–0,304	0,054/0,008–0,148	35 Sager2010
Huhn (Brust)	0,124/0,064–0,313	-	17 Sageretal.2018
Huhn (Schenkel)	0,182/0,055–0,325	-	17 Sageretal.2018
Rehfleisch	-	0,020/<0,005–0,042	15 Sager2005
Rohmilch NÖ	<0,057/<0,05–0,185	<0,007/<0,007–0,024	103 Sager, Hobegger 2013
Vollmilch	0,02/<0,02–0,26	0,003/<0,002–0,041	30 Sager2018
Magermilch	<0,02/<0,02–0,09	0,002/<0,002–0,019	6 Sager2018
Rahm	<0,02/<0,02–0,07	<0,002/<0,002–0,015	6 Sager2018
Schlagobers	0,036/<0,02–0,10	0,015/<0,002–0,045	7 Sager2018
Hartkäse	-	0,243/0,024–0,406	14 Sager2012
Schnittkäse	-	0,286/0,063–1,062	19 Sager2012
Weichkäse	-	0,304/0,126–0,446	18 Sager2012
Frischkäse (Kuh)	-	0,273/0,065–0,470	18 Sager2012
Schaf/Ziegenkäse	-	0,115/0,036–0,259	15 Sager2012
Honig	0,030/<0,006–0,296	0,030/<0,006–0,296	122 Sager2017

pH 3 erreicht (Suk und Su, 2004). Obwohl die Ausgangsstoffe für die Biererzeugung deutliche Nickelgehalte enthalten, wie Hopfen mit 1,3 mg/kg (Bereich 0,6 – 2,1 mg/kg) oder Malz mit 0,11 mg/kg (Bereich 0,08 – 0,50 mg/kg), war im fertigen Bier das Nickel wegen der Filtration nicht nachweisbar (Čejka et al., 2011).

Tierische Lebensmittel

Muskelfleisch ist im Vergleich zu Innereien nickelarm. Bei Fleischwaren erfolgt Nickeleintrag durch Gewürze und Zusatzstoffe, aber nicht aus Edelstahl, oder aus Konservendosen (Scheller et al., 1988). Nickel in schwedischem Schweinefleisch, Leber und Niere, sowie Rindfleisch und Leber lag im Median unter der Nachweisgrenze von 0,010 mg/kg Frischgewicht, Rindernieren bei 0,014 mg/kg, nur einzelne Werte lagen geringfügig höher (Jorhem et al., 1989). Zur Simulation der Korrosion nickelbeschichteter Kupfer-Vollgeschosse wurden diese 7 Tage lang in Fleischsaft gelagert, und gaben bis zu 93 µg Ni ab, was zu keiner signifikanten Erhöhung der Nickelkonzentration im Schussbereich (2-3cm) von Reh- und Damwild führte. Beim Braten von Schweinefleisch wurden im Durchschnitt 2,8 µg (Max. 4,3 µg) gelöst (Paulsen und Sager, 2017).

Der Nickelgehalt von in Österreich im Handel erhältlichen Käsen (Sager, 2012) war mit 0,25 mg/kg FS nur weniger als halb so hoch wie in etwa gleichzeitig beprobten türkischen Frischkäsen mit 0,59±0,13 mg/kg FS. Bei Verpackung derselben türkischen Frischkäse in Metallbehältern stieg die Nickelkonzentration noch auf 1,28±0,08 mg/kg FS an (Bakircioglu et al., 2011).

Aufnahme aus Nahrung für den Menschen

Die nickelreichsten Nahrungsmittel für den Menschen sind Kakao (5,3-12,6 mg/kg) und dessen Produkte, Sojabohnen (4,7–8,1 mg/kg), Sonnenblumenkerne (2,3–5,8 mg/kg) und Walnüsse (3,6 mg/kg). Edelstahlbehälter, Edelstahltöpfe und Haushaltswasserleitungen können stark unterschiedliche Nickelmengen abgeben (Scheller et al., 1988). Bei Untersuchungen von im Handel befindlichen Milchprodukten und Rohmilch aus Österreich wurde jedoch keine unterschiedlichen Nickelgehalte durch Bearbeitung in der Molkerei festgestellt (Sager und Hobbeger, 2013; Sager, 2015; Sager, 2018)

In Speiseölen wurden mittlere Nickelkonzentrationen im Bereich 20-70 µg/kg gefunden, sodass deren Beitrag zur Gesamteinnahme vernachlässigbar ist.

Gehärtete Fette, wie Margarine, enthalten infolge nickelhaltiger Katalysatoren mit $1,70 \pm 0,32$ mg/kg etwas mehr Nickel (Leggli et al., 2011).

Ähnlich wie in den Proben aus Österreich (Tab. 4) wurde in Dänemark Nickel in Fleisch, Fisch und Eiern an oder unter der Nachweisgrenze gefunden (Larsen et al., 2002).

Tägliche Aufnahmemenge und Allergie

Mit den hier gewonnenen Mediankonzentrationen in der Frischsubstanz, sowie den durchschnittlichen Verkaufsmengen (Statistik Austria 2012) erreicht man, ohne Pilze, Nüsse, Reis und Blattgemüse, aber mit Vollkornweizen, eine Tagesaufnahme von $152 \mu\text{g Ni}$. Rechnet man das Vollkornmehl auf Auszugsmehl zurück, so ergeben sich $106 \mu\text{g Ni}$, was etwa dem empfohlenen Bedarf entspricht (Tabelle 5). Wiplinger und Pfannhauser kamen bereits 1998 zu ähnlichen Werten.

Tab.5: Abschätzung der Ni-Aufnahme aus dem durchschnittl. Jahresverbrauch(2011/12) ohne Reis, Pilze, Nüsse, Blattgemüse; aber mit Vollkorn

kg pro Jahr		mg/kg FS	mg pro Jahr
74,8	Obst (Apfel)	0,011	0,82
109,1	Gemüse (Tomaten)	0,018	1,96
61,1	Kartoffeln	0,223	13,62
99,7	Fleisch (Wurst)	0,054	5,38
89,1	Milch	0,004	0,36
19,4	Käse	0,248	4,81
90,2	Getreide (Weizen)*	0,255	23,00
2,0	Schokolade	2,644	5,29
1,1	Honig	0,064	0,07
	Summe		55,3 mg
			156 $\mu\text{g/d}$

* Mit dem Wert „Mischbrot“ $0,069$ mg/kg (Brüggemann und Kumpulainen, 1995) statt „Weizen“: $106 \mu\text{g/d}$; Eier enthielten Nickel unter der Nachweisgrenze

Ersetzt man den Konsum von Milch durch Soja-„Milch“ und den durchschnittlichen Konsum von Fleisch durch Nüsse und Gemüse von etwa gleichem Nährwert, und den Verhältnissen zwischen den von Karotten, Kraut und Salat in Österreich geernteten Mengen, so kommt man hingegen auf 496 μg Nickelaufnahme pro Tag. Da beginnen bereits nickel-allergische Personen zu reagieren, bei der doppelten Nickelmenge 10-30 % der Leute. Nickel-allergische Personen entwickeln bei oraler Einnahme von wenigen Milligramm Kontaktekzeme, eine Menge, die man mit Nüssen, Kakao oder Sojagetränken leicht erreichen kann (Jensen et al., 2006). 17 Studien zur Wahrscheinlichkeit des Ausbruchs einer Dermatitis durch Nickel ließen sich in 3 Gruppen zusammenfassen, abhängig von der Art der Nickelaufnahme (aus Wasser oder Nahrung), den beobachteten Symptomen und der Beobachtungsdauer (Jensen et al., 2006).

Literaturangaben

- Ander, E.L., Watts, M.J., Smedley, P.L., Hamilton, E.M., Close, R., Crabbe, H., Fletcher, T., Rimell, A., Studden, M., Leonardi, G., 2016: Variability in the chemistry of private drinking water supplies and the impact of domestic treatment systems on water quality. *Environ. Geochem. Health* 38; 1313-1332.
- Aziz, H.A., Mohd, N.A., Ariffin, K.S., 2008: Heavy metals (Cd, Pb, Zn, Ni, Cu and Cr(III)) removal from water in Malaysia: post treatment with high quality lime stone. *Biores. Technol.* 99, 1578-1583.
- Bakircioglu, D., Bakircioglu, K.Y., Ucar, G., 2011: Determination of some trace metal levels in cheese samples packaged in plastic and tin containers by ICP-OES after dry, wet and microwave digestion. *Food and Chemical Toxicology* 49, 202-207.
- Bauer, H., Smidt, S., Stopper, S., Herman, F., Puxbaum, H., 2008: Schwermetalleinträge in den Nordtiroler Kalkalpen. *Centralblatt für das gesamt Forstwesen* 125(2), 103-120.
- Bellagamba, B., Caridi, A., Cereda, E., Braga Marcazzan, G.M., Valkovic, V., 1993: PIXE application to the study of trace element behaviour in coal combustion cycle. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.* B75, 222-229.
- Berg, T., Røyset, O., Steinnes, E., 1994: Trace elements in atmospheric precipitation at Norwegian Background stations (1989-90) measured by ICP-MS. *Atmosph. Environ.* 28(21), 3519-3536.

- Bodiš, D., Rapant, S., 1999: Geochemical Atlas of the Slovak Republic, Part IV: Stream Sediments. Bratislava.
- Brüggemann, J., Kumpulainen, J., 1995: The status of trace elements in staple foods. II Some effects of cereal and potato processing. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 201, 7-11.
- Casalegno, C., Schifanella, O., Zennaro, E., Marroncelli, S., Briant, R., 2015: Collate literature data on toxicity of Chromium (Cr) and Nickel (Ni) in experimental animals and humans. EFSA Supporting Publications:EN-478. [287 pp.].
- Čejka, P., Horák, T., Dvořák, J., Čulík, J., Jurková, M., Kellner, V., Hašková, D., 2011: Monitoring of the distribution of some heavy metals during brewing process. *Ecol. Chem. Eng. S*, 18(1), 67-74.
- Clarke, L.B., 1993: The fate of trace elements during coal combustion and gasification: an overview. *Fuel* 72, 731-736.
- Cooper, C., Jiang, J.Q., Ouki, S., 2002: Preliminary evaluation of polymeric Fe- and Al-modified clays as adsorbents for heavy metal removal in water treatment. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 77, 546-551.
- Danneberg, O.H., 1999: Hintergrundwerte von Spurenelementen in den landwirtschaftlich genutzten Böden Ostösterreichs. *Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges.* 57, 7-24.
- Desprez, A., Bouyssiére, B., Arnaudguilhem, C., Krier, G., Vernex-Loiset, L., Giusti, P., 2014: Study of the size distribution of sulfur, vanadium, and nickel compounds in four crude oils and their distillation cuts by gel permeation chromatography inductively coupled plasma high-resolution mass spectrometry. *Energy Fuels* 28(6), 3730-3737.
- Dobrowsky, P.H., Carstens, M., De Villiers, J., Cloete, T.E., Khan, W., 2015: Efficiency of a closed-coupled solar pasteurization system in treating roof harvested rainwater. *Sci. Tot. Environ.* 536, 206-214.
- Fernandez Espinosa, A.J., Rodriguez, M.T., Barragais de la Rosa, F.J., Jimenez Sanchez, J.C., 2002: A chemical speciation of trace metals for fine urban particles. *Atmosph. Environ.* 36, 773-780.
- Giordani, C., Cecchi, S., Zanchi, C., 2005: Phytoremediation of soil polluted by nickel using agricultural crops. *Environmental Management* 36(5), 675-681.
- Granier, L., Chevreuil, M., Carru A.M., Chesterikoff A., 1992: Atmospheric fallout of organochlorines and heavy metals in the Paris area (France). *Sci Tot. Environ.* 126, 165-172.

- leggli, C.V.S., Bohrer, D., Do Nascimento, P.C., De Carvalho, L.M., 2011: Flame and graphite furnace AAS for trace element determination in vegetable oils, margarine and butter after sample emulsification. *Food add. contam. A*, 28(5), 640-648.
- Jensen, C.S., Menne, T., Johansen, J.D., 2006: Systemic contact dermatitis after oral exposure to nickel: a review with modified meta-analysis. *Contact dermatitis* 54: 79-86.
- Jorhem, L., Sundström, B., Åstrand, C., Haeglund, G., 1989: The levels of Zn, Cu, Mn, Se, Cr, Ni, Co, and Al in the meat, liver and kidney of Swedish pigs and cattle. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 188, 39-44.
- Khokhotva, O., Waara, S., 2011: The effect of environmental conditions on the stability of heavy metal filter material complex as assessed by the leaching of the adsorbed metal ions. *Environ. Poll.* 159, 1461-1463.
- Larsen, E.H., Andersen, N.L., Møller, A., Petersen, A., Mortensen, G.K., Petersen, J., 2002: Monitoring the content and intake of trace elements from food in Denmark. *Food Additives and Contaminants* 19(1), 33-46.
- Mavros, P., Zouboulis, A.I., Lazaridis, N.K. 1993: Removal of metal ions from wastewaters, the case of nickel. *Environ. Technol* 14, 83-91.
- Paulsen, P., Sager, M., 2017: Nickel and copper residues in meat from wild artiodactyls hunted with nickel-plated non-lead rifle bullets; *Eur J Wildl Res* 63(4), Art.63.
- Plahl, F., Rogalski W., Gilnreiner G., Erhart E., 2002 Vienna's biowaste compost – quality development and effects of input materials. *Waste Management and Research* 20, 127-133.
- Pirkl, H., Sched, A., Pfliederer, S., 2015: Geochemischer Atlas von Österreich – Bundesweite Bach- und Flusssedimentgeochemie 1978-2010, *Archiv für Lagerstättenforschung* 28, 288 S.
- Richter, P., Grino, P., Ahumada, I., Giordano, A. 2007: Total element concentration and chemical fractionation in airborne particulate matter from Santiago, Chile. *Atmosph. Environ.* 41 (32), 6729-6738.
- Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften* L 330, 41. Jahrgang, 5. Dezember 1998, 32-54. ISSN 0376-9453.
- Sager, M., Pucsko, R., Belocky, R., 1989: Evaluation of the speciation of inorganic constituents in sediments of the Reservoir at Altenwörth of the River Danube, *Arch. hydrobiol. Suppl.* 84, 37-72.

- Sager, M., Vogel, W. 1993: Heavy metal load of sediments of the River Gurk (Carinthia/Austria) - Merits and limitations of sequential leaching. *Acta hydrochim. hydrobiol.* 21, 21-34.
- Sager, M., Mittendorfer, J., 1997: Influence of Milling or Cutting Procedures on Trace Element Contents of Plant Samples, *Int. Journal of Envir. Anal. Chem.* 67, 59-71.
- Sager, M., 1999: Environmental Aspects of Trace Elements in Coal Combustion, *Tox. Environ. Chem.* 71, 159-183.
- Sager, M., 2001: Barrier Effects of Low- Permeable Clay Type Solids. Experiments with Model Leachates Containing Cd, Cu, Ni, and Pb and Organic Acids. *Geosystem Eng.* 4(1), 1-12.
- Sager, M., 2005: Aktuelle Elementgehalte in Fleisch und Innereien aus Österreich (Current elemental composition of meat, liver and kidneys from Austria). *Ernährung/Nutrition* 29(5), 199-206.
- Sager, M., 2006: Micro- and macro-element composition of animal feedstuffs sold in Austria. *Ernährung/Nutrition* 30(11), 455–473.
- Sager, M., 2009: Fertilization loads of less common elements to arable soils in Austria In; *Organic Farming: Methods, Economics and Structure* ISBN 978-1-60692-864-6. Editors: Michael Nelson and Ivan Artamova © 2009 Nova Science Publishers, Inc. Chapter 7, p.145-178.
- Sager, M. 2010: Über die Elementzusammensetzung von in Österreich erhältlichen Fertiggerichten und Wurstwaren. *Ernährung/Nutrition.* 34:2, 57-64.
- Sager, M. 2011: Mengen- und Spurenelemente in österreichischen Hühnereiern. *Ernährung/Nutrition* 35(2), 53-58.
- Sager, M., 2012: Element Composition from Urban Biowaste compared with Organic Fertilizers of Agricultural Origin, in: *Progress on Heavy Metals in the Environment; Selected Papers of the ICHMET-15 Conference*; J. Nriagu, J. Pacyna, P. Szefer, B. Markert, S. Wünschmann, J. Namiesnik eds., Maralte books, chapter 13.0: 1-14; 2321 DK Leiden, Niederlande
- Sager, M., 2012: Haupt- und Spurenelemente von Käse in Österreich. *Ernährung/Nutrition* 36, 149-159.
- Sager, M. 2012: Chocolate and Cocoa Products as A Source of Essential Elements in Nutrition. *J Nutr Food Sci* 2:123.
- Sager, M., Hobegger M., 2013: Elementgehalte in Rohmilch aus drei Regionen Niederösterreichs; Contents of elements in raw milk from three regions in Lower Austria *Ernährung/Nutrition* 37 (7/8), 277-290.

- Sager, M., 2014: Element- und Spurenelementgehalte von Äpfeln (Element and Trace Element Content of Apples). *Journal für Ernährungsmedizin* Oktober 2014, 8-12.
- Sager, M., 2015: Elementgehalte und Spurenelementgehalte in Rohmilch aus Österreich – Vergleich Almmilch – Stallmilch. *VDLUFA - Schriftenreihe* 70, 483-492.
- Sager, M., Chon, H.T., Marton L., 2015: Spatial variation of contaminant elements of roadside dust samples from Budapest (Hungary) and Seoul (Republic of Korea), including Pt, Pd and Ir. *Environ Geochem Health* 37, 181–193.
- Sager, M., Erhart, E., (2016): Spurenelemente in Getreide im Zusammenhang mit mobilen Bodenfraktionen unter konventioneller bzw. biologischer Bewirtschaftung. *VDLUFA Schriftenreihe* 73, 143-149.
- Sager, M., 2016: A simplified extraction schema to for the analytical characterization of apple orchard soils. *Journal of Soils and Sediments* 16(4), 1193-1202.
- Sager, M., 2017: Main and Trace Element Contents of Tomatoes Grown in Austria. *Journal of Food Science and Engineering* 7(5), 239-248.
- Sager M. 2017: The honey as a bioindicator of the environment, *Ecol.Chem. Eng. S.* 24(4), 583-594.
- Sager, M., 2018: Content of elements and trace elements in Austrian commercial dairy products. *Journal of Elementology* 23(1): 381-400.
- Sager, M., Lucke, A., Ghareeb, Kh., Allymehr, M., Zebeli, Q., Böhm, J. (2018): Dietary deoxynivalenol does not affect mineral element accumulation in breast and thigh muscles of broiler chicken. *Mycotoxin Research*, 34(2), 117-121.
- Ščančar, J., Milačič, R., Stražar, M., Burica, O., Bukovec, P., 2001: Environmentally safe sewage sludge disposal: the impact of liming on the behaviour of Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn. *J. Environ. Monit.* 3, 226-231.
- Schaumlöffel, D., 2012: Nickelspezies: Analyse und toxische Effekte. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 26, 1-6.
- Scheller, R., Strahlmann, B., Schwedt, G. 1988.: Lebensmittelchemische und – technologische Aspekte zur nickelarmen Ernährung bei endogen bedingten Kontaktekzemen. *Hautarzt* 39, 491-407.
- Suk, S.M., Su, K.D., 2004: Adsorption Features of Nickel Ion on Waste Coffee Grounds. Fall convention of the Korean Society for Geosystem Engineering, Hoam Convention Centre of Seoul National University, 2004. ISBN 89-950026-9-7-93550.

- Spiegel, H., Sager, M., 2008: Elementzusammensetzung von Weizen und Kartoffeln in Österreich unter Berücksichtigung des Einflusses von Sorte und Standort. *Ernährung/Nutrition* 32, 7/8, 297-308.
- Stasinou, S., Zabetakis, I., 2013: The uptake of nickel and chromium from irrigation water by potatoes, carrots and onions. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 91, 122-128.
- Statistik Austria, 2012: Standard-Dokumentation – Metainformationen (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zu den Versorgungsbilanzen für den tierischen und pflanzlichen Sektor. Aktuelle Version vom 27.4.2012. <http://www.statistik.at>.
- Tadayon, F., Lahiji, N., 2011: Availability of essential and nonessential elements in tea samples produced in Iran. *International Journal of Academic Research* 3, 1071-1075.
- Thevannan, A., Mungroo, R., Niu, C.H., 2010: Biosorption of nickel with barley straw. *Biores. Technol.* 101, 1776-1780.
- Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TWV), StF: BGBl. II Nr. 304/2001 [CELEX-Nr.: 398L0083], in der Fassung BGBl. I Nr. 51/2017.
- Voutsas, D., Samara, C. 2002: Labile and bioaccessible fractions of heavy metals in the airborne particulate matter from urban and industrial areas. *Atmosph. Environ.* 36, 3583-3596.
- Welch, J.E., Lund, L.J., 1987: Soil properties, irrigation water quality, and soil moisture level influences on the movement of nickel in sewage sludge treated soils. *J. Environ. Qual.* 16(4), 403-410.
- Wilplinger, M. and Pfannhauser, W., 1998: Essentielle Spurenelemente Cr, Cu, Mo, Ni, Se und Zn: Bericht über das Forschungsprojekt GZ.353.064. Wien: Bundeskanzleramt, Sekt. VI.
- Ysart, G., Miller, P., Crews, H., Robb, P., Baxter, M., De LArgy, Ch., Lofthouse, S., Sargent, Ch., Harrison N., 1999: Dietary exposure estimates of 30 elements from the UK total diet study. *Food Add. Contam.*; 16(9):391-403.
- Zatka, V.J., Warner, J.S., Maskery, D., 1992: Chemical speciation of nickel in airborne dusts: analytical method and results of an interlaboratory test program. *Environ. Sci. Technol.* 26(1), 138-144.

Phosphor-Nachlieferungspotenzial in Ackerböden: Vergleich der Elektro-Ultrafiltration (EUF) mit der Freisetzungsrates nach Flossmann und Richter

T. Appel¹, D. Horn²

¹Technische Hochschule Bingen, ²Bodengesundheitsdienst Ochsenfurt

1 Einleitung

Trotz niedriger CAL-P-Gehalte im Boden bleibt eine Düngewirkung oftmals aus. In manchen Fällen wird dafür ein ungewöhnlich hohes Phosphor-Nachlieferungspotenzial des Bodens verantwortlich gemacht. Zorn et al. (2016) empfehlen deshalb, die CAL-Methode durch die fraktionierte Wasserextraktion nach Flossmann und Richter (1982) zu erweitern, um in Kombination mit dem CAL-extrahierbaren P (P_{CAL}) eine P-Nachlieferungsrates (Pfr) zu errechnen. Für die erste Fraktion (P_{H_2O}) wird der Boden 60 min lang mit Wasser extrahiert (Boden:Wasser = 1:20), für die zweite Fraktion (P_{10}) dann nochmal 10 min lang. Der Pfr-Wert errechnete sich mithilfe eines Kinetikfaktors wie folgt:

Rechengröße:	$P_A = P_{CAL} - P_{H_2O}$
Kinetikfaktor:	$k_{10} = 0,1 \cdot \ln(P_A / (P_A - P_{10}))$; Einheit min^{-1}
Freisetzungsrates:	$P_{fr} = k_{10} \cdot P_{CAL}$; Einheit: $\mu\text{g P} / (100 \text{ g} \cdot \text{min})$

Appel und Friedrich (2016) fanden, dass der Pfr-Wert auf einem Standort aus Rohlöss (Neulandboden bei Garzweiler) die fehlende Wirkung der P-Düngung zu Mais erklären konnte. Auf zwei anderen Standorten erklärte der Pfr-Wert das Ausbleiben einer Wirkung der P-Düngung in einjährigen Feldversuchen mit Mais jedoch nicht. Es ist deshalb schwierig, die Pfr-Methode für praktische Belange mit hinreichender Zuverlässigkeit einzusetzen.

Mit der EUF-Methode wird im Routinebetrieb ebenfalls eine fraktionierte Wasserextraktion realisiert. Die erste EUF-Fraktion (EUF-P₁) extrahiert bei Zimmertemperatur in 30 min leicht lösliches Phosphat, die zweite EUF-Fraktion (EUF-P₂) folgt dann bei 80 °C und extrahiert in 5 min weiteren Phosphor. Sie liefert damit ebenfalls eine Information über das P-Nachlieferungspotenzial des untersuchten Bodens.

Ziel unserer Untersuchung war es, herauszufinden, inwieweit die Pfr-Werte als Ergänzung zum EUF-P oder dem CAL-extrahierbaren P bei der Beurteilung helfen können, ob ein Boden ausreichend mit P versorgt ist.

2 Material und Methoden

Insgesamt 32 Böden wurden herangezogen, um die Nachlieferungsrate nach Flossmann und Richter mit den Werten des EUF-extrahierbaren Phosphors und der P-Aufnahme der Pflanzen zu vergleichen. Die Böden stammten aus der Krume von Äckern verschiedener Regionen aus Rheinland-Pfalz. Die Böden wurden ursprünglich für ein agrikulturchemisches Praktikum an der TH Bingen von Studierenden mitgebracht und zunächst durch ein Sieb mit 2 mm Maschenweite passiert. Der Siebdurchgang wurde anschließend bei 40 °C im Trockenschrank über Nacht getrocknet. Zwei Tage nach dem Trocknen wurde ein Aliquot der Proben für einen Versuch in der Klimakammer mit Getreidekeimlingen verwendet („Neubauer-Versuch“, Neubauer und Schneider, 1923). Dazu wurden 100 g des zu untersuchenden Bodens lufttrockenen Bodens mit 50 g Quarzsand „verdünnt“ und in eine 500 ml Gefrierdose gefüllt (Kontrollgefäß 150 g Quarzsand). Das trockene Sandbodengemisch wurde in dem Gefäß gleichmäßig verteilt, dann mit einem Stopfen leicht angedrückt und mit 25 ml NH_4NO_3 -Lösung (10 mg N in 25 ml) gleichmäßig gedüngt. Diese Schicht wurde mit 125 g Quarzsand überdeckt und mit 50 ml entionisiertem Wasser (VE-Wasser) gleichmäßig befeuchtet (Kontrollgefäße nur 40 ml VE-Wasser). Auf der feuchten Quarzsandoberfläche wurden 100 Weizenkörner gesät, die dann mit 125 g Quarzsand überdeckt wurden. Bis zum Auflaufen wurden die Neubauer-Gefäße mit einer Glasplatte abgedeckt und in der Klimakammer mit Belichtung bei 20 °C platziert. Nach dem Auflaufen wurde die Glasplatte entfernt. Wasserverluste durch Evapotranspiration wurden täglich mit VE-Wasser ausgeglichen. Der Pflanzenaufwuchs wurde 18 Tage nach der Aussaat geerntet, indem die jungen Weizenpflanzen mit einer Schere direkt über der Wurzel abgeschnitten wurden. Der Aufwuchs wurde dann getrocknet, gewogen, pulverisiert und der enthaltende Phosphor mittels Mikrowellendruckaufschluss in HNO_3 gelöst. Die P-Konzentration im HNO_3 -Aufschluss wurde photometrisch gemessen und die P-Aufnahme der Pflanzen durch Multiplikation der P-Konzentration in Trockenmasse (TM) des Aufwuchses mit dem TM-Ertrag errechnet. Von dem Bruttowert der P-Aufnahme wurde die P-Aufnahme in zwei Kontrollgefäßen (ohne Boden) abgezogen (= Neubauer-P oder NB-P in mg/100 g Boden).

Für die Untersuchung des CAL-P, des EUF-P und des Pfr-Wertes wurden Rückstellproben der Böden verwendet (Tab. 1). Ausgewählt wurde dafür nur solche Böden, die einen mittleren bis geringen Gehalt an CAL-P hatten (≤ 6 mg/100 g). Außerdem sollten die Böden ein weites Spektrum an Bodeneigenschaften aufweisen (Tab. 2). Die chemischen Bodenuntersuchungen wurden mit mindestens zwei Laborparallelen durchgeführt.

Tab. 1: Phosphor-Fractionen in den ausgewählten Böden

	NB-Ertrag g TM je Gefäß	NB-P	CAL-P	EUF-P ₁	EUF-P ₂	P _{H₂O}	P ₁₀	Pfr µg P / (100 g * min)
	mg P / 100 g Boden							
minimal	1,5	-0,4	0,2	0,2	0,1	0,03	0,03	3,9
25 % Quartil	1,9	2,2	2,5	1,0	0,6	0,29	0,23	31,2
Median	2,0	3,2	3,6	1,4	0,9	0,63	0,32	39,4
75 % Quartil	2,3	3,8	5,2	1,7	1,1	0,77	0,49	68,4
maximal	2,8	7,9	6,1	2,6	1,9	1,37	0,73	101,1

Tab. 2: Humus, Textur und Acidität der ausgewählten Böden

	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Humus%	Sand %	Schluff%	Ton %
minimal	4,4	0,0	0,5	4,9	7,2	3,9
25% Quartil	5,6	0,0	2,0	16,2	40,9	11,0
Median	6,3	0,0	2,8	22,5	52,8	19,7
75% Quartil	6,8	0,0	3,6	40,5	62,4	25,6
maximal	7,5	18,9	5,6	88,9	84,9	36,8

3 Ergebnisse

Der Zusammenhang zwischen dem mit der CAL-Methode aus den Böden extrahierten P (CAL-P) und der P-Aufnahme der Pflanzen im Neubauer-Versuch war nur lose (Abb. 1). Wenn die Pfr-Werte über CAL-P hinaus Unterschiede in der P-Aufnahme der Pflanzen erklären kann, dann müssten Böden mit beson-

ders hohen Pfr-Werten in der Grafik besonders häufig oberhalb der Regressionslinie und Böden mit unterdurchschnittlichen Pfr-Werten unterhalb der Regressionslinie in Abbildung 1 zu finden sein. Die Einteilung der Pfr-Werte in 6 Klassen visualisiert, dass dies jedoch nur tendenziell zutrifft. Die beiden Böden Nr. 3 und 4 wiesen beispielsweise die höchsten Pfr-Werte auf, aber nur Boden 4 ist in der Grafik oberhalb der Regressionslinie positioniert. CAL-P und Pfr erklären zusammen in einer multiplen Regression 47 % der Variation der P-Aufnahme der Weizenkeimlinge im Neubauerversuch (Abb. 2). Das ist kaum mehr als durch die erste Fraktion der EUF alleine erklärt wird (Abb. 3) und auch weniger als die einfache Wasser-Extraktion (P_{H_2O}) erklärt (Abb. 4). EUF- P_1 und Pfr erklären in einer multiplen Regression 54 % der Variation der P-Aufnahme (Abb. 5). Sinnvoll wäre die Anwendung jedoch kaum, denn dies würde die Kombination dreier Methoden (CAL, Pfr und EUF) erfordern. Praktikabler und genauso gut lässt sich die P-Aufnahme der Pflanzen alleine mit Kenngrößen der EUF-Methode erklären, und zwar wenn in einer multiplen Regression zusätzlich zum EUF- P_1 der EUF- Ca_2 -Wert einbezogen wird (Abb. 6). EUF- Ca_2 repräsentiert das in der 2. EUF-Fraktion aus dem Boden extrahierte Ca. Der Ca_2 -Wert ist in carbonathaltigen Böden besonders hoch. Am besten erklärte der einfache P-Wasser-Extrakt in Kombination mit dem Sandgehalt der Böden die P-Aufnahme der Pflanzen (Abb. 7).

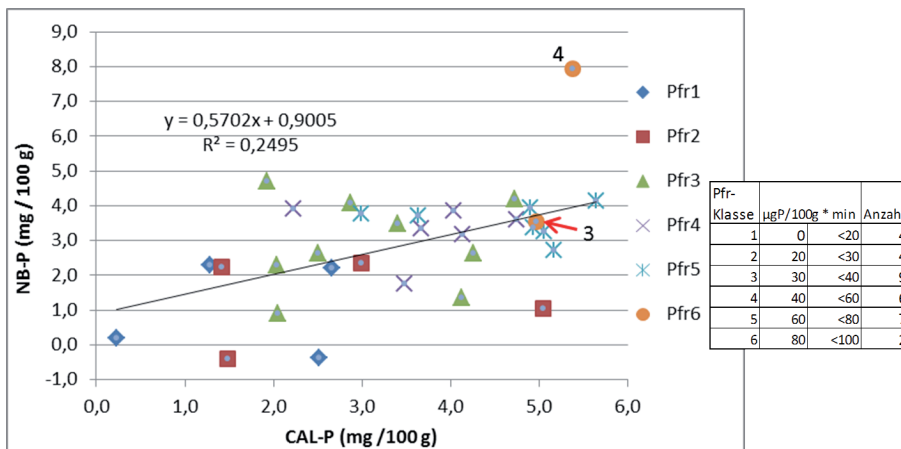


Abb. 1: P-Aufnahme der Pflanzen im Neubauerversuch (NB-P) in Abhängigkeit von CAL-P im Boden; die Pfr-Werte der Böden wurden in 6 Gehaltsklassen eingeteilt und in der Grafik markiert

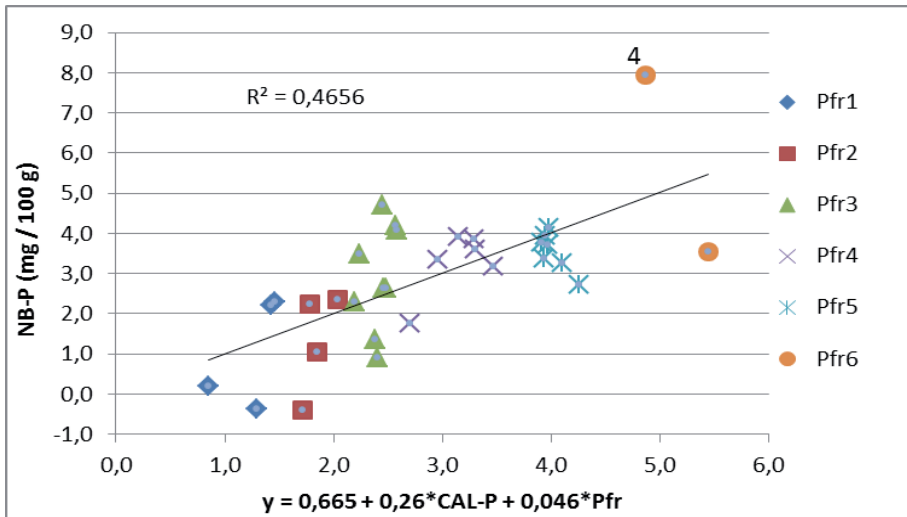


Abb.2: P-Aufnahme der Pflanzen im Neubauversuch (NB-P) in Abhängigkeit von den Regressoren CAL-P (mg/100 g) und Pfr ($\mu\text{g P}/(100\text{g} \cdot \text{min})$); Pfr-Klassen wie in Abb. 1

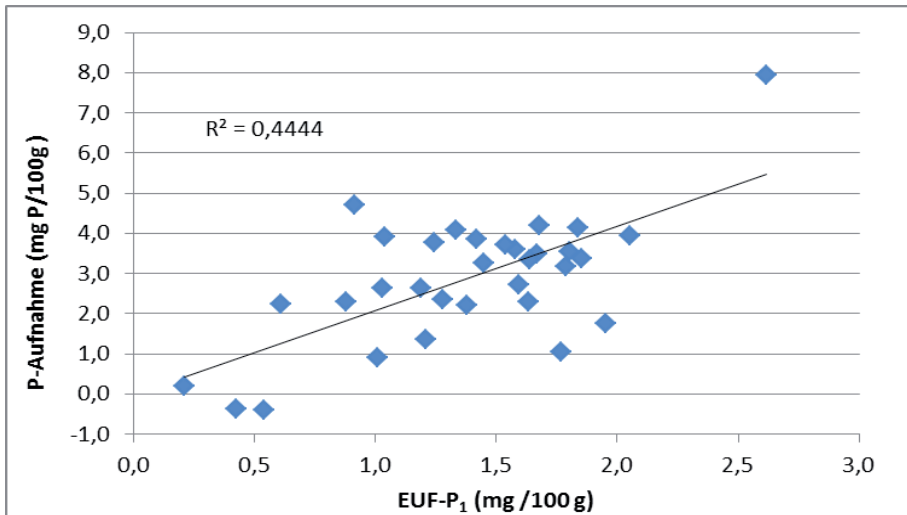


Abb.3: P-Aufnahme der Pflanzen im Neubauversuch (NB-P) in Abhängigkeit von EUF-P₁ im Boden

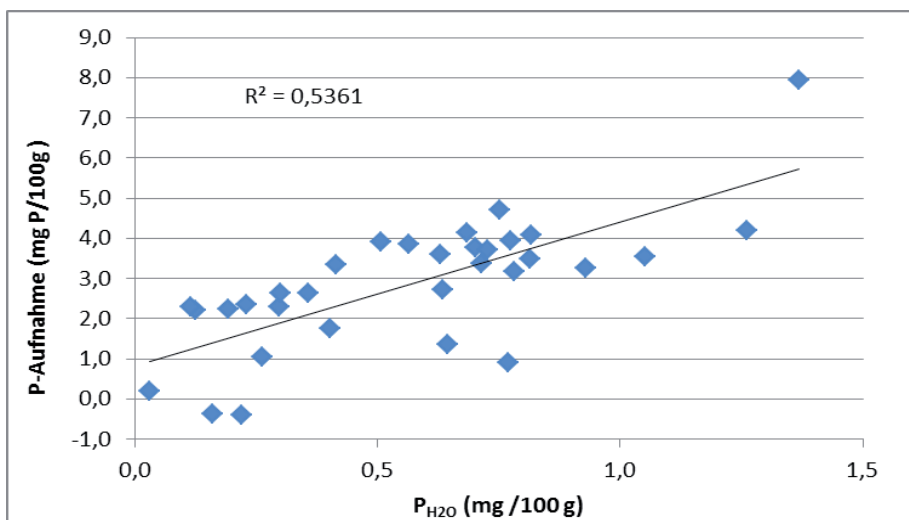


Abb. 4: P-Aufnahme der Pflanzen im Neubauerversuch (NB-P) in Abhängigkeit von dem mit Wasser extrahierbaren P im Boden

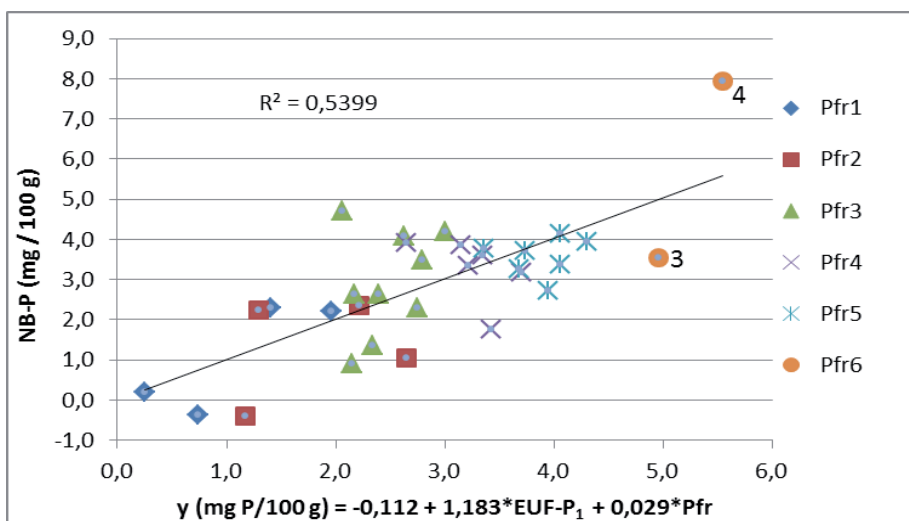


Abb. 5: P-Aufnahme der Pflanzen im Neubauerversuch (NB-P) in Abhängigkeit von den Regressor EUF-P1 (mg/100 g) und Pfr ($\mu\text{g P} / (100\text{g}\cdot\text{min})$); Pfr-Klassen wie in Abb. 1

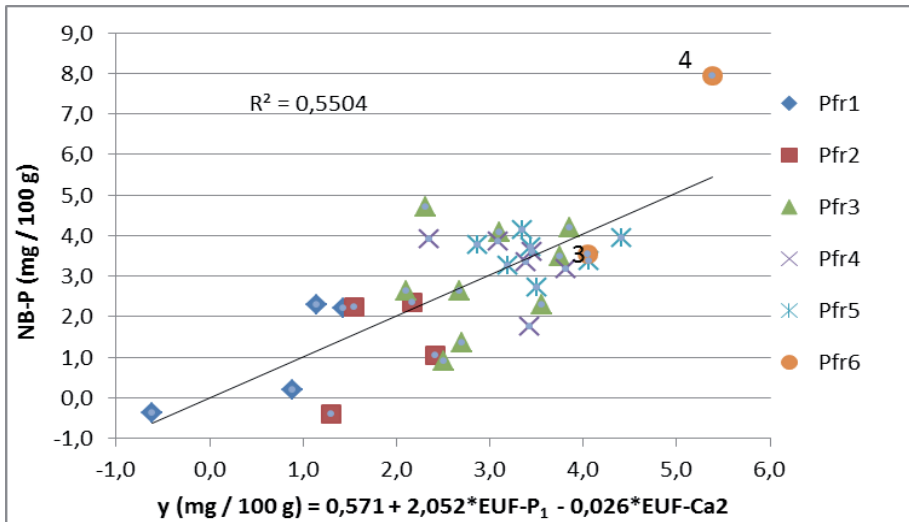


Abb. 6: P-Aufnahme der Pflanzen im Neubauversuch (NB-P) in Abhängigkeit von den Regressoren EUF-P₁ (mg/100 g) und EUF-Ca₂ (mg/100 g); Pfr-Klassen wie in Abb. 1

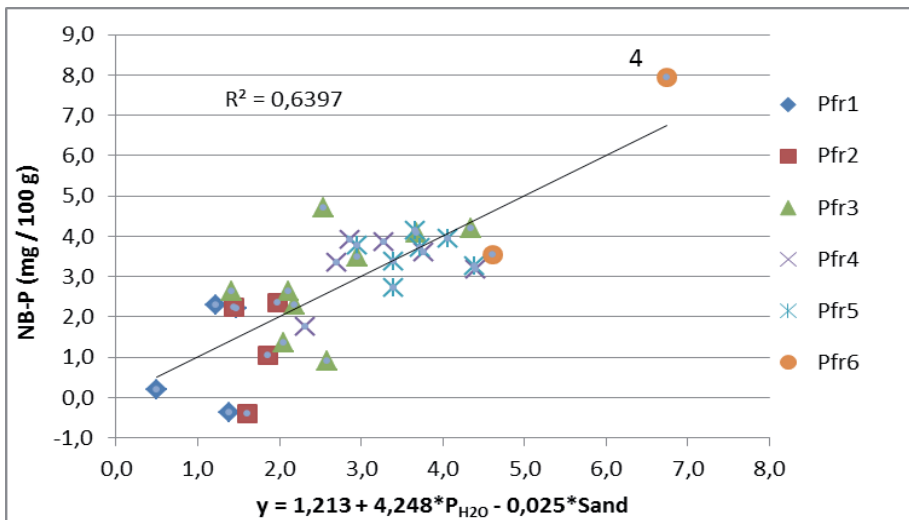


Abb. 7: P-Aufnahme der Pflanzen im Neubauversuch (NB-P) in Abhängigkeit von den Regressoren P_{H₂O} (mg/100 g) und Sand; Pfr-Klassen wie in Abb. 1

4 Diskussion und Fazit

Die Pfr-Werte sind für die CAL-, nicht aber für EUF-Methode eine sinnvolle Ergänzung. Bei der EUF-Methode ist die Einbeziehung methodeneigener Kenngrößen (z. B. des Ca²⁺-Wertes) besser geeignet, die Beziehung zur P-Aufnahme der Pflanzen zu steigern.

Ist die P-Aufnahme der Pflanzen im Neubauerversuch überhaupt ein geeigneter Indikator für den Grad der P-Versorgung eines Bodens? War die P-Nachlieferung für die jungen Keimpflanzen im Neubauerversuch überhaupt relevant? Rechnet man die P-Menge, welche die Keimpflanzen dem Boden im Neubauerversuch entzogen (im Mittel ca. 3 mg P/100 g Boden), auf Feldbedingungen um, dann entspricht das 135 kg P/ha_{0-30cm} (= 309 kg P₂O₅/ha), also etwa der 10fachen P-Menge, die normalerweise im Freiland vom Getreide aufgenommen wird. Diese Kalkulation verdeutlicht, dass die Keimpflanzen im Neubauerversuch und auch die Extrakte mit CAL, EUF oder Wasser die nachlieferbaren P-Reserven der Böden maßgeblich ausbeuteten. Die Schwäche der Bodenuntersuchung dürfte also kaum in einer ungenügenden Erfassung der P-Nachlieferung der Böden liegen. Im Gegenteil, besonders milde Extraktionsverfahren, z.B. Wasser- oder CaCl₂-Extrakte mit einem möglichst engen Boden-zu-Wasser-Verhältnis erscheinen eher geeignet, den für die Pflanzen im Freiland relevanten Grad der P-Versorgung im Boden anzuzeigen.

5 Literaturangaben

- Appel, T., Friedrich, K., 2016: Bedeutung von Krumentiefe, P-Freisetzungsrate und Kulturpflanzenart für die Phosphor-Düngewirkung. VDLUFA-Schriftenreihe 73, S. 206-214.
- Flossmann, R., Richter, D., 1982: Extraktionsmethode zur Charakterisierung der Kinetik der Freisetzung von P aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung. Arch. Acker-, Pflanzenbau u. Bodenk. 26, 703-709.
- Neubauer, H., Schneider, W., 1923: Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehaltes der Böden. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde A 2, 329-362.
- Zorn, Z., Schröter, H., Kießling, G., 2016: Mineralisches Phosphat. Jenseits der CAL-Methode. DLG-Mitteilungen 6, 24-27.

Aneignungsvermögen verschiedener Winterweizen-Genotypen für organisch gebundenes Phosphat

J. Falk, M. Heßler, D. Steffens

Institut für Pflanzenernährung, Interdisziplinäres Forschungszentrum für Umweltforschung, Justus-Liebig-Universität, Gießen

1 Einleitung

Phosphor (P) ist essentiell für die Ernährung von Mensch, Tier und Pflanze (Ragothama, 1999; Blume et al., 2010). Die Pflanze nimmt P in Form von Phosphat (H_2PO_4^- oder HPO_4^{2-}) aus der Bodenlösung auf. In esterartig gebundener Form spielt P eine wichtige Rolle beim Aufbau von Biomembranen und Nukleinsäuren. Durch Phosphorylierung kann P enzymatische Stoffwechselprozesse beeinflussen. (Schubert, 2011) Daher kommt der bedarfsgerechten Versorgung von Pflanzen mit P über die Düngung eine wichtige Bedeutung zu.

Vor dem Hintergrund einer wachsenden Weltbevölkerung und knapper werdenden Rohphosphatreserven, die zur Synthese aufgeschlossener P-Düngemittel genutzt werden, gestaltet sich die langfristige Versorgung schwierig. So schätzt Runge-Metzger (1996), dass die Rohphosphatreserven mit hoher Qualität noch 61 Jahre (Bezugsjahr: 1989) bzw. 88 Jahre (Bezugsjahr: 1992) ausreichen. Diese Entwicklung erfordert den sparsamen Umgang mit P in der Pflanzenernährung. Für Steffens (1999) ergeben sich hierbei zwei grundsätzliche Strategien: (1) Kreislaufwirtschaft und (2) Nährstoffeffizienz. Die effizientere Nutzung des P im Boden bietet Chancen, denn nach Schachtschabel et al. (1998) liegt P in Böden der gemäßigten Klimaten mit 200-800 mg P kg^{-1} in ausreichender Menge vor.

Jedoch ist nur das in der Bodenlösung vorliegende Phosphat (H_2PO_4^- oder HPO_4^{2-}) direkt pflanzenverfügbar. Dies macht den geringsten Anteil des Boden-P aus. Als pflanzenverfügbar sind zusätzlich Phosphate labiler Fraktionen zu sehen. Diese primären oder sekundären Calcium-Phosphate sowie austauschbar gebundene Phosphate stehen mit der Bodenlösung in stetigem Austausch. Ca. 90 % der Bodenphosphate gelten als praktisch nicht pflanzenverfügbar und stabil (Mengel und Kirkby, 2001). Dazu zählen u. a. organische P-Verbindun-

gen wie Phytate. 25-65 % des gesamten Boden-P-Gehalts liegen in organisch gebundener Form vor.

Die Aufnahme von P aus organischen Verbindungen setzt deren Mineralisation voraus. Pflanzen sind in der Lage mit Hilfe von wurzelgebundenen sauren Phosphatasen organisch gebundenes P zu mobilisieren. Steffens et al. (2010) konnten zeigen, dass verschiedene Pflanzenarten Natrium-Hexaphytat als P-Quelle nutzen. Doch ergeben sich Unterschiede hinsichtlich der Aneignungseffizienz.

Im Rahmen dieser Arbeit sollte untersucht werden, wie effizient sich verschiedene Winterweizen-Genotypen organisch gebundenes Boden-P aneignen können. Dazu wurden zwei Hypothesen aufgestellt: (1) Winterweizen nutzt Na-Hexaphytat als P-Quelle. (2) Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Aktivität der sauren Phosphatase und der Aneignung von Na-Hexaphytat.

2 Material und Methoden

2.1 Genotypen-Screening

Im Rahmen eines vorgelagerten Genotypen-Screenings wurden 200 Winterweizen-Genotypen („Set 200“) von einem Projektpartner hinsichtlich ihrer P-Aneignungseffizienz in Neubauergefäßen untersucht. Die P-Düngung wurde in 4 Varianten durchgeführt: Rohphosphat, Klärschlamm Recycling Produkt, Triplesuperphosphat (TSP), keine P-Düngung (P_0). Nach 35 Tagen wurde das Sprossmaterial geerntet. Mithilfe der Sprosstrockenmasse (Spross-TM) und der P-Konzentration im Spross konnte der P-Gehalt, bzw. die P-Aufnahme ermittelt werden. Um die Aneignungseffizienz der Genotypen für P in den 4 P-Düngevarianten abzubilden, wurden diese mit Gewichtungsfaktoren versehen: Rohphosphat (Faktor 4), Klärschlamm Recycling Produkt (Faktor 3), TSP (Faktor 2), P_0 (Faktor 1). Des Weiteren fanden im Rahmen des Genotypen-Screenings agronomische Merkmale Beachtung. So wurden Genotypen hinsichtlich ihrer Wuchslänge und der Reifezeit selektiert. Es wurden schließlich 20 Genotypen selektiert („Subset 20“). Diese setzen sich zusammen aus effizienten bzw. ineffizienten Genotypen hinsichtlich ihrer P-Aneignungseffizienz, aus langstrohigen bzw. kurzstrohigen sowie früh und spät abreifenden Genotypen.

2.2 Gefäßversuch

Der Gefäßversuch wurde mit den Genotypen des „Subset 20“ in Mitscherlich-Gefäßen auf der Gefäßversuchsstation des Instituts für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen durchgeführt. Die Anzucht erfolgte in Klimakammern (16 h Tag bei 22°C und 60 % Luftfeuchtigkeit, 8 h Nacht bei 16 °C und 70% Luftfeuchtigkeit).

Es wurden 3 kg einer Braunerde aus sandigem Löss (Bv-Horizont; pH 5,9; P (CAL) 5,94 mg P kg⁻¹) und 3 kg Quarzsand als Boden verwendet. Die P-Düngung erfolgte in 3 Varianten: Calciumdihydrogenphosphat [Ca(H₂PO₄)₂] [100 mg P (kg Boden)⁻¹], Natrium-Hexaphytat [C₆H₆O₂₄P₆Na₁₂] [100 mg P (kg Boden)⁻¹], P₀. Das zugeführte Natrium der Na-Hexaphytat-Variante wurde in den beiden anderen Varianten durch 14,95 mg Na (kg Boden)⁻¹ durch NaCl ergänzt. Die Düngung setzte sich wie folgt zusammen: 117 mg N (kg Boden)⁻¹ (NH₄NO₃); 400 mg K (kg Boden)⁻¹ (K₂SO₄); 50 mg Mg (kg Boden)⁻¹ (MgSO₄); 0,46 mg B (kg Boden)⁻¹ (H₃BO₃); 0,11 mg Mo (kg Boden)⁻¹ ((NH₄)₆Mo₇O₂₄); 20 mg Mn (kg Boden)⁻¹ (MnSO₄); 10 mg Zn (kg Boden)⁻¹ (ZnSO₄); 5 mg Cu (kg Boden)⁻¹ (CuSO₄).

Es wurden 30 Körner Gefäß⁻¹ ausgesät. Die Böden in den Gefäßen mit entionisiertem Wasser auf 60 % der maximalen Wasserkapazität eingestellt und regelmäßig randomisiert. Nach dem Auflaufen wurde auf 20 Keimpflanzen Gefäß⁻¹ vereinzelt und 20 Tage nach Aussaat in allen Varianten 83 mg N (kg Boden)⁻¹ (NH₄NO₃) nachgedüngt.

Nach 35 Tagen wurde der Spross geerntet, die Wurzeln ausgewaschen und jeweils die Frischmasse (FM) bestimmt. Das Pflanzenmaterial wurde bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend die TM von Spross und Wurzel ermittelt. Zur Vorbereitung der P-Analyse wurde 1 g zuvor vermahlene Pflanzenmaterial im Muffelofen bei 550 °C verascht. Die Asche wurde mit 5 M HNO₃ aufgenommen sowie nach Verdünnung und Filtration die P-Konzentration als NH₄-molybdo-vanado-Komplex bei einer Wellenlänge von 450 nm Wellenlänge gegen 0 gemessen (Gerike und Kurmies, 1952).

2.3 Bestimmung der Aktivität der wurzelgebundenen sauren Phosphatase

2.3.1 Pflanzenanzucht

Die Weizenpflanzen des „Subset 20“ wurden zur Bestimmung der Aktivität der sauren Phosphatase in Wasserkultur angezogen. Hierbei wurde für die 20 Genotypen jeweils eine Kontrollvariante ($10 \mu\text{M P L}^{-1}$) und eine P-Mangelvariante ($1 \mu\text{M P L}^{-1}$) in vierfacher Wiederholung angelegt. Die Anzucht erfolgte in Klimakammern (16 h Tag bei 18°C , 8 h Nacht bei 14°C). Die Nährlösung setzte sich wie folgt zusammen: 2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,5 mM K_2SO_4 ; 0,6 mM MgSO_4 ; 5,0 mM CaCl_2 ; 0,2 mM Fe-EDTA; 0,15 mM NH_4Cl ; 0,001/0,01 mM $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; 0,5 $\mu\text{M MnSO}_4$; 0,5 $\mu\text{M ZnSO}_4$; 0,3 $\mu\text{M CuSO}_4$; 0,005 $\mu\text{M} (\text{NH}_4)_2\text{MoO}_7$; 0,1 $\mu\text{M NiSO}_4$; 1 $\mu\text{M H}_3\text{BO}_3$.

2.3.2 Wurzellängenmessung

Nach Bestimmung der Wurzelfrischmasse wurden die Wurzel in 2-3 cm lange Stücke geschnitten und in einer Fixierlösung aus Eisessig und Ethanol bis zur Messung am „Comair root length scanner“ konserviert.

2.3.3 Aktivitätsmessung

Die Phosphataseaktivität wurde nach Beißner und Römer (1999) durchgeführt. Bei dieser Methode nutzt man p-Nitrophenylphosphat in einem 0,1 M Na-Citrat-Puffer (pH 5,0) als Substrat. Unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer, die denen der Anzucht entsprachen, wurden die intakten Pflanzenwurzeln für 10 min in die belüftete Substratlösung überführt. Als Gefäße dienten Bechergläser in lichtdichten Ständern. Nach 10 min Reaktionszeit wurde ein Aliquot von 1 mL entnommen und mit 4 mL einer 0,1 M NaOH überführt, um die Reaktion zu stoppen. Im alkalischen Milieu der NaOH wird das Produkt Nitrophenol in das gelbfarbige Nitrophenolat überführt. Die Messung des Spaltungsproduktes erfolgte photometrisch bei 405 nm. Um die Enzymkinetik berechnen zu können wurde das Substrat in 4facher Wiederholung in den Konzentrationen 10, 30, 50, 100, 500, 900, 2700, 4500, 7200, 10000 und 20000 μM angeboten.

2.3.4 Berechnung der Kinetikparameter

Die Berechnung der Kinetikparameter V_{max} und K_m erfolgte mit der Software OriginPro Originlab®.

3 Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt den TM-Ertrag der 20 verschiedenen Winterweizen-Genotypen im Gefäßversuch. Man erkennt, dass alle Genotypen Na-Hexaphydat als P-Quelle nutzen können. Der TM-Ertrag der Na-Hexaphydat-Variante ist geringer als in der Ca-Dihydrogenphosphat-Variante. Die Variabilität des TM-Ertrages ist in der Na-Hexaphydat-Variante größer, als in der Ca-Dihydrogenphosphat-Variante. So haben die Sorten 1 und 9 relativ weniger P aus Na-Hexaphydat aufgenommen, als die Sorten 6 und 12, die relativ am meisten Na-Hexaphydat-P aufgenommen haben.

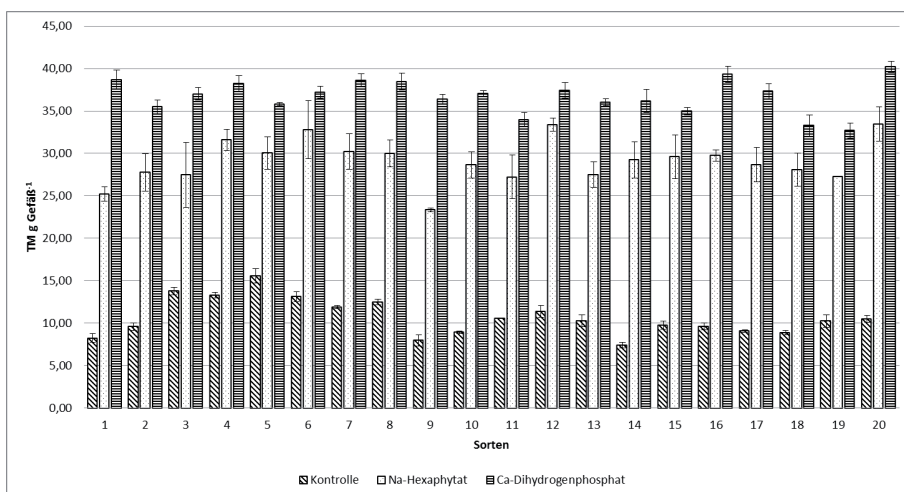


Abb. 1: Einfluss einer P-Düngung [$100 \text{ mg P (kg Boden)}^{-1}$] in Form von Natrium-Hexaphydat ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_{24}\text{P}_6\text{Na}_{12}$) und Calciumdihydrogenphosphat [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$] auf den TM-Ertrag (Spross und Wurzel) von 20 Winterweizensorten nach 35 Tagen. Abgebildet sind die Mittelwerte aus drei Wiederholungen und die Standardfehler.

Die 20 Winterweizen-Genotypen unterscheiden sich hinsichtlich der Netto P-Aufnahme aus Na-Hexaphydat (Abb. 2). So hat die Sorte 3 $30,93 \text{ mg P Gefäß}^{-1}$ aufgenommen, die Sorte 19 $52,07 \text{ mg P Gefäß}^{-1}$. Dies zeigt, dass es Unterschiede zwischen den Genotypen hinsichtlich der Aneignungseffizienz für Na-Hexaphydat gibt. In Tabelle 1 sind die Netto P-Aufnahmen aus der Na-Hexaphydat-Variante des Gefäßversuchs und die Parameter der Enzymaktivität K_m

und V_{\max} von sechs Genotypen abgebildet. Hier zeigen Genotypen mit hoher Netto P-Aufnahme aus Na-Hexaphytat, wie die Sorte 19 mit 52,07 mg aufgenommenem P Gefäß⁻¹, auch eine enzymatische Anpassung, die sich in einem erniedrigten K_m -Wert von 162,45 μM NPP widerspiegelt. Die Affinität der sauren Phosphatase zu ihrem Substrat ist hier erhöht. Genotypen mit geringerer Netto P-Aufnahme aus Na-Hexaphytat, wie die Sorte 4 mit 35,78 mg aufgenommenem P Gefäß⁻¹ zeigen eine geringere enzymatische Aktivität. Der K_m -Wert ist bei diesem Genotyp mit 1440,05 μM NPP höher, die Affinität der sauren Phosphatase zum Substrat geringer, als bei den Genotypen mit höherer Netto P-Aufnahme.

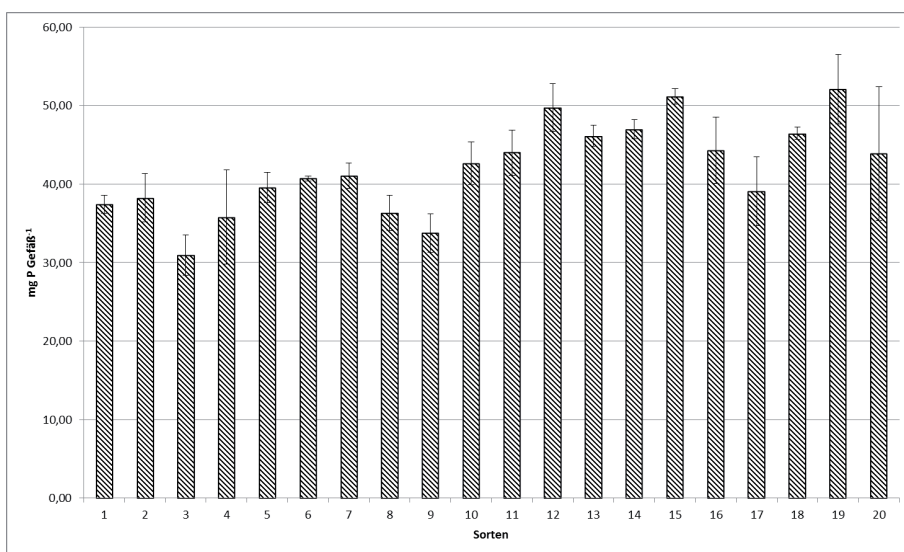


Abb.2: Netto P-Aufnahme von 20 Winterweizensorten nach Düngung mit organisch gebundenem P als Natrium-Hexaphytat ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_{24}\text{P}_6\text{Na}_{12}$). Abgebildet sind die Mittelwerte aus drei Wiederholungen und die Standardfehler.

Über alle Genotypen hinweg zeigte sich jedoch keine Konsistenz hinsichtlich der oben genannten Erkenntnisse. Unsere Korrelationsrechnung zwischen der Netto P-Aufnahme aus Na-Hexaphytat und dem K_m -Wert der Phosphataseaktivität ergab einen Wert von $r^2 = 0,0393$. Demzufolge bestand hier keine Beziehung zwischen der P-Aneignung aus organisch gebundenem P und unsere Enzymmessung.

Tab. 1: Netto P-Aufnahme von 6 ausgewählten Winterweizensorten nach Düngung mit organisch gebundenem P als Na-Hexaphytat ($C_6H_6O_{24}P_6Na_{12}$) sowie Parameter der Aktivität der Sauren Phosphatase unter P-Mangel.

Sorte	Netto P-Aufnahme aus Na-Hexaphytat (mg P Gefäß ⁻¹)	K_m (μM NPP)	V_{max} (μmol NP (m Wurzel- länge) ⁻¹ min ⁻¹)
19	52,07 ± 4,42	162,45 ± 73,42	0,0344 ± 0,007
12	49,76 ± 3,02	285,23 ± 98,33	0,0773 ± 0,007
13	46,13 ± 1,34	427,67 ± 235,1	0,0222 ± 0,002
4	35,78 ± 5,99	1440,05 ± 567,94	0,0387 ± 0,004
9	33,76 ± 2,43	568,24 ± 206,97	0,0246 ± 0,003
3	30,93 ± 2,55	889,84 ± 161,52	0,0342 ± 0,002

Tab. 2: Netto P-Aufnahme und relative Wurzel-TM von 6 ausgewählten Winterweizensorten nach Düngung mit organisch gebundenem P als Na-Hexaphytat ($C_6H_6O_{24}P_6Na_{12}$). (Ca-Dihydrogenphosphat:100%)

Sorte	P-Aufnahme aus Na-Hexaphytat (mg P Gefäß ⁻¹)	Relative Wurzel TM (%)
12	61,68	117,62
13	56,68	108,68
19	62,41	108,11
17	48,71	90,23
3	44,08	87,49
9	41,93	76,64

Interessanterweise zeigten die Sorten mit der höchsten gesamt P-Aufnahme in der Na-Hexaphytat-Variante relativ zur Ca-Dihydrogenphosphat-Variante gesehen das stärkste Wurzelwachstum (Tab. 2). So nahm die Sorte 12 insgesamt 61,68 mg P Gefäß⁻¹ bei einer relativen Wurzel-TM von 117,62 % auf. Wohingegen die Sorte 9 mit 41,93 mg P Gefäß⁻¹ lediglich ein relatives Wurzelwachstum von 76,64 % zeigte. Bei Betrachtung aller Genotypen und Korrelation beider Parameter ist bei einem r^2 -Wert von 0,6878 ein Zusammenhang zwischen der P-Aufnahme der Na-Hexaphytat-Variante und dem relativen Wurzelwachstum zu erkennen.

4 Zusammenfassung

Die weltweit knapper werdenden Rohphosphatressourcen machen eine effizientere Nutzung des im Boden vorhandenen P notwendig. Größere Mengen P liegen im Boden in organisch gebundener Form vor. In dieser Arbeit sollte untersucht werden, wie gut sich verschiedene Winterweizen-Genotypen P in organisch gebundener Form als Na-Hexaphytat aneignen können. Die Ergebnisse unseres Versuches in Mitscherlich-Gefäßen zeigten, dass die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Winterweizen-Genotypen Na-Hexaphytat als P-Quelle nutzen können. Obwohl Sortenunterschiede bestanden, war kein signifikanter Einfluss der Enzymaktivität auf die Aneignung von organisch gebundenem Phosphat (Na-Hexaphytat) zu erkennen. Es zeigte sich, dass das Wurzelwachstum einen bedeutend größeren Einfluss auf die P-Aufnahme hat, als die Aktivität der sauren Phosphatase.

5 Danksagung

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projekträgerchaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.“

6 Literaturangaben

- Beißner, L., Römer, W., 1999: Ermittlung kinetischer Parameter der sauren Phosphatasen intakter Zuckerrübenwurzeln bei variierten Phosphater-nährung, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 162: 561-569.
- Blume, H.-P., Brümmer, G., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K. & Wilke, B.-M., 2010: Scheffer/Schachtschabel-Lehrbuch der Bodenkunde, 16., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Gerike, S., Kurmies, B., 1952: Die kolorimetrische Phosphorsäurebestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat und ihre Anwendung in der Pflanzen-analyse. *Zeitschrift für Pflanzenernährung Bodenkunde* 104, 235-247.

- Mengel, K., Kirkby, E.-A., 2001: Principles of Plant Nutrition, Kluwer Academic Publishers.
- Ragothama, K.G., 1999: Phosphate acquisition. Annual Review of Plant Physiology and Plant, Molecular Biology 50: 665-693.
- Runge-Metzger, A., 1995: Closing the cycle: Obstacles to efficient P management for improved global security. Kapitel 3. In: Tiessen, H. (ed.), 1996: Phosphorus in the Global Environment; Wiley-VCH. pp. 27-42.
- Steffens, D., 1999: Nährstoffeffizienzen bei endlichen Ressourcen aus der Sicht der Pflanzenernährung. Workshop „Nachhaltige Landwirtschaft“ 31.05.-02.06.1999. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 212, (2000).
- Steffens, D., Leppin, T., Luschin-Ebengreuth, N., Yang, Z.M., Schubert, S., 2010: Organic soil phosphorus considerably contributes to plant nutrition but is neglected by routine soil-testing methods, Journal of Plant Nutrition and Soil Science 173: 765-771.
- Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Hertge, K.-H., Schwertmann, U., 1998: Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schubert, S., 2011: Pflanzenernährung, Grundwissen Bachelor. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

Charakterisierung der Düngewirkung alternativer P-Dünger im Zierpflanzenbau

D. Hauck^{1,3}, D. Lohr¹, D. Horn², E. Meinken¹, U. Schmidhalter³

¹Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising, ²EUF-Arbeitsgemeinschaft zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und Bodengesundheit, Ochsenfurt,

³Technische Universität München, Freising

1 Einleitung und Zielsetzung

Die Rohphosphatressourcen zur Düngemittelproduktion sind endlich, sodass die Rückführung von Phosphaten aus Abfallströmen in den Wirtschaftskreislauf zunehmend an Bedeutung gewinnt. Die Substitution von primären Phosphaten durch Sekundärphosphate ist daher ein wichtiger Baustein des EU-Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft. Klärschlamm, Biogasgärrest, tierische Gülle und Kompost weisen ein erhebliches Potenzial zur Substitution primärer Phosphate auf und werden seit langem als Wirtschaftsdünger im landwirtschaftlichen Bereich eingesetzt. Neben dieser direkten Verwendung rückt die Aufbereitung P-haltiger Reststoffe zunehmend in den Fokus. Dabei wird das enthaltene Phosphat entweder durch Fällung abgetrennt oder die Reststoffe werden thermisch (Verbrennung, Pyrolyse) bzw. thermochemisch (z. B. durch Schmelzaufschluss mit Additiven) aufbereitet. Dadurch soll die P-Verfügbarkeit verbessert und die Transportwürdigkeit infolge erhöhter P-Gehalte gesteigert werden. Ob diese Sekundärphosphate bei der Zierpflanzenproduktion unter Glas primäre Phosphate in nennenswerter Menge substituieren können, ist unklar. Aufgrund der kurzen Kulturdauer, des limitierten Wurzelraumes und des gleichzeitig hohen P-Bedarfs stellen Zierpflanzenkulturen sehr hohe Anforderungen an die kurzfristige P-Verfügbarkeit. Weiterhin ist fraglich, inwieweit die in der Düngemittelverordnung (DüMV) aufgeführten Methoden zur Untersuchung von P-Düngemitteln die P-Verfügbarkeit von Sekundärphosphaten charakterisieren können. Ziel dieser Untersuchung war es daher zu prüfen, ob es aus pflanzenbaulicher Sicht möglich ist primäre Phosphordünger durch Sekundärphosphate im Zierpflanzenbau zu substituieren, sich Sekundärphosphate durch Untersuchung gemäß DüMV bzw. Elektroultrafiltration (EUF) differenzieren lassen sowie eine gute Beziehung zwischen der chemischen Charakterisierung und der P-Aufnahme der Pflanze vorliegt.

2 Material und Methoden

2.1 Sekundärphosphate

Für die Untersuchung standen 17 Sekundärphosphate zur Verfügung, die entsprechend ihres Herstellungsprozesses in vier Stoffgruppen eingeteilt wurden (Tab. 1).

Tab. 1: Verwendete Sekundärphosphate

unbehandelte Reststoffe	
BGG1	getrockneter und gemahlener Biogasgärrest (Mist, Klee gras und Getreideschrot)
BGG2	Biogasgärrest aufbereitet wie BGG1 (Mist, Klee gras, Corn-Crop-Mix)
GR	separierter Gärrestfeststoff (Gülle, Mais- und Getreidesilage)
KS	getrockneter Klärschlamm aus kommunaler Abwasseraufbereitung Nürnberg
GGK	Kompost aus kommunalem Grün gut
thermisch behandelte Reststoffe	
KSA	Asche aus der Klärschlammmonoverbrennung (800 °C)
PK1	Pyrolysekohle aus Klärschlamm von Linz-Unkel (PYREG®/650 °C)
PK2	Pyrolysekohle aus Gärrest (GR) (TCR®/400 °C und 400 °C)
PK3	Pyrolysekohle aus Gärrest (GR) (TCR®/400 °C und 700 °C)
thermochemisch aufgeschlossene Produkte	
Ashdec®	Schmelzaufschluss von Klärschlamm asche mit Na ₂ SO ₄ bei 950 °C
Seraplant®	Säureaufschluss von Klärschlamm asche mit H ₃ PO ₄
Mephrec®	Sauerstoff-Schmelzvergasung von Klärschlamm (KS) mit Kalk und Koks, 1600 °C
Fällungsprodukte	
Struvit1	Fällung mit MgCl ₂ , AirPrex®-Verfahren, Abwasseraufbereitung Berlin
Struvit2	Fällung durch MgO nach Zugabe von H ₂ SO ₄ , Stuttgarter®-Verfahren, Abwasser
Struvit3	Fällung in galvanischer Zelle durch Mg-Anode, Abwasseraufbereitung
Struvit/Ca-P	Fällung durch pH-Werterhöhung mittels NaOH und KOH, Gülleaufbereitung
PROC®	P-Adsorption an Ca-Silikat-Hydrat, Abwasseraufbereitung

Vergleichend wurden ein weicherdiges, fein vermahlene s Rohphosphat (Hyperphos), ein gefälltes Ca(H₂PO₄)₂ (Ca-P) sowie Triplesuperphosphat (TSP) in die Untersuchung mit einbezogen.

2.2 Pflanzenbaulicher Versuch mit *Tagetes*

Tagetes patula x erecta 'Zenith Red F1' wurde als P-sensitive Modellpflanze unter Glas angebaut. Als Kultursubstrat diente Weißtorf, welcher zu Versuchsbeginn auf 200 mg N/L (100 mg N aus MND ohne P (14,7+0+30+Spuren) plus je 50 mg N aus Ammoniumnitrat und Calciumnitrat) aufgedüngt und auf einen pH-Wert von ca. 6,5 mit Calciumcarbonat aufgekalkt wurde. Der durch Königswasseraufschluss ermittelte Gesamt-P-Gehalt der Sekundärphosphate diente als Grundlage für die eingemischte P-Düngermenge in Höhe von 25 mg P pro Topf. Die P-Gabe entspricht dabei dem aus einem P-Steigerungsversuch abge-

leiteten P-Optimum. Pro Variante wurden 20 Töpfe gewichtsmäßig mit Substrat befüllt und in jeden Topf ein *Tagetes*-Sämling im Zweiblattstadium pikiert. Anschließend wurden die Töpfe in 4-facher Wiederholung blockweise aufgestellt. Die Bewässerung erfolgte topfspezifisch bei Bedarf von oben mit vollentsalztem Wasser. Ab der dritten Kulturwoche wurden P-freie flüssige Nachdüngungen nach guter fachlicher Praxis durchgeführt. Um Auswaschung zu verhindern, standen die Töpfe in Untersetzern. Anfallendes Drainwasser wurde zeitnah in den Topf zurückgegossen. Für die Auswertung nach 7 Kulturwochen wurden die Frisch- und Trockenmasse sowie der P-Gehalt der oberirdischen Pflanzenteile durch Säureaufschluss unter Druck mit HNO_3 und H_2O_2 im Mikrowellenofen und anschließender P-Endbestimmung mittels ICP-OES bestimmt.

2.3 Chemische Charakterisierung der Düngemittel

2.3.1 Düngemitteluntersuchung nach DüMV

Zur chemischen Charakterisierung der Sekundärphosphate nach DüMV wurden folgende VDLUFA-Methoden gemäß Methodenbuch II.1 angewandt: Wasserlösliches Phosphat (H_2O , Methode 4.1.7), Neutral- und Alkalisch-Ammonicitrat lösliches Phosphat (NAC, Methode 4.1.4; AAC, Methode 4.1.5), Zitronensäure lösliches Phosphat mit kurzer (ZS, Methode 4.1.3) und verlängerter (ZS_I, Methode 4.1.6.2) Extraktionszeit sowie Ameisensäure lösliches Phosphat (AS, Methode 4.1.2). Der Gesamt-P-Gehalt wurde mit Königswasser im Mikrowellendruckaufschluss (Gesamt-P, Methode 3.2.3) ermittelt. Die Endbestimmung des in den Extraktions-/Aufschlusslösungen befindlichen Phosphors erfolgte mittels ICP-OES.

2.3.2 Düngemittelfraktionierung nach EUF

Das in den Sekundärphosphaten enthaltene Phosphat wurde mittels Elektroultrafiltration 10-fach fraktioniert (Keupp et al., 2015). Die Fraktionen 1-5 wurden bei milden Bedingungen (20 °C, max. 200 V) und die Fraktionen 6-10 bei harten Bedingungen (80 °C, max. 400 V) durch Extraktion mit vollentsalztem Wasser über jeweils 5 Minuten gewonnen. Die Einwaage betrug 0,5 g. Die Endbestimmung des in den Extraktionslösungen befindlichen Phosphors erfolgte mittels ICP-OES.

2.4 Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mit Minitab V16 (Minitab Inc., State College PA). Für Frischmasse und P-Aufnahme der Pflanzen wurde eine ANOVA mittels GLM-Funktion durchgeführt, gefolgt von einem Tukey-Test ($p < 0,05$). Mit der Korrelation nach Pearson wurden die P-Aufnahme der Pflanze und die Ergebnisse der Untersuchungen zur Düngemittelcharakterisierung in Beziehung gesetzt.

3 Ergebnisse

3.1 Wachstum und P-Aufnahme von *Tagetes*

Die mit Mephrec und PK1 gedüngten *Tagetes* zeigten ebenso wie die Hyperphos-Variante bereits ab der dritten Kulturwoche Minderwachstum, wobei sich die Unterschiede zu den mit TSP bzw. Ca-P versorgten Kontrollpflanzen bis Versuchsende kontinuierlich erhöhten. Die übrigen Sekundärphosphate mit Ausnahme von KSA, KS und GGK führten zu vergleichbarem Pflanzenwachstum wie TSP bzw. Ca-P.

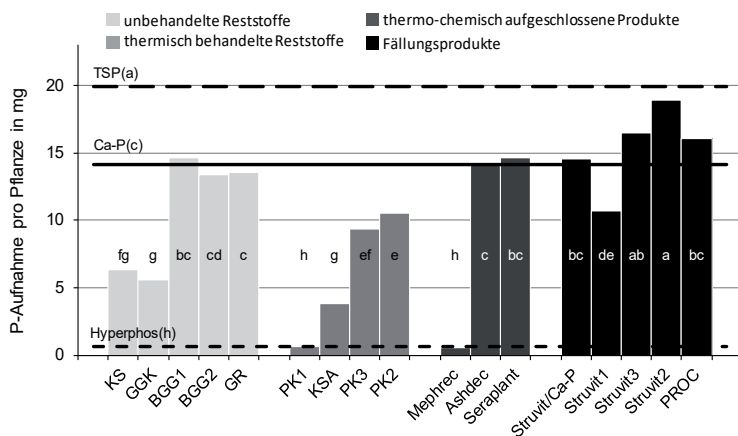


Abb. 1: P-Aufnahme von *Tagetes* bei Düngung mit Sekundärphosphaten (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede nach Tukey, $p < 0,05$)

Hinsichtlich der P-Aufnahme der Pflanzen (Abb. 1) ergab sich gegenüber dem Wachstum ein etwas differenzierteres Bild. Bei acht Sekundärphosphaten nahmen die Pflanzen signifikant weniger P auf als die mit TSP bzw. Ca-P gedüngten Kontrollpflanzen. Die geringsten Werte auf dem Niveau der Hyperphos-Variante waren bei Mephrec und PK1 zu verzeichnen. Eine Mittelstellung nahmen die Produkte KS, GGK und KSA gefolgt von PK2 und PK3 ein. Dabei war die P-Aufnahme der Pflanzen bei PK2 und PK3 geringer als beim dazugehörigen Ausgangsstoff GR.

3.2 Düngemittelcharakterisierung nach DüMV und EUF

Die eingesetzten Methoden zur Düngemittelcharakterisierung ermöglichten eine deutliche Differenzierung der Sekundärphosphate (Tab. 2). AAC extrahierte mit durchschnittlich 49,6 % des Gesamt-P bei den meisten Produkten deutlich mehr als H₂O. Allerdings waren die Werte bei den Struviten und PK1 bis 3 erheblich niedriger als bei der Extraktion mit NAC. ZS, ZS_I und AS extrahierten im Mittel vergleichbar wie NAC mehr als 80 % des Gesamt-P. Nennenswerte Unterschiede traten nur bei KS, KSA, PK1 und Mephrec auf.

Tab.2: Aus Sekundärphosphaten mit verschiedenen Methoden extrahiertes P in % des Gesamt-P

Sekundärphosphat	H₂O	NAC	AAC	ZS	ZS_I	AS	EUF1-5	EUF6-10	EUF1-10
BGG1	23,0	95,4	87,4	88,5	87,4	90,8	19,7	18,0	37,7
BGG2	34,2	96,9	81,4	96,3	93,8	96,9	23,7	21,2	44,9
GR	51,4	77,5	74,8	75,7	72,1	76,6	20,3	37,6	57,9
KS	0,6	95,1	86,1	85,4	84,1	48,5	8,3	11,1	19,5
GGK	9,7	83,9	80,6	80,6	83,9	93,5	14,5	38,1	52,6
KSA	0,0	29,0	25,1	61,2	94,0	67,5	0,2	2,3	2,5
PK1	0,4	85,2	15,5	59,9	77,7	10,9	0,1	0,2	0,4
PK2	5,3	73,2	36,0	76,8	76,8	86,0	3,6	9,1	12,7
PK3	2,9	69,2	47,6	68,3	70,8	75,9	4,2	9,4	13,6
Ashdec	1,5	84,7	74,4	88,0	85,6	88,7	1,9	8,1	10,0
Mephrec	0,0	2,1	1,6	38,2	65,4	46,6	0,0	0,1	0,2
Seraplant	50,7	96,5	91,1	83,8	92,6	77,8	40,0	18,6	58,6
Struvit1	2,9	84,4	11,7	100,0	97,7	100,0	4,1	25,9	30,0
Struvit2	6,3	100,0	11,8	100,0	100,0	100,0	10,4	35,2	45,6
Struvit3	0,1	91,6	3,3	99,2	100,0	100,0	3,4	28,9	32,3
Struvit/Ca-P	1,8	100,0	25,5	100,0	100,0	100,0	7,3	31,5	38,8
PROC	1,7	100,0	90,1	100,0	100,0	100,0	3,6	14,7	18,3
Mittelwert	11,3	80,3	49,6	82,5	87,2	80,0	9,7	18,2	28,0

Im Vergleich zur Wasserextraktion nach VDLUFA wurden mit den ersten fünf EUF-Fractionen (milde Extraktionsbedingungen) im Mittel vergleichbare Men-

gen erfasst. Der größte Unterschied ergab sich bei GR. Die unter verschärften Extraktionsbedingungen herausgelösten Fraktionen 6-10 machten bei den Struviten sowie bei GR und GGK nochmals mindestens 25 % des Gesamt-P aus. Insgesamt war die mit EUF extrahierbare P-Menge bei 10 Fraktionen durchschnittlich fast dreimal so hoch wie nach einfacher Wasserextraktion nach VDLUFA.

3.3 Zusammenhang zwischen P-Aufnahme von *Tagetes* und extrahierter P-Menge der Düngemitteluntersuchung

Bei H₂O, AAC, EUF1-5, EUF6-10 und EUF1-10 gab es keine Beziehung zwischen der P-Aufnahme der Pflanzen und den aus den Sekundärphosphaten extrahierten P-Mengen (Abb. 2). Signifikante Zusammenhänge nach Pearson zeigten die Methoden NAC, ZS, ZS_L und AS (R = 0,60 - 0,83), wobei die Streuung der Einzelwerte um die Regressionsgerade erheblich war.

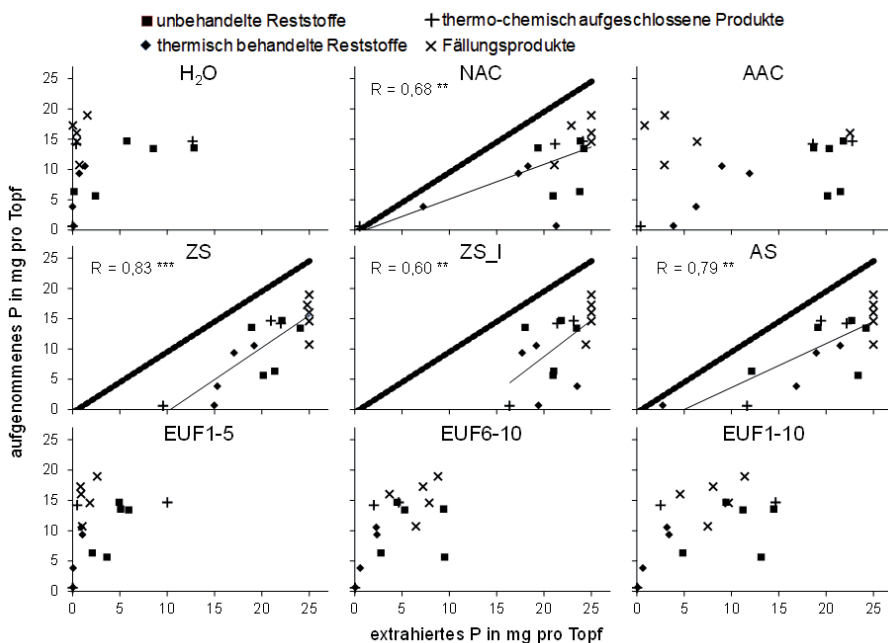


Abb.2: Beziehung zwischen der P-Aufnahme der Pflanze und der aus den Sekundärphosphaten mit verschiedenen Methoden extrahierten P-Menge, gestrichelte Linie = Winkelhalbierende

4 Diskussion

Trotz der kurzen Kulturdauer von wenigen Wochen konnte bei einem Großteil der Sekundärphosphate aufgrund ihrer kurzfristigen P-Verfügbarkeit ein vergleichbares Pflanzenwachstum von *Tagetes* erzielt werden wie mit den wasserlöslichen Vergleichsdüngern Ca-P und TSP. Wollmann et al. (2018) berichten über eine ähnlich gute P-Düngewirkung von Fällungsprodukten (Struvite nach Stuttgarter®- bzw. Airprex®-Verfahren) in Gefäßversuchen mit Mais in gewachsenem Boden. Die verminderte P-Düngewirkung der Pyrolysekohlen PK2 und 3 im Vergleich zu ihrem Ausgangsstoff GR wurde auch von Leong et al. (2017) bei Mais festgestellt. Ebenso ist eine im Vergleich zu Ca-P verminderte P-Düngewirkung von Klärschlammaschen und Grüngutkomposten bekannt (von Tucher et al., 2012, Link et al., 2015).

Die Löslichkeit der untersuchten Struvite in verschiedenen Extraktionsmitteln ist bei dieser Untersuchung im Gegensatz zu Angaben in der Literatur (Kratz et al., 2014) sehr ähnlich. Auch bei den thermochemisch aufgeschlossenen Produkten bestehen teilweise erhebliche Unterschiede zu Literaturwerten (Severin et al., 2013, Kratz et al., 2014); dies ist vermutlich auf variierende Prozessbedingungen und die Herkunft der verwendeten Klärschlammaschen zurückzuführen. Aufgrund der hohen Variabilität der P-Aufnahme der Pflanze bei gleicher extrahierter P-Menge kann trotz signifikanter Beziehung keine gute Vorhersage der P-Düngewirkung von Sekundärphosphaten abgeleitet werden. Zudem handelt es sich insbesondere bei NAC um eine Scheinkorrelation, da der gute lineare Zusammenhang lediglich von zwei Messpunkten nahe am Ursprung abhängt. ZS und ZS_I überschätzen die P-Düngewirkung systematisch im Schnitt um etwa 10 mg P/Topf, sodass die Ableitung eines Korrekturfaktors für diese Methode möglich scheint.

5 Fazit

Das größte Potenzial zur Substitution von P-Düngemitteln aus Rohphosphaten haben aufgrund der guten P-Verfügbarkeit und der hohen P-Gehalte Fällungsprodukte sowie thermochemisch aufgeschlossene Klärschlammaschen. Unbehandelte Reststoffe – insbesondere Gärreste und Biogasgülle – weisen ebenfalls eine gute Düngewirkung auf, sind jedoch durch geringe P-Gehalte gekennzeichnet. Eine ausschließlich thermische Aufbereitung (Pyrolyse bzw.

Verbrennung) erhöht zwar die P-Gehalte, reduziert aber die P-Verfügbarkeit. Eine chemische Charakterisierung der Sekundärphosphate nach DüMV oder mittels EUF differenziert die einzelnen Produkte. Allerdings besteht kein ausreichender Zusammenhang zwischen P-Aufnahme der Pflanze und extrahierter P-Menge, sodass bei allen Methoden die Vorhersagekraft der P-Düngewirkung von Sekundärphosphaten begrenzt ist.

6 Literaturangaben

- Keupp, C., Horn, D., Steffens, D., Appel, T., 2015: Bewertung von Recycling-Produkten mit Klärschlamm nach dem EUF-Verfahren, VDLUFA-Schriftenreihe 71: 369-376, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Kratz, S., Schick, J., Shwiekh, R., Schnug, E., 2014: Estimating the potential of renewable P containing raw materials in Germany as a substitute for fertilizers made from rock phosphate, *Journal für Kulturpflanzen* 66(8): 261-275.
- Leong, Kl., Lohr, D., von Tucher, S., Meinken, E., 2017: Phosphordüngewirkung karbonisierter Biogasgärreste, 14. WiTa ökologischer Landbau, Freising-Weihenstephan, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Link, F., Lohr, D.; Meinken, E., 2015: Compost as phosphorus fertilizer for organically grown potted herbs, *DGG-Proc.* 5 (2), 1-5.
- Severin, M., Ahl, C., Kücke, M., Van den Weghe, H., Greef, J., 2013: Phosphate solubility and phosphate fertilizer effect of substances from sludge treatment – analysis of different treatment methods, *Appl. Agric. Forestry Res.* 63(3): 235-244.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. II.1. Die Untersuchung von Düngemitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- von Tucher, S., Fleschhut, M., Zeindl, R., Schmidhalter, U., 2012: Wirkung aufbereiteter Klärschlammmasche als P-Dünger zu Raps und Mais, VDLUFA-Schriftenreihe 68: 349-356, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Wirkung differenzierter P-Düngung auf Ertrag, P-Gehalt im Boden, P-Saldo sowie N-Effizienz auf dem Löß-Braunschwarzerdestandort Friemar nach 6 Jahren Versuchsdauer

W. Zorn, H. Schröter

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1 Problemstellung

Die P-Versorgung vieler Böden in Thüringen und anderen Ackerbauregionen ist infolge der langfristig reduzierten oder unterlassenen P-Düngung dramatisch gesunken. Die langjährige pfluglose, nicht wendende Bodenbearbeitung hat zusätzlich auf vielen Standorten zu einer P-Anreicherung im Bearbeitungshorizont und zu deren Reduzierung in der verlassenen „Unterkrume“ geführt. In diesem Zusammenhang sich die Frage nach der optimalen P-Düngungsstrategie. Auf dem Löß-Braunschwarzerdestandort Friemar mit sehr niedriger P-Versorgung und mittlerer P-Freisetzungsrate wird seit 2011 ein statischer P-Düngungsversuch zur Untersuchung der Wirkung differenzierter Höhe der P-Düngung sowie P-Applikationsverfahren durchgeführt.

2 Versuchsdurchführung

Einen Überblick über die P-Versorgung des Standortes und weitere Kenngrößen gibt Tabelle 1.

Tab. 1: C_{org}-Gehalt, pH-Wert, CAL- und H₂O-löslicher P-Gehalt (1:20) sowie P-Freisetzungsrate des Bodens zu Versuchsbeginn 2011

Tiefe cm	C _{org} %	pH	P _{CAL} mg P/100g	P _{H₂O} mg P/100g	P _{fr} ¹⁾ µg P/kg*min
0-10	2,0	6,2	1,6	0,31	208
10-20	2,2	6,1	1,1	0,22	123
20-30	2,2	6,1	0,9	0,14	58

¹⁾ = P-Freisetzungsrate nach Floßmann und Richter (1982)

Der Standort Friemar ist durch einen Tongehalt von 28 % sowie vergleichsweise niedrige Niederschläge gekennzeichnet. Die Jahresniederschlagssumme im Zeitraum 2011-2017 betrug im Mittel 529 mm, bei einer Schwankungsbreite von 405 ... 644 mm. Häufig liegt in Friemar eine ausgeprägte Trockenheit in den Monaten Februar-Mai vor.

Der statische Feldversuch zur Untersuchung der Wirkung einer differenzierten Höhe der P-Düngung sowie dem Vergleich der breitwürfigen P-Düngung vor der Saat (= VS), der P-Unterfußdüngung zur Saat (= UFD) und Frühjahrs-P-Kopfdüngung (= KD) wurde mit 4 Wiederholungen angelegt (Tab. 2). Alle Ertragsdaten und P-Gehalte im Boden beziehen sich jeweils auf den Mittelwert der 4 Wiederholungen.

Tab.2: Versuchsvarianten

PG	P-Düngung % Abfuhr	P-Düngung
1	50	breitflächig Herbst (einarbeiten vor Saat) =VS
2	100	
3	200	
4	50	Unterfußdüngung zur Saat; Abstand zur Saatreihe: 5 cm; Ablagetiefe: 8-10 cm =UFD
5	100	
6	200	
7	ohne	-
8	50	Kopfdüngung (Frühjahr) =KD
9	100	

Die Kalkulation der P-Abfuhr erfolgte unter Berücksichtigung folgender Erträge: 100 dt/ha Winterweizen (35 kg P/ha); 100 dt/ha Wintergerste (35 kg P/ha) und 50 dt/ha Winterraps (40 kg P/ha).

Die P-Düngung erfolgt jährlich als Triplesuperphosphat. Alle weiteren Nährstoffe werden auf Grundlage nach den Beratungsempfehlungen der TLL (Zorn u. a., 2007) appliziert.

Im Rahmen der ortsüblichen Fruchtfolge wurden folgende Kulturen angebaut:

2012: Winterweizen 2013: Wintergerste 2014: Winterraps

2015: Winterweizen 2016: Wintergerste 2017: Winterraps

Es erfolgte keine Strohernte. Zur Zusammenfassenden Auswertung wurden die Korn- bzw. Saaterträge auch in Getreideeinheiten (GE) umgerechnet.

3 Ergebnisse und Diskussion

Einen Überblick über GE-Ertrag, N-Abfuhr und P-Saldo nach differenzierter P-Düngung nach 6 Versuchsjahren gibt Tabelle 3.

Tab.3: Mittlerer GE-Ertrag, N-Abfuhr und P-Saldo nach differenzierter P-Düngung nach 6 Versuchsjahren (2012-2017)

PG	P-Düngung % der Abfuhr	P-Düngung	Mittlerer GE-Ertrag dt/ha*a	N-Abfuhr gesamt kg N/ha	P-Saldo kg P/ha*a
1	50	VS	109,5	1037	-5,2
2	100		116,2	1080	+10,3
3	200		120,4	1113	+44,2
4	50	UFD	112,5	1066	-6,3
5	100		116,5	1085	+9,9
6	200		119,2	1106	+44,3
7	0	ohne	103,0	997	-22,3
8	50	KD	109,8	1033	-6,5
9	100		113,4	1075	+9,1

Im Mittel von 6 Versuchsjahren bewirkte die P-Düngung Mehrerträge bis 17 dt GE/ha*a und weist auf den hohen P-Düngebedarf des Standortes hin. Innerhalb jedes P-Applikationsverfahren steigt der GE-Ertrag mit zunehmender Höhe der P-Düngung an.

Bei P-Zufuhr von 50 % der geplanten P-Abfuhr war die P-Unterfußdüngung der breitflächigen P-Applikation vor der Saat überlegen. Dieses Ergebnis bestätigt

die höhere P-Effizienz der Unterfußapplikation bei P-Düngermengen unter der P-Abfuhr, die auf eines besseren räumlichen Erschließens des P-Düngerbandes sowie der geringeren P-Festlegung im Boden im Vergleich zur breitwürfigen P-Applikation vor der Saat beruht. Bei Düngung in Höhe von 100 % bzw. 200 % der geplanten P-Abfuhr waren die Ertragsdifferenzen zwischen Vorsaats- und Unterfußdüngung gering.

Die P-Kopfdüngung zu Versuchsbeginn hatte unter den Standortbedingungen nur eine geringe Wirkung. Während der Versuchslaufzeit erhöhte sich die Ertragswirkung der P-Düngung, was in erster Linie auf die Nachwirkung der von den zur Vorfrucht gedüngten und von den Pflanzen nicht aufgenommenen P-Mengen zurückzuführen ist.

Die angebauten Kulturen unterschieden sich hinsichtlich der Ertragswirkung der P-Düngung deutlich. Bei Winterweizen, der jeweils im 1. Jahr der dreijährigen Fruchtfolgen zum Anbau kam, war nach P-Düngung in Höhe von 50 % und 100 % die P-Unterfußdüngung der Vorsaatsdüngung deutlich überlegen, während die P-Kopfdüngung im Frühjahr nur gering zur Wirkung kam (Abb. 1).

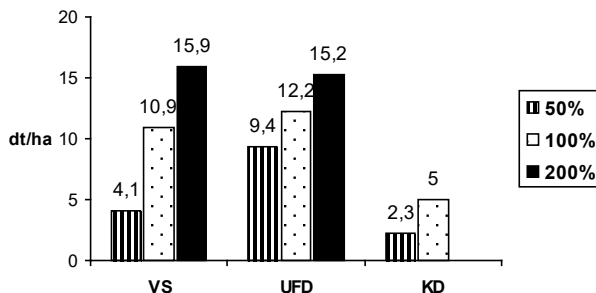


Abb. 1: Mittlerer Mehrertrag bei Winterweizen (Erntejahre 2012 und 2015; ohne P: 92,4 dt/ha) in Abhängigkeit von der P-Applikation und der P-Düngermenge (in % der P-Abfuhr)

Bei Wintergerste und einer P-Gabe von 50 % der Abfuhr führte die P-Unterfußdüngung zu einem Mehrertrag von 2,9 dt/ha im Vergleich zur Vorsaatsdüngung (Abb. 2). Bei P-Düngermengen von 100 % sowie 200 % der P-Abfuhr war die Vorsaatsdüngung der P-Unterfußdüngung geringfügig überlegen. Die P-Kopfdüngung im Frühjahr zu Wintergerste kam besser zur Wirkung als zu Winterweizen. Dieser Effekt resultiert überwiegend aus der zunehmenden Versuchsdauer

und der auf diesem Standort guten Nachwirkung der P-Düngung zur Vorfrucht. Bei Wintererbsen, der jeweils im letzten Jahr der dreijährigen Fruchtfolge angebaut wurde, ergeben sich keine Ertragsdifferenzen zwischen Vorsaat- und Unterfußdüngung (Abb. 3). Die Nachwirkung der nicht aufgenommenen P-Düngung zu den Vorfrüchten verbessert sich mit zunehmender Versuchsdauer immer mehr.

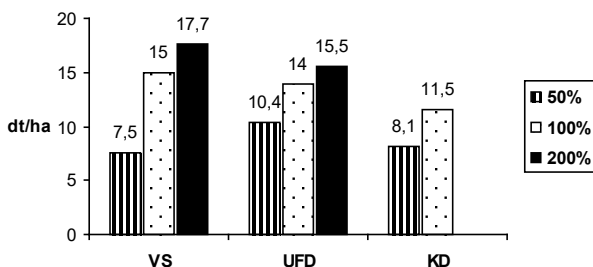


Abb.2: Mittlerer Mehrertrag bei Wintergerste (Erntejahre 2013 und 2016; ohne P: 83,6 dt/ha) in Abhängigkeit von der P-Applikation und der P-Düngermenge (in % der P-Abfuhr)

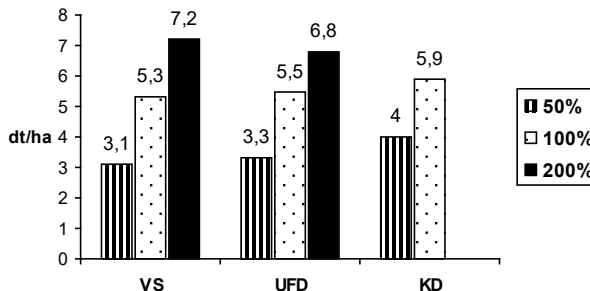


Abb.3: Mittlerer Mehrertrag bei Wintererbsen (Erntejahre 2014 und 2017; ohne P: 51,4 dt/ha) in Abhängigkeit von der P-Applikation und der P-Düngermenge (in % der P-Abfuhr)

Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass mit steigendem Ertrag infolge differenzierter P-Düngung auch die N-Abfuhr durch das Haupternteprodukt zunimmt. Im Mittel beträgt die Erhöhung der N-Abfuhr bis 19 kg N/ha*a. Das Beseitigen von P-Mangelernährung durch P-Düngung erhöht demnach die Effizienz der N-Düngung und senkt das Risiko für Nitratausträge aus dem Wurzelbereich der Ackerkulturen. Für die Ableitung von Richtwerten für die P-Gehaltsklassen für Böden wird

häufig der P-Saldo im Verhältnis zu Boden-P-Gehalt und Ertragswirkung der P-Düngung herangezogen (Richter und Kerschberger, 1991). Der Zusammenhang zwischen mittlerem P-Saldo und dem mittleren N-Mehrentzug ermöglicht die Ableitung von Aussagen über die optimale Höhe der P-Düngung bei einem gegebenen P-Gehalt im Boden zum Erreichen einer hohen N-Effizienz (Abb. 4). Für den untersuchten Standort mit sehr niedriger P-Versorgung zu Versuchsbeginn lässt sich ableiten, dass bei einer P-Düngung in Höhe der Abfuhr (P-Saldo ~ 0 kg P/ha) das Optimum der N-Aufnahme und N-Effizienz noch nicht erreicht wird und dazu deutlich höhere P-Düngermengen erforderlich sind.

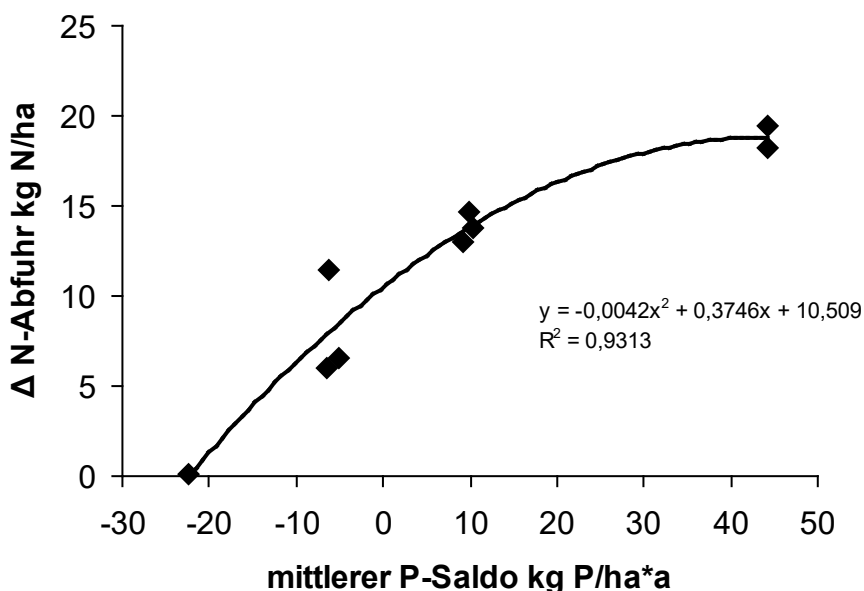


Abb. 4: Mittlere Erhöhung der N-Abfuhr mit Winterweizen- und Wintergerstetkorn sowie Winterrapssaat in Abhängigkeit vom mittleren P-Saldo (6 Versuchsjahre; 2012-2017)

Einen wichtigen Einfluss auf die P-Düngerwirkung während der Versuchsdauer übt die Entwicklung der P-Gehalte im Boden aus. Nach jeder Ernte erfolgte die Untersuchung der Böden in den Bodenschichten 0-10, 10-20 und 20-30 cm unter anderem auf den P_{CAL} -Gehalt. Die Ergebnisse nach der 6. Versuchsernte zeigt Tabelle 4.

Tab.4: P_{CAL} -Gehalt im Boden nach differenzierter P-Düngung nach 6 Versuchsjahren (nach Ernte 2017)

PG	P-Düngung % der Abfuhr	P-Düngung	P _{CAL} -Gehalt (mg P/100g Boden)		
			0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
1	50	VS	1,3	0,6	0,4
2	100		2,8	0,7	0,5
3	200		6,6	1,4	0,7
4	50	UFD	1,5	0,5	0,5
5	100		2,9	0,9	0,4
6	200		4,8	0,8	0,7
7	0	ohne	0,9	0,4	0,4
8	50	KD	1,4	0,5	0,7
9	100		2,4	0,7	0,5

In der Variante ohne P-Düngung ist nach 6 Versuchsjahren der P-Gehalt in den Bodenschichten bis 30 cm Tiefe deutlich gesunken. Generell ist festzustellen, dass bei P-Düngermengen von 100 % und 200 % der P-Gehalt in 0-10 cm gestiegen ist. Die Änderungen der P_{CAL} -Gehalte in 10-20 cm sind relativ gering und in 20-30 cm nicht nachweisbar. Daraus lässt sich ableiten, dass die P-Verlagerung in Bodentiefen unterhalb des Bearbeitungshorizontes auf diesem tonreichen und niederschlagsarmen Standort sehr gering ist.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Braunschwarzerdestandort Friemar mit sehr niedriger P-Versorgung des Bodens weist einen sehr hohen P-Düngebedarf zum Erreichen optimaler Erträge auf. Durch P-Düngung wurden sehr hohe Mehrerträge erzielt, bei Winterweizen und –gerste bis >15 dt/ha (Einzeljahre bis 25 dt/ha) sowie bei Winterrapis bis >7 dt/ha (Einzeljahre bis 10 dt/ha). Dazu waren P-Düngermengen deutlich über der Abfuhr erforderlich.

Bei einer P-Düngung von 50 % der Abfuhr war die P-Unterfußdüngung der Vor-
saatdüngung überlegen. Bei P-Düngung in Höhe von 100 % und 200 % der
Abfuhr lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen Unterfußdüngung und
breitflächiger P-Düngung vor.

Die P-Kopfdüngung im Frühjahr hatte zu Versuchsbeginn nur eine geringe Wir-
kung. Mit zunehmender Versuchsdauer verbesserte sich die Ertragswirkung.
Als Ursache dafür ist die Nachwirkung der P-Düngung zu den Vorfrüchten anzu-
sehen. Auf Trockenstandorten mit sehr niedriger Boden-P-Versorgung wird
deshalb die Frühjahrskopfdüngung nicht empfohlen. Dagegen kann dieses
Applikationsverfahren bei mittlerer P-Versorgung des Bodens eingesetzt wer-
den.

Änderungen des P-Gehaltes im Boden betreffen nur den Bearbeitungshorizont.
Eine P-Verlagerung in die Bodenschichten 10-20 und 20-30 cm war kaum nach-
weisbar.

Die bedarfsgerechte P-Düngung auf Standorten mit akuter P-Unterversorgung
erhöht die Effizienz der N-Düngung und senkt das Risiko von Nitratverlagerun-
gen in tiefere Bodenschichten. Eine Reduzierung der P-Düngung auf Standor-
ten mit sehr niedriger und niedriger P-Versorgung unter das erforderliche Maß
ist zum Erreichen eines hohen Ertragsniveaus, einer guten Qualität der Ernte-
produkte sowie zum Schutz der Gewässer vor Nitratreinträgen abzulehnen.

5 Literaturangaben

- Richter, D.; Kerschberger, M., 1991: Methoden zur Ermittlung von Grenzwerten der Phosphor-, Kalium- und Magnesium-Gehalte in Ackerböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 154, 337-342.
- Zorn, W., Heß, H.; Albert, E.; Kolbe, H.; Kerschberger, M.; Franke, G., 2007: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, Heft 7/2007.

Entwicklung der P-Versorgung der Unterböden auf Thüringer Acker- und Grünlandstandorten

W. Zorn, H. Schröter, S. Wagner, D. Zopf, G. Kießling

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1 Problemstellung

Gesunkene Tierbestände, der verstärkte Anbau von Marktfrüchten auf dem Ackerland, die häufig extensive Bewirtschaftung des Grünlandes sowie die langjährig reduzierte P-Düngung haben in Thüringen zu einer dramatisch gesunkenen P-Versorgung der Acker- und Grünlandböden geführt. Zurzeit weisen 48 % des Ackerlandes und 62 % des Grünlandes sehr niedrige bzw. niedrige P-Gehalte auf (Tab. 1).

Tab. 1: P-Versorgung des Thüringer Acker- und Grünlandes 2013-2015 (Anteil % in Gehaltsklassen, Gehaltsklassengrenzen in mg P/100 g Boden)

Nutzung	E ≥ 10,5	D 7,3 – 10,4	C 4,9 – 7,2	B 2,5 – 4,8	A ≤ 2,4
Ackerland	10	11	31	38	10
Grünland	13	10	15	31	31

Die Bewertung der P-Versorgung der Böden bezieht sich auf die Bodentiefe 0-20 cm (Ackerland) sowie 0-10 cm (Grünland). Zur Ableitung langfristiger Strategien zur bedarfsgerechten und nachhaltigen P-Düngung stellt sich die Frage nach der langfristigen Entwicklung der P-Gehalte in den Unterböden, da dieser auch zur P-Ernährung der Kulturen beitragen kann. Für Testflächen auf Thüringer Ackerland liegen erste Ergebnisse vor (Zorn, et al. 2007).

In Untersuchungen von Kuhlmann und Baumgärtel (1991) betrug die P-Aufnahme von Weizen aus dem Unterboden 37 bis 85 % des Gesamtentzuges. In Untersuchungen von Richter et al. (1977) ging die Nährstoffaufnahme aus dem Unterboden mit steigender Nährstoffversorgung in der Krume zurück. Bei niedrigem Nährstoffangebot im Oberboden nimmt demzufolge die Bedeutung des Unterbodens für die P-Ernährung der Kulturen zu.

Zielstellung der Untersuchungen ist die Erfassung der P-Gehalte der Böden in den Bodenschichten unterhalb der routinemäßigen Probenahmetiefe.

2 Datenmaterial

Zur Beantwortung dieser Fragestellung erfolgt die Auswertung verschiedener Probenserien aus statischen P-Düngungsversuchen auf Acker- und Grünland (bis 20 cm Tiefe), Erhebungsuntersuchungen auf repräsentativen Testflächen (Ackerland) sowie ausgewählten Ackerstandorten nach langjähriger konservierender Bodenbearbeitung (Tab. 2).

Tab. 2: Übersicht über die ausgewerteten Probenserien

Herkunft der Bodenproben	AL/GL	n	Probenahmetiefe cm
statische P-Düngungsversuche (Versuchsbeginn: 1993 ... 2002)	AL	8	0-20 20-40 40-60
statische P-Düngungsversuche (Versuchsbeginn: 1997)	GL	3	0-10 10-20
repräsentative Testflächen	AL	194	0-20 20-40 40-60
Testflächen nach langjähriger konservierender Bodenbearbeitung	AL	13	0-10 10-20 20-30

Details zu den Feldversuchen auf Ackerland sind bei Zorn et al. (2015), auf Grünland bei Zorn et al. (2017) sowie zu den Testflächen nach langjähriger konservierender Bodenbearbeitung bei Zorn et al. (2011) sowie der Testflächen in Tabelle 3 angegeben.

Die Probenahmen erfolgten in den Düngungsversuchen soweit im Kapitel Ergebnisse nicht anders angegeben nach der Ernte 2015 sowie auf den Testflächen zu Vegetationsbeginn 2015. Die Varianten der P-Düngung sind im Ergebnisteil dargestellt.

Tab. 3: Probenanzahl und Zuordnung nach Bodenartengruppen der repräsentativen Testflächen

Bodenartgruppe	Ton %	n
l S	6-12	9
IS	13-17	21
sL/uL	18-25	106
t L/T	>25	58
gesamt	-	194

3 Ergebnisse

3.1 P-Düngungsversuche auf Ackerland

Nachfolgend werden die Ergebnisse für 3 ausgewählte Versuchsstandorte dargestellt. Auf allen Standorten stellen sich durch langjährig differenzierte P-Düngung adäquate P-Gehalte in 0-20 cm Tiefe ein. Mit steigender P-Düngung erhöhen sich die P-Gehalte in dieser Bodenschicht. Die Wirkung der P-Düngung auf die Bodenschicht 20-40 cm ist standortspezifisch. Änderungen in der Bodentiefe 40-60 cm sind auf den Lößstandorten Dornburg und Friemar vernachlässigbar.

Die Löß-Parabraunerde in Dornburg ist in der Variante ohne P durch abnehmende P-Gehalte in 20-40 cm gekennzeichnet (Abb. 1).

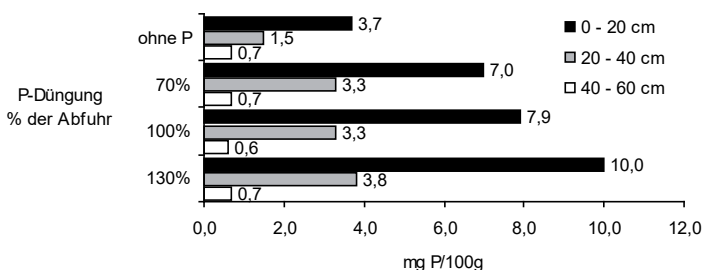


Abb. 1: Boden-P-Gehalt im statischen P-Düngungsversuch Dornburg (Löß-Parabraunerde) nach 20 Jahren differenzierter P-Düngung

In Friemar liegt eine enge Korrelation der P-Gehalte in 0-20 und 20-40 cm vor (Abb. 2). Die Erhöhung der P-Düngung erhöht die P-Versorgung in 20-40 cm, obwohl hier die Pflugtiefe maximal 25 cm beträgt.

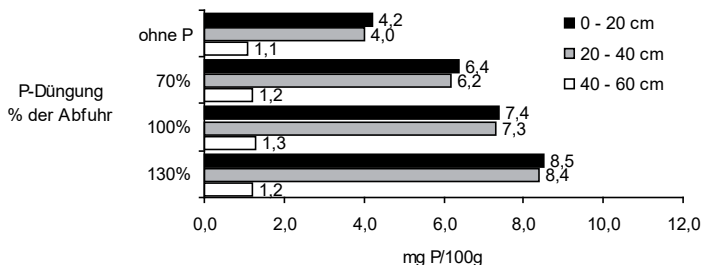


Abb. 2: Boden-P-Gehalt im statischen P-Düngungsversuch Friemar (Löß-Braunschwarzerde) nach 20 Jahren differenzierter P-Düngung

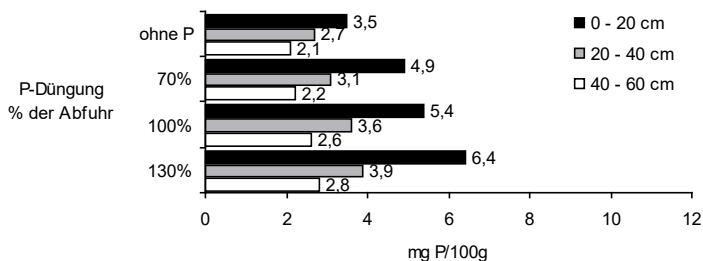


Abb. 3: Boden-P-Gehalt im statischen P-Düngungsversuch Bad Salzungen (Braunerde aus Buntsandsteinverwitterung) nach 16 Jahren differenzierter P-Düngung

Auf dem Buntsandsteinverwitterungsboden Bad Salzungen tritt eine abgeschwächte, jedoch messbare P-Verlagerung in 20-40 cm (Abb. 3).

Auf alle Ackerstandorten sinkt bei langjährig unterlassener P-Düngung die P-Versorgung des Bodens nicht nur in 0-20 cm sondern auch in 20-40 cm. Damit sinkt auch der potenzielle Beitrag des Unterbodens zur P-Ernährung der Kulturen.

3.2 P-Düngungsversuche auf Grünland

Beispielhaft für die 3 P-Düngungsversuche auf Grünland sind in Abbildung 4 die P-Gehalte in 0-10 und 10-20 cm für den Muschelkalkstandort Wechmar dargestellt. Die langjährig differenzierte P-Düngung korreliert eng mit dem P-Gehalt in beiden untersuchten Bodentiefen. An der P-Dynamik des Grünlandes nimmt demzufolge auch die Bodenschicht 10-20 cm teil.

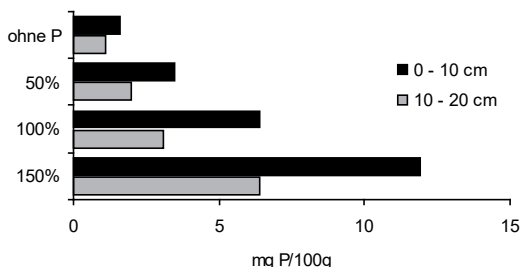


Abb. 4: P_{CAL} -Gehalte im Boden im statischen P-Versuch auf Grünland in Wechmar nach 18 Jahren

Die Abbildungen 5 bis 7 zeigen die Entwicklung des P-Gehaltes bei langjährig unterlassener P-Düngung. Unabhängig von Höhe der P-Versorgung sinken die P_{CAL} -Gehalte in beiden Bodenschichten. Am deutlichsten ist der Abfall in Wechmar (höchste P-Versorgung zu Versuchsbeginn), am geringsten in Heßberg (Abb. 7), wobei dieser Standort die niedrigste P-Versorgung zu Versuchsbeginn aufwies. Zwischen beiden Standorten liegt der Schieferverwitterungsstandort Oberweißbach.

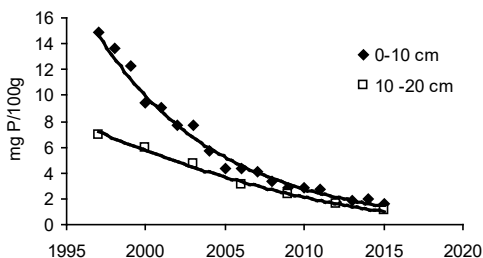


Abb. 5: Entwicklung der P_{CAL} -Gehalte im Boden der Variante ohne P-Düngung zu Versuchsbeginn 1997 sowie 2015 (statischer P-Versuch auf Grünland in Wechmar)

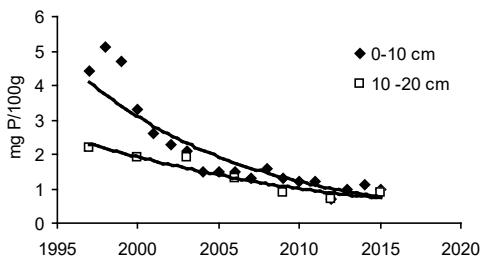


Abb. 6: Entwicklung der P_{CAL} -Gehalte im Boden der Variante ohne P-Düngung zu Versuchsbeginn 1997 sowie 2015 (statischer P-Versuch auf Grünland in Oberweißbach)

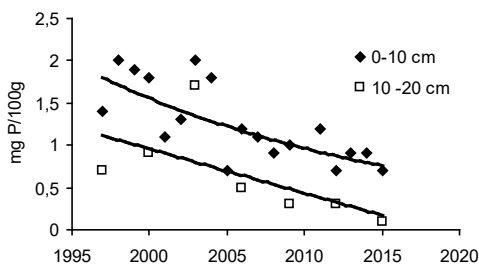


Abb. 7: Entwicklung der P_{CAL} -Gehalte im Boden der Variante ohne P-Düngung zu Versuchsbeginn 1997 sowie 2015 (statischer P-Versuch auf Grünland in Heßberg)

3.3 Repräsentative Testflächen auf Ackerland

Zur Auswertung der Ergebnisse der 194 Ackerlandtestflächen wurden die Standorte nach ihrem P-Gehalt in 0-20 cm (Gehaltsklasse) gruppiert (Abb. 8).

Im Mittel der Standorte mit Gehaltsklasse E liegen in 20-40 und 40-60 cm Tiefe mit 10,5 bzw. 6,1 mg P/100 g Boden vergleichsweise hohe P-Gehalte vor, die aus Sicht der Pflanzenernährung in diesem Umfang nicht benötigt werden und auf das Risiko vertikaler P-Verlagerungen hindeuten. Auf Standorten mit Gehaltsklasse D sind die P-Gehalte in 20-40 und 40-60 cm Tiefe bereits deutlich

niedriger. Mit weiter sinkenden P-Gehalten in 0-20 cm geht die P-Versorgung in den darunter liegenden Bodenschichten erheblich zurück. Insbesondere in Gehaltsklasse A ist der potenzielle Beitrag des Unterbodens zur P-Ernährung der Ackerkulturen relativ niedrig. In der Regel sind bei Vorliegen der Gehaltsklassen A und B keine hohen P-Gehalte in den darunter liegenden Bodenschichten zu erwarten.

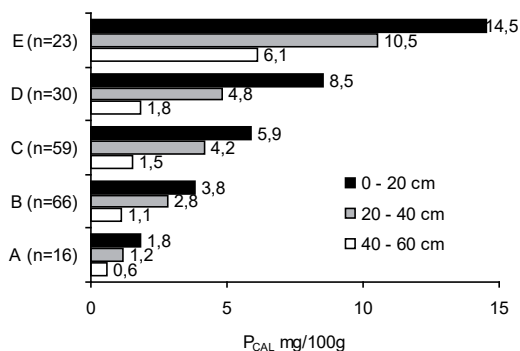


Abb. 8: P-Gehalt (Medianwert) im Boden bis 60 cm Tiefe in Abhängigkeit von der P-Versorgung in 0-20 cm (Gehaltsklasse)

3.4 Testflächen nach langjährig konservierender Bodenbearbeitung

Langjährige pfluglose, nicht wendende Bodenbearbeitung führt zu einer P-Anreicherung im Bearbeitungshorizont und zu deren Reduzierung in der verlassenen „Unterkrume“. Insbesondere das im Boden wenig mobile Phosphat reicherte sich in 0 bis 10 cm Tiefe an, während die P-Gehalte in den darunter liegenden Bodenschichten sinken. Bei der häufig niedrigen bis sehr niedrigen P-Versorgung der Böden ist bei Austrocknung der oberen Bodenschicht eine bedarfsgerechte Ernährung der Pflanzen stark gefährdet.

Im Ergebnis aller Untersuchungen kann der Schluss gezogen werden, dass die unterlassene bzw. suboptimale P-Düngung langfristig zu einer erheblichen Abnahme der P-Versorgung der Unterböden führt. Diese Entwicklung ist bei der Weiterentwicklung der P-Düngungsempfehlungen zu beachten, zum Beispiel durch sporadische Untersuchung der Unterböden auf den Nährstoffgehalt.

Tab. 3: pH-Wert sowie P-, K- und Mg-Gehalt im Boden nach mindestens 6 Jahren pflugloser Grundbodenbearbeitung (Mittel von 13 Standorten)

Tiefe cm	P _{CAL} mg P/100g	P _{H2O} ¹⁾ mg P/100g	P _{fr} ²⁾ mg P/100g*min
0-10	6,9	0,60	64,8
10-20	4,3	0,22	28,0
20-30	2,5	0,12	10,7

¹⁾ 1. Fraktion nach Floßmann u. Richter (1982)

²⁾ P-Freisetzungsrates nach Floßmann u. Richter (1982)

4 Zusammenfassung

Auf Acker- und Grünland wurden die Boden-P-Gehalte in Bodenschichten unterhalb der üblichen Probenahmetiefen (AL: 0-20 cm; GL: 0-10 cm) bestimmt. Parallel zu sinkenden P-Gehalten in der oberen Bodenschicht gehen die P-Gehalte in 20-40 cm auf Ackerland sowie in 10-20 cm auf Grünland stark zurück. Zwischen den P-Gehalten in Ober- und Unterboden besteht in der Regel eine enge Korrelation. Bei langjähriger konservierender Bodenbearbeitung stellt sich eine deutliche Konzentration der P-Gehalte in ca. 0-10 cm Tiefe ein.

Abnehmende P-Gehalte in den Unterböden lassen damit einen abnehmenden Beitrag der tieferen Bodenschichten zur P-Ernährung der Kulturen erwarten. Die Ableitung langfristiger Konzepte zur bedarfsgerechten P-Düngung erfordert unter Berücksichtigung von häufigen Trockenphasen (Austrocknung des Oberbodens) auch eine angemessenen Berücksichtigung des P-Gehaltes im Unterboden bzw. eine Mindestversorgung im Oberboden.

5 Literaturangaben

Kuhlmann, H. und Baumgärtel, G., 1991: Potential importance of the subsoil for the P and Mg nutrition of wheat. *Plant and Soil*. 137, 259-266.

- Richter, D.; Kerschberger, M. und Marks, G., 1977: Einfluß der Nährstoffgehalte des Unterbodens (21-40 cm) auf die Versorgung der Pflanzen mit Phosphor und Kalium. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. 21, 239-247.
- Zorn, W.; Greiner, B.; Hertwig, F.; Riehl, G.; Schuppenies, R.; Zopf, D.: 2017: Wirkung der P-Düngung auf Grünland – Auswertung der P-Ringversuche in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen nach der Bilanzmethode. VDLUFA-Schriftenreihe 74, 119-126, Kongressband 2017 Freising, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Zorn, W.; Wagner, S.; Heubach, M.; Schröter, H., 2011: Nährstoffverteilung im Boden nach langjähriger pflugloser Bodenbearbeitung und ihre Konsequenzen für die P-Düngung. VDLUFA-Schriftenreihe 67, 146-153, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Zorn, W.; Wagner, S.; Kießling, G., 2007: P-, K- und Mg-Gehalte im Unterboden Thüringer Ackerstandorte und ihre Beziehung zu Bodeneigenschaften VDLUFA-Schriftenreihe 63, 227-234, Kongressband 2007 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Zorn, W., Schröter, H. Kießling, G., 2015: Präzisierung des P-Düngebedarfs auf dem Ackerland durch zusätzliche Bodenuntersuchungen. VDLUFA-Schriftenreihe 71, 86-93, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Zu einer neuen K-Düngerempfehlung für Silomais in den Niederlanden

D.-W. Bussink¹, H. van Schooten², J.C. van Middelkoop², G. Holshof², G. Doppenberg¹

¹Nutrient Management Institute, Wageningen, Niederlande, ²Wageningen UR Livestock Research, Wageningen, Niederlande

1 Einleitung

Ein optimales Maiswachstum erfordert eine ausreichende Versorgung mit Kalium (K). Eine Literaturstudie ergab Hinweise, dass die K-Düngerempfehlung verbessert werden könnte (van Schooten et al., 2012). Erstens wurde die niederländische K-Düngerempfehlung für Silomais vor etwa 50 Jahren vor allem aus anderen Kulturen und Versuchen mit Körnermais abgeleitet. Zweitens ist der Ertrag von Silomais in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen. Drittens gibt es auch Verbesserungspotenzial für die Bestimmung des K-Zustands des Bodens. Die aktuelle Bestimmung basiert auf einem K-Index (Extraktion mit 0,1 M HCl-korrigiert für C-Gehalt und Textur). Die Messung von K mittels 0,01 M CaCl₂ Bodenextraktion in Kombination mit dem Kationenaustauschkapazität (KAK) scheint für eine genauere Bestimmung des Bodenzustandes eine vielversprechende Methode zu sein (Van Rotterdam, 2010). Als höchste Düngerstufe gilt bis jetzt 300 kg K₂O/ha bei niedrigen Bodenzuständen. Rindergülle (RG) ist die wichtigste K-Quelle für Silomais. Aufgrund der Gülle-Anwendungsbestimmungen in den Niederlanden ist die Anwendung von RG meistens auf etwa 35-40 m³/ha begrenzt, was 190-220 kg K₂O/ha entspricht. Vor allem auf Sandböden wird oft noch 300 kg K₂O/ha empfohlen, was bis zu 100 kg K₂O/ha aus Mineraldünger erfordern würde. Die Frage ist, ob dies notwendig ist. Aufgrund dieser Überlegungen wurde in 2015 ein zweijähriger Düngungsversuch gestartet mit dem Ziel, eine neue auf CaCl₂ und KAK basierende Düngerempfehlung abzuleiten.

2 Material und Methoden

In 2015 und 2016 sind K-Düngerversuche durchgeführt worden. Der Versuch bestand jedes Jahr aus zwei Teilversuchen: Mini-Feldversuche auf landwirtschaftliche Betrieben an 20 Standorten und Detailversuche an 3 Standorten.

Die Miniversuche wurden auf Ton-(Kleimarsch, Kalkmarsch und Auenboden) und Sandboden durchgeführt. Je Standort gab es zwei Felder die Unterschiede in K-Verfügbarkeit und KAK aufwiesen. Es gab je Feld 6 Behandlungen: 0, 40, 80 und 160 kg K_2O /ha (als Kaliumsulfat) und Rindergülleanwendung (40-45 m^3 /ha vor der Saat) mit 0 und 80 kg K_2O /ha ausgelegt auf 3-10 m Parzellen. Die RG wurde einige Wochen vor der Saat appliziert, wobei ein kleiner Teil des Feldes zur Ausbringung der 4 K-Mineraldüngerstufen keine RG bekam. Insgesamt gab es jährlich 240 plots. Bei der Maisaussaat wurde 30 kg N/ha Unterfuß gedüngt. Direkt nach der Aussaat wurde in den Bereichen, in denen die 4 K-Düngungsstufen angelegt wurden noch mal eine Bodenprobe genommen. Anschließend sind die 4 K-Düngungsstufen ohne und die 2 mit RG angelegt worden. Anschließend wurde jede Parzelle aufgedüngt mit N und P bis zu einem Niveau von 250 kgN/ha und 60 kg P_2O_5 /ha. Bei niedrigen S-Bodenwerten wurde zusätzlich mit Kieserit aufgedüngt. Gedüngt wurde mit der Hand. Ziel war es, in beiden Jahren die Miniversuche an den selben Standorten und auf den selben Feldern (jedoch an einer anderen Stelle) durch zu führen.

Die Detailversuche wurden auf zwei Sandböden und einem Tonboden (Auenboden) angelegt. Die Behandlungen waren:

- keine RG mit 0, 40, 80, 160 und 320 kg K_2O /ha, oberflächlich und Unterfuß ausgebracht
- 20 m^3 RG/ha oberflächlich und mit sofortiger Einarbeitung mit 40, 80 und 160 kg K_2O /ha, oberflächlich und Unterfuß ausgebracht
- 20 m^3 RG/ha Unterfuß mit 40, 80 kg K_2O /ha, oberflächlich und Unterfuß ausgebracht.

Der Versuch war im randomisierten Blockdesign mit 4 Wiederholungen ($n = 80$) angelegt. Gleichzeitig mit der Maisaussaat wurden 25 kg N und 7 kg P_2O_5 /ha Unterfuß gedüngt. Zusätzlich wurde mit KAS aufgedüngt um ein Niveau von 200 kg N/ha zu erreichen. Drei bis eine Woche vor der Praxisernte wurden die Versuchsparzellen geerntet. In den Miniversuchen wurden je Parzelle die zwei mittleren Reihen auf einer Länge von 2,5 Meter mit der Hand geerntet. Die Frischmasse wurde gewogen und anschließend mit einem Gartenhäcksler zerkleinert. Die Detailversuche wurden maschinell geerntet. Für die Bestimmung der Trockenmasse (TM) und die mineralische Zusammensetzung wurde von jeder Parzelle eine Probe entnommen. Die Maisertragsdaten wurden statistisch mit REML analysiert (Harville, 1977). Dabei werden die Behandlungseffekte in den Miniversuchen mit dem Zufallsfaktor (Jahr.Standort)/Parzelle

getestet. Die beiden Versuche zusammen wurden mit einem linearen Modell $Y = a_0 + b_j + c_k + \dots + \varepsilon$ analysiert, wobei b, c usw. Boden- und Düngungsparameter und ε den Restfehler darstellen. Interaktionen zwischen Parametern sind beschränkt auf Zweiweginteraktionen. Der Parameter Y stellt den Ertrag, K-Entzug oder K-Gehalt dar. Das Akaike Kriterium wurde verwendet um das zu entwickelnde Modell nicht zu überparameterisieren. Diese Modelle werden bei der Ableitung von einer Düngerempfehlung in Betracht gezogen.

3 Ergebnisse

3.1 Bodendaten

Tab. 1: Übersicht der Bodenanalysen ($n = 86$) von den Mini- und Detailversuchen.

Bodenparameter	2015			2016		
	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel
P-CaCl ₂ (mg kg ⁻¹)	0,6	14,9	4,1	0,3	25,6	4,4
P-AL (mg P ₂ O ₅ /100g)	34	154	64,8	6	232	62,8
K-CaCl ₂ (mg kg ⁻¹)	23	168	81,0	9	433	80,0
Mg-CaCl ₂ (mg kg ⁻¹)	35	347	125,4	33	365	121,1
Kalk (%)	0,2	6,2	1,0	0,2	6,5	0,8
OS (%)	2,5	8,9	4,4	1,8	9,1	3,9
KAK (mmol+ kg ⁻¹)	31	365	123,7	29	360	101,9
Ca-Besetzung (%)	49	92	72,6	48	93	74,6
Mg-Besetzung (%)	5,3	32	16,0	3,7	21	13,7
K-Besetzung (%)	1,9	10	4,7	1,8	6,6	3,5
pH-CaCl ₂ (%)	4,3	6,7	5,6	4,7	6,8	5,8
Ton (%)	1	49	12,3	1	47	9,5

Die Bodenanalysen (Tab. 1) zeigen recht grosse Unterschiede in K-CaCl₂ und KAK-Werten, was auch eine Voraussetzung ist um überhaupt eine auf Bodenwerten basierte neue Düngerempfehlung ableiten zu können. Eine Aufteilung von den K-CaCl₂-Werten in 4 Gruppen zeigt das respektive etwa 30 %, 30 %, 30 %, 10 %.

20 % und 20 % einen Wert haben von < 50, 50-80, 80-100 und > 100 mg K/kg. Desweiteren stellte sich heraus, dass in den Miniversuchen die Differenz zwischen den Feldern in K-CaCl₂-Wert je Standort im Mittel 20 mg K/kg (stdev.=25) betrug.

3.2 Wetter und Versuchsdurchführung

Das Wetter in 2015 war gekennzeichnet durch einen trockenen Juni und Juli und einen nassen August mit einer etwas höheren Sommertemperatur als normal (+0,5 °C). In 2016 war die Sommertemperatur mit im Durchschnitt 17,7 °C, höher als normal (17 °C). Die Niederschlagsmenge war über das ganze Land gesehen normal, aber lokal gab es sehr große Unterschiede durch Platzregen. Vor allem die Standorte des Detailversuchs, Vredepeel und Wageningen, waren hiervon betroffen. Es gab Ernteverluste, weshalb diese Versuche in 2017 wiederholt worden sind. In 2015 konnten die Versuche wie geplant durchgeführt werden. In 2016 ist die Behandlung „K-Unterfußdüngung mit Mineraldünger“ entfallen, weil es keine Ertragseffekte gab. Diese Behandlung wurde durch ein N-Düngungsniveau von 100 kg/ha im Vergleich zum Basisniveau von 200 kg N/ha ersetzt. Zwischen Unterfußdüngung mit Gülle und oberflächiger Anwendung gab es keinen Unterschied.

3.3 Ertragsdaten

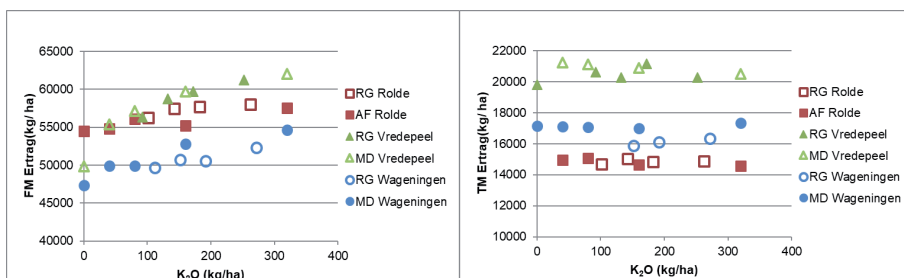


Abb. 1: Der Effekt von K₂O-Düngung in 2015 im Detailversuch auf den TM- und FM- Ertrag von Silomais auf den Standorten Rolde (K-CaCl₂=75 mg/kg), Vredepeel (K-CaCl₂=44 mg/kg) und Wageningen (K-CaCl₂=33 mg/kg) für die Behandlungen mit 20 m³/ha Rindergülle (RG) und nur Mineraldünger (MD).

Aus den Detailversuchen (Abb. 1) geht hervor, dass K-Düngung auf den 3 Standorten bei recht niedrigen Bodenzahlen kaum einen Effekt auf den TM Ertrag hat. Dagegen hat K-Düngung einen Effekt auf das Erscheinungsbild des Maisaufwuchses (Abb. 2). Mit K-Düngung wird mehr Frischmasse erzielt. Auch der K-Gehalt steigt bei steigender K-Düngung. Es stellte sich weiter heraus, dass K-Unterfußdüngung nicht besser abschneidet als oberflächige K-Düngung. Deshalb ist der Versuch in 2016 angepasst worden.

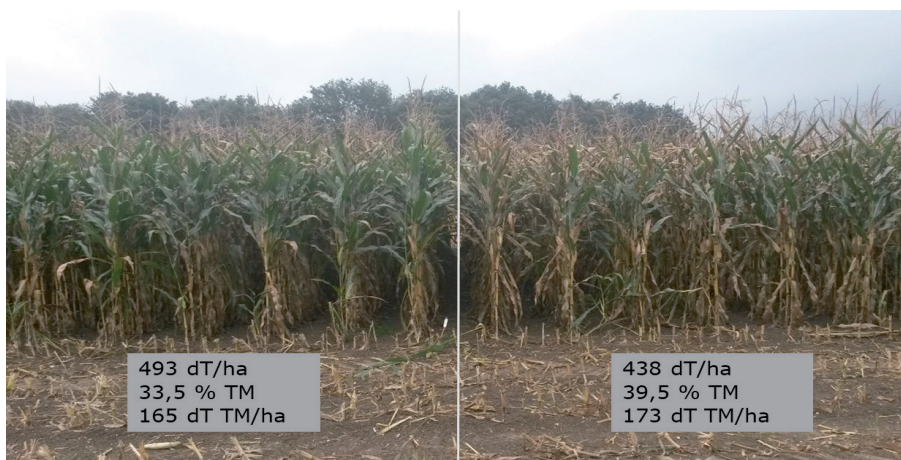


Abb. 2. Das Erscheinungsbild von Silomais bei der Ernte mit K-Düngung (links; 20 m³/ha + 160 kg K₂O/ha) und ohne K-Düngung (rechts) in 2015 bei Wageningen.

Bei den Miniversuchen wurden hohe Erträge erzielt. Der mittlere Ertrag war 18,5 T TM/ha, aber gab es große Unterschiede zwischen den Standorten und Parzellen (stdev= 3,7 t/ha). Der mittlere K-Gehalt und K₂O-Aufnahme waren respektive 10,4 g (stdev=2,5 g) K/kg TM und 236 kg (stdev=71 kg) K₂O/ha. Die Miniversuche weisen ebenfalls kaum Ertragseffekte durch K-Düngung auf. Aus Tabelle 2 ist zu entnehmen, dass bei 40-80 kg K₂O/ha der maximale Ertrag erreicht wird, sogar bei der Gruppe mit den niedrigsten Bodenwerten (K-CaCl₂ < 50 mg/kg). Anscheinend reicht ein K-Gehalt von 8,0-8,5 g/kg TM aus, um den maximalen Ertrag zu erzielen. Generell sind beim K-Gehalt und beim K-Entzug die Effekte von K-Düngung am stärksten ausgeprägt. Je höher die mineralische Düngung desto höher der K-Gehalt und der Entzug. Die Behandlungen mit RG – vor allem die Behandlung RG ohne zusätzliche K-Düngung – blieben im Ver-

gleich zu den rein mineralisch gedüngten Behandlungen im Ertrag zurück. Dieses Ergebnis kann möglicherweise auf einen Fahr Schaden bei der RG-Anwendung zurückgeführt werden.

Tab 2: Der mittlere Ertrag, K-gehalt und K₂O-Entzug in den Miniversuchen von 2015 und 2016 aufgeteilt in 3 Gruppen von K-CaCl₂ Bodenwerten.

Behandlung	K-CaCl ₂ <50; n=20			K-CaCl ₂ <80; n=42			K-CaCl ₂ <100;n=58		
	Ertrag T/ha	Gehalt g/kg TM	Entzug kg K ₂ O/ ha	Ertrag T/ha	Gehalt g/kg TM	Entzug kg K ₂ O/ ha	Ertrag T/ha	Gehalt g/kg TM	Entzug kg K ₂ O/ ha
0	17,4 ^a	8,1 ^a	170 ^a	18,6 ^b	9,8 ^a	221 ^a	18,9 ^a	10,6 ^a	239 ^a
40	19,5 ^b	8,3 ^a	191 ^{ab}	18,8 ^b	9,9 ^a	225 ^a	18,6 ^a	11,1 ^{ab}	246 ^a
80	18,8 ^{ab}	8,6 ^{ab}	191 ^{ab}	18,5 ^b	10,2 ^{ab}	229 ^{ab}	18,4 ^a	11,2 ^{ab}	248 ^a
160	19,0 ^b	9,1 ^{bc}	205 ^{bc}	18,8 ^b	10,6 ^b	242 ^{ab}	19,2 ^a	11,5 ^b	265 ^b
RG+0	18,3 ^{ab}	9,6 ^{cd}	211 ^{bc}	17,0 ^a	11,4 ^c	234 ^{ab}	18,0 ^a	12,5 ^{ab}	253 ^{ab}
RG+80	18,4 ^{ab}	10,0 ^d	219 ^c	17,2 ^a	11,8 ^c	248 ^b	19,1 ^a	11,8 ^b	267 ^b
s.e.d.(mittel)	0,75	0,40	11,2	0,82	0,34	10,5	0,75	0,37	9,0
Signifikant ¹	*	***	****		***			*	*

1) * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ and *** $P < 0,001$

3.4 Modellierung der Ergebnisse

Alle Daten aus den Mini- und Detailversuchen sind zusammengefügt und statistisch ausgewertet mit REML (mit als Zufallsfaktor Jahr.Standort) um fest zu stellen welche Faktoren den Ertrag und K₂O-Entzug bestimmen und den Beitrag von K-Bodenwerten klar zu stellen. Für TM-Ertrag enthielt das Modell folgende signifikante Parameter ($P < 0,05$, wobei die Regressionskoeffizienten nicht gezeigt werden):

Constant + IKrate * IKCaCl₂ + INrate + Srate + SLV + IKAK * Kbes + Kbes * FaktorRG + IMgCaCl₂ + IPCaCl₂ + ratio ($R^2 = 78\%$) (1)

Und für K_2O -Entzug:

Constant + IKrate * (IKCaCl₂ + pH) + IKCaCl₂ * (IMgCaCl₂ + pH) + Mgbes + fKMgCa_gap * pH + IKAK * (Kbes + IMgrate + pH) + IMgrate * Krate + IKrate-M
(R²=84 %) (2)

Mit:

- IKrate = ln(K-Düngung mit Mineraldünger + K aus RG)
- IKCaCl₂ = ln(K in 0,01 M CaCl₂)
- INrate = ln(N-Düngung mit Mineraldünger + RG (korrigiert um die Wirkung))
- Srate = S Ausbringung mit Minderaldünger
- IKAK = ln(KAK)
- Kbes = % der Adsorptionskapazität besetzt mit K
- IMgCaCl₂ = ln(Mg in 0.01 M CaCl₂)
- IPCaCl₂ = ln(P in 0,01 M CaCl₂)
- ratio = (PAL/(P in 0,01 M CaCl₂))
- IKrate-M = ln(K aus RG)
- IMgrate = ln(Mg Ausbringung mit Mineraldünger und RG)
- Mgbes = % der Adsorptionskapazität besetzt mit K
- Cabes = % der Adsorptionskapazität besetzt mit Ca
- fKMgCa_gap = Kbes/(Mgbes+Cabes)**2

Ziel der Düngungsversuche war es, eine neue Düngerempfehlung zu entwickeln, basierend auf K-CaCl₂ und KAK. Die Modelauswertung gibt nähere Auskünfte wie wichtig diese Parameter sind. Model 1 zeigt eine Interaktion zwischen K-Düngung und K-CaCl₂, aber keine zwischen KAK und K-Düngung. Der Effekt von Düngung und K-CaCl₂ ist schwach wie Tabelle 3 zeigt. Über einem K-CaCl₂ Wert von 50 gibt es kaum noch Mehrerträge durch Düngung.

Model 2 zeigt mehrere Interaktionen. Der Effekt von K-Düngung auf den K-Entzug hängt außer von K-CaCl₂ auch von Mg-CaCl₂ und pH ab und K-CaCl₂ interagiert mit Mg-CaCl₂ und pH. Der KAK interagiert nicht mit K-Düngung, wohl aber mit Kbes, Mg-Düngung und pH. In Abbildung 3 ist dargestellt welchen Einfluss K-CaCl₂ und KAK bei unterschiedlicher K-Düngung auf den K-Entzug haben. Der Effekt von KAK ist recht gering.

Tab 3: Der vorhergesagte Ertragseffekt von K-Düngung bei niedrig Werten von K-CaCl₂ mit Model 1, mit für alle anderen Parametern den Mittelwert aus den Versuchen.

K-CaCl ₂ mg/L	kg K ₂ O/ha					
	40	80	120	160	200	240
20	928	1102	1204	1276	1332	1378
30	580	690	753	799	834	862
40	334	397	433	460	480	496
50	144	171	186	197	206	213

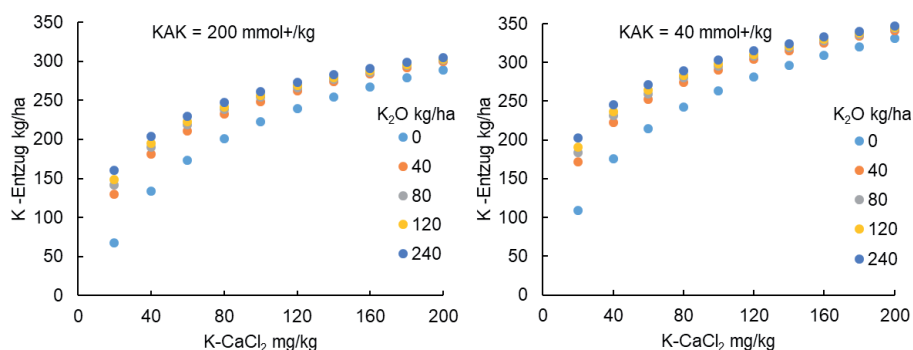


Abb. 3: Der vorhergesagte Ertragseffekt mit Model 2 von K-Düngung als Funktion von K-CaCl₂ für 5 K-Düngerstufen, mit für alle anderen Parametern den Mittelwert aus den Versuchen.

4 Diskussion und Ansatz zu einer neuen Düngerempfehlung

In unseren Versuchen gab es nur einen (eher schwachen) Ertragseffekt von K-Düngung bei K-CaCl₂ Bodenwerten unter 60 mg K/kg. Außerdem hat es sich gezeigt, dass unterhalb dieses Wertes, der maximale Ertrag mit K-Düngung zu erreichen ist. Eine klare Aussage zu einem K-Sollwert des Bodens lässt sich daher nicht ableiten. In älteren Versuchen in den Niederlanden (Prummel, 1966) gab es dagegen einen starken K-Effekt bei niedrigen Bodenwerten (K-HCl

< 80 mg $K_2O/kg \approx 66$ mg $K-CaCl_2/kg$). Möglicherweise war damals weniger K im Unterboden vorhanden. In neueren Versuchen ist die K-Reaktion von Mais eher gering. Kovacevic et al. (2009) beobachteten eine Ertragsreaktion von etwa 10 % ($K-HCl < 100$ mg K_2O/kg). Eine dreijährige Studie in Kanada (Subedi et al., 2009) ergab nur in einem Jahr einen Ertragseffekt, als kein K angewendet wurde. Bei sehr niedrigen Bodenwerten kann der Ertragseffekt aber groß sein, wie ein dreijähriger Versuch von Herrmann et al. (2014) zeigte. Auf sandigem Boden in Norddeutschland mit $K-CAL < 3$ mg $K_2O/100$ g wurden Ertragssteigerungen von über 4 t TM/ha gemessen bei einer K-Düngung von 100 kg K_2O/ha . Höhere Düngemengen erhöhten den Ertrag aber nicht. Herrmann et al. (2014) stellten fest, dass der kritische K-Gehalt bei einem Ertrag von 13 t TM/ha 8,3 g/kg TM betrug. Auch aus unseren Versuchen geht hervor, dass der kritische K-Gehalt etwa um diesen Wert liegt. Ein derartiger Wert lässt sich auch aus einer chinesischen Studie mit Körnermais ableiten, wo auf vielen Standorten der K-Gehalt im Stroh und im Korn gemessen wurde. Ein Wert von etwa 8,3 g/kg ist viel niedriger als der von Leigh und Jones (1984) vorgeschlagene Wert von 13 g/kg TM, als Indikator für eine adäquate K-Versorgung.

Obwohl unsere Versuche zeigen, dass eine Düngung von 40-80 kg K_2O/ha ausreicht, um den maximalen Ertrag zu erzielen, kann das langfristig nicht ausreichend sein. Mit dieser Menge wird weit unter dem Entzug gedüngt und daher muss der K-Bodenwert letztendlich stark sinken. Aus den Daten von Herrmann et al. (2014) geht hervor, dass die Bodenwerte ab einer Düngermenge von 200 kg K_2O/ha bei Erträgen von 13-14 t TM/ha nach 3 Jahren leicht ansteigen. Eine neue Düngerempfehlung in den Niederlanden könnte ganz einfach aussehen; düngen nach Entzug mit einem kritischen K_2O -Gehalt von 10 g/kg TM ($\approx 8,3$ mg K/kg TM). Bei einem Ertrag von 20 t TM/ha entspricht dies einer Düngermenge von 200 K_2O/ha , was weit niedriger ist als die aktuelle höchste Düngungsstufe von 300 kg K_2O/ha . Die K-Bodenuntersuchung könnte dann sogar entfallen. Der Nachteil ist, dass dann hohe K-Bodenwerte erhalten bleiben. Die Versuchsdaten und die statistische Auswertung (Tab. 3) zeigen, dass ab $K-CaCl_2 > 60$ mg K/kg kein Mehrertrag zu erwarten ist. Deshalb wird empfohlen eine neue Düngerempfehlung in den Niederlanden auf dem Entzug und dem $K-CaCl_2$ Bodenwert zu basieren, wobei für $K-CaCl_2 < 60$ die K_2O -Düngermenge = (TM Ertrag T/ha) * 10 und für $K-CaCl_2 \geq 60$ die K_2O -Düngermenge = (TM Ertrag T/ha) * 10 - a * (K-CaCl₂ - 60) gilt. Für den Wert von a wird 3 empfohlen.

Tab. 4: Die neue K_2O -Düngerempfehlung.

K-CaCl ₂ mg/kg	TM-Ertrag, T/ha		
	20	16	12
20	200	160	120
40	200	160	120
60	200	160	120
80	140	100	60
100	80	40	0
120	20	0	0
140	0	0	0

Es wird erwartet, dass der KAK auch einen recht großen Einfluss auf den Ertrag und auf den K-Entzug hat, wobei ein hoher KAK-Wert den Effekt von K-Düngung abschwächen würde. Zum Erzielen von demselben Ertrag würde dann bei einem niedrigeren K-CaCl₂ Wert mehr K_2O -Dünger notwendig sein. Aus Abbildung 3 geht das nur einigermaßen hervor. Bei K-CaCl₂ < 40 mg/kg und eine K_2O -Düngung von 40-80 K_2O /ha wird bei einem KAK-Wert von 40 etwa 40-50 kg K_2O /ha mehr entzogen als bei einem Wert von 200 mmol+/kg. Bei höheren Düngermengen und K-CaCl₂-Werten wird die Differenz geringer. Deshalb wird vorerst empfohlen, KAK nicht in einer neuen Düngerempfehlung zu beachten.

5 Zusammenfassung

Zweijährige Düngerversuche mit Silomais haben gezeigt, dass der Ertragseffekt von K-Düngung in Silomais eher gering ist. Außerdem hat sich gezeigt, dass auch bei sehr niedrigen K-Bodenwerten der maximale Ertrag mit K-Düngung zu erreichen ist. Es gibt deshalb keine klare Aussage über einen K-Sollwert des Bodens. Unterfußdüngung mit K-Mineraldünger oder RG zeigte sich nicht als vorteilhaft gegenüber oberflächige Düngung mit K-Mineraldünger oder RG. Die K-Düngung mit Rindergülle ist anscheinend weniger effektiv als Mineraldünger, möglicherweise durch Fahrschaden bei der Ausbringung. Die Ergebnisse deuten auf einem kritisch K-Gehalt von 8,0-8,5 g/kg TM im Maisaufwuchs hin, was anderen neuerlichen Untersuchungen entspricht. Düngung auf K-Entzug, basierend auf dem kritischen K-Gehalt, kann die Basis für eine neue Dünger-

empfehlung sein, wobei der K-CaCl₂-Gehalt in Betracht gezogen werden sollte, um hohe Bodenzustände zu korrigieren.

6 Literaturangaben

- Harville, D.A., 1977: Maximum Likelihood Approaches to Variance Component Estimation and to Related Problems. *Journal of the American Statistical Association* 72 (358): 320-338.
- Herrmann, A., Schröder, F., Kluß, C., Lausen, P., Techow, E., Feger, G., Taube, F., 2014: Wie viel Kalium braucht Silomais auf leichten Standorten? Tagungsband der 58. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau (AGGF) in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. in Arnstadt vom 28.-30. August 2014. 116-120.
- Jiang, W., Liu, X., Wang, Y., Zhang, Y., Qi, W., 2018: Responses to Potassium Application and Economic Optimum K Rate of Maize under Different Soil Indigenous K Supply. *Sustainability* 10, 2267; doi:10.3390/su10072267.
- Kovacevic, V., Rastija, M., Simic, B., Andric, L., Kaucic, D., 2008: Phosphorus and potassium fertilization impacts on yield and nutritional status of maize. In: VI Alps-Adria Workshop. Stara Lesna, Slovakia 2008. 43-46.
- Leigh, R.A., Wyn Jones, R.G., 1984: A Hypothesis Relating Critical Potassium Concentrations for Growth to the Distribution and Functions of this Ion in the Plant Cell. *New Phytologist*, Vol. 97, No. 1, pp. 1-13.
- Prummel, J., 1966: De fosfaat- en kalibemesting van maïs. *De Buffer* 12, p.46-49.
- Subedi, K.D., Ma, B.L., 2009: Assessment of some major yield-limiting factors on maize production in a humid temperate environment. *Field Crops Research* 110 (2009) 21-26.
- Van Rotterdam-Los, A.M.D., 2010: The potential of soils to supply phosphorus and potassium; processes and predictions. PhD thesis Wageningen University, pp 141.
- Van Schooten, H.A., Van Schöll, L., Van Dijk, W., Van Middelkoop, J.C., Den Boer, D.J., 2011: Doeltreffend kali-bemestingsadvies voor snijmaïs; Literatuurstudie naar achtergronden en verbeteringen van huidig advies. Rapport 500. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.

Beregnungsversuch mit GPS-gesteuerter Parzellenberegnung bei neun Ackerbaukulturen

A.F. Butz, J. Ott

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Rheinstetten-Forchheim

1 Einleitung

Die Beregnung von Ackerbaukulturen wird als Anpassungsstrategie an den Klimawandel und zur Ertragsabsicherung im Ackerbau am Oberrhein diskutiert und zunehmend praktiziert. Die für landwirtschaftliche Kulturen übliche Bewässerungstechnik ist jedoch nicht oder nur unter großem Flächenbedarf bzw. mit Einschränkung der statistischen Auswertbarkeit für Feldversuche geeignet.

Um auch in landwirtschaftlichen Kulturen komplexere randomisierte Feldversuche mit Beregnung in exakter Dosierung und parzellengenauer vollautomatischer Verteilung zur ermöglichen, hat das LTZ Augustenberg eine GPS-gesteuerte Parzellenberegnung für den Versuchsstandort Rheinstetten-Forchheim entwickelt. Mithilfe der Anlage wurde im Rahmen von Feldversuchen geprüft, ob die Bewässerungswürdigkeit sowie ein Potenzial zur Wassereinsparung durch Defizitbewässerung im Ackerbau bestehen. Der vorliegenden Untersuchung lagen folgende Hypothesen zugrunde:

Durch die Bewässerung sind Ertragszuwächse sowie eine Ertragsstabilisierung bei Ackerbaukulturen in der Rheinebene möglich. Durch eine Defizitbewässerung kann Bewässerungswasser eingespart werden, ohne dass dies zu erheblichen Ertragsrückgängen führt.

2 Material und Methoden

Die Anlage ist eine Mischung aus Pivot- und Linearmaschine mit zwei Traversen á 62 m und zehn einzeln ansteuerbaren Beregnungsfeldern von 12 m x 3 m (Schillinger GmbH, Ihringen). Die Beregnungsmenge in den Beregnungsfeldern wird über druckkompensierte Tropfer und über die Beregnungszeit gesteuert. Zur Beregnung fährt die Anlage GPS-gesteuert zur geplanten Position der zu bewässernden Parzelle und bringt die festgelegte Beregnungsmenge aus.

Die Position der Anlage wird über in Fahrtrichtung auf den beiden äußeren Türmen montierte GPS-Antennen unter Verwendung eines RTK-Korrektursignals zentimetergenau bestimmt.

Sowohl die Versuchsplanung, die Steuerung der Aussaat der Versuchsanlage, als auch die Berechnungsplanung und -steuerung erfolgen mit dem Programm MiniGis 2 (geo-konzept GmbH, Adelschlag). Die Anlage ist nicht ortsgebunden und wird zurzeit jährlich umgestellt.

Mit der Anlage wurde in den Jahren 2012-2016 der Einfluss von zwei Bewässerungsstrategien auf den Ertrag und die Ertragsstabilität bei neun Ackerbaukulturen auf dem sandigen Trockenstandort Rheinstetten-Forchheim (IS, AZ 30, nutzbare Feldkapazität (nFK) 13 %, langjährige Mittel: Temperatur 10,1 °C, Niederschlag 742 mm, Grundwasserflurabstand 7 m) in der Rheinebene geprüft. Hierzu wurde bei den Ackerbaukulturen Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale, Winterweizen, Sommerbraugerste, Futtererbsen, Soja, Körnersorghum und Körnermais jeweils eine zweifaktorielle Spaltanlage mit den Faktoren Bewässerung und Sorte (je Kultur zwei Sorten) angelegt. Im Versuch wurden folgende Bewässerungsvarianten untersucht: (1) keine Bewässerung, (2) reduzierte Bewässerung (Defizitbewässerung in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium, Beregnung ab nFk von 35 %) und (3) optimale Bewässerung (Beregnung ab nFk von 45 %), jeweils gesteuert mit dem klimatischen Bodenwassermodell des Deutschen Wetterdienstes „Agrowetter Beregnung“ (Jansen, 2009). Im Versuch wurden die Bestandesentwicklung, die Erträge und die Qualität (u. a. Proteingehalt) erhoben. Die Datenanalyse erfolgte als gemischtes Model mit dem R GNU Package lme. Die Ertragsstabilität wurde nach Francis & Kannenberg (1978) anhand der Variationskoeffizienten (CV) berechnet.

3 Ergebnisse

Bis auf das Jahr 2016 bestand in allen fünf Versuchsjahren bei allen geprüften Kulturen ein Zusatzwasserbedarf. Die Winterungen wurden in 2016 nicht beregnet. Die mittlere Beregnungsmenge (Tab. 1) wurde durch die reduzierte Bewässerung im Vergleich zur optimalen Variante im Mittel der Jahre von 26 % bei Sojabohne bis zu 49 % bei Körnererbsen reduziert. Mit Ausnahme der Wintergerste ist die mittlere ausgebrachte Beregnungsmenge bei der reduzierten Beregnung signifikant geringer als bei der optimalen Beregnung.

Beide Berechnungsvarianten (2 und 3) führten zu höheren Erträgen (Tab. 1), die in den meisten Jahren und Kulturen signifikant höher waren als ohne Beregnung. Nur bei der Wintergerste (2 von 4 Jahren), der Sommergerste (1 von 5 Jahren) und den Erbsen (2 von 5 Jahren) führte die Beregnung in Einzeljahren zu keinen signifikanten Mehrerträgen.

Die Erträge bei reduzierter Bewässerung (2) unterschieden sich in vielen Jahren nicht von der optimalen Beregnung (3), jedoch nicht in allen Jahren und nicht bei allen Kulturen gleichermaßen (Daten nicht gezeigt). Grundsätzlich konnte durch beide Berechnungsvarianten die Variation des Ertrages (CV) über die Jahre verringert werden (Tab. 1).

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die GPS-gesteuerte Linearberegnung, mit ihrer parzellengenauen Beregnung und dem EDV-gestützten Workflow, ermöglicht eine effiziente Versuchsdurchführung ohne Einschränkung der statistischen Auswertbarkeit.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass beachtliche Ertragszuwächse und eine Ertragsstabilisierung durch die Bewässerung in der Rheinebene möglich sind. In Norddeutschland wurden auf Sandböden ähnliche relative Ertragszuwächse beobachtet (Riedel, 2017). Im Gegensatz zu Norddeutschland, wo Winterungen stärker von der Beregnung profitieren als Mais, zeigte sich in der Rheinebene, dass die späten Sommerungen (Körnermais und Soja) mehr als die Winterungen von der Wassergabe profitierten. Dies zeigt, dass die verbesserte Wasserversorgung die durch hohe Temperaturen verkürzte Kornfüllung und damit einhergehende Ertragsreduzierungen bei den Winterungen (Ferrise et al., 1998) nicht vollständig kompensieren konnte.

Darüber hinaus ergab sich, dass je nach Kultur durch die Defizitbewässerung deutlich Bewässerungswasser eingespart werden kann, ohne dass dies zu erheblichen Ertragsrückgängen führt. Jedoch war dies nicht in allen Jahren und nicht bei allen Kulturen gleichermaßen der Fall. Dies zeigt, dass für eine Optimierung des Beregnungsmanagements in Deutschland noch weitere Untersuchungen erforderlich sind, gerade hinsichtlich einer Defizitbewässerung zur Energie- und Wassereinsparung.

Tab. 1: Berechnungsmenge [mm], Ertrag (Mittelwert und Standardfehler (se)) und Variationskoeffizient des Ertrages (CV) über die Sorten und Versuchsjahre (2012-2016)

Kultur	Berechnung	Berechnungs- menge		Ertrag (dtha ⁻¹ 86% TS)		CV
		Mittel	se	Mittel	se	
Erbsen	unberechnet			32,6	1,86	30,1
	reduziert	67	20	47,1	1,57	18,0
	optimal	108	27	49,4	1,76	19,5
Sommergerste	unberechnet			56,6	2,41	23,3
	reduziert	78	21	73,6	1,41	10,5
	optimal	107	26	77,0	0,94	6,7
Wintergerste	unberechnet			72,8	2,31	15,8
	reduziert	43	11	79,8	1,69	10,6
	optimal	70	15	82,3	1,81	11,6
Körnermais	unberechnet			53,3	7,18	72,5
	reduziert	101	12	113,6	4,91	23,7
	optimal	156	22	124,0	4,35	19,2
Körnersorghum	unberechnet			32,6	5,09	85,4
	reduziert	91	18	52,8	5,15	53,3
	optimal	143	21	58,9	5,01	46,6
Soja	unberechnet			12,7	1,35	58,3
	reduziert	129	14	31,7	1,06	18,4
	optimal	176	22	38,5	0,82	11,6
Winterroggen	unberechnet			64,7	3,08	26,0
	reduziert	56	14	80,8	1,82	11,0
	optimal	101	25	90,3	2,86	15,5
Wintertriticale	unberechnet			67,3	3,12	25,4
	reduziert	73	23	90,9	2,38	12,8
	optimal	106	26	95,5	2,83	14,5
Winterweizen	unberechnet			59,7	2,41	22,2
	reduziert	80	20	79,7	3,09	19,0
	optimal	116	18	81,0	2,99	18,1

5 Literaturangaben

- Ferrise, R., Ellis, R.H., Wheeler, T.R., Hadley, P., 1998: Effect of high temperature stress at anthesis on grain yield and biomass of field-grown crops of wheat. *Annals of Botany* 82: 631-639.
- Francis, T.R., Kannenberg, L.W., 1978: Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 1029-1034.
- Janssen, W., 2009: Online irrigation service for fruit and vegetable crops at farmers site. in: 9th EMS Annual Meeting, 9th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM) Abstracts, held Sept. 28-Oct. 2, 2009 in Toulouse, France. <http://meetings.copernicus.org/ems2009/>, id. EMS2009-329.
- Riedel, A., 2017: Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Bewässerung. Bd. 85, S. 89-102- in: *Bewässerung in der Landwirtschaft*. Braunschweig.

Bestimmung des entwicklungsstadienabhängigen Düngebedarfs bei Winterroggen mittels reflexionsoptischer Messungen

M. Strenner, F.X. Maidl, K.-J. Hülsbergen

TUM, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising

1 Einleitung

Bei der Getreideproduktion ist es das Ziel eines jeden Landwirts den Ertrag zu optimieren und zugleich den Einsatz an Mineraldünger zu minimieren. Die Herausforderung für den Landwirt liegt nun darin, die optimale N-Versorgung für den Pflanzenbestand abzuschätzen. Ein steigender Gehalt an mineralischem N führt sowohl zu einem höheren Kornertrag, als auch zu einer gestiegenen Wuchshöhe der Pflanzen. Des Weiteren resultieren daraus eine erhöhte Pflanzendichte des Bestandes (Pflanzen m^{-2}), eine erhöhte Anzahl Ähren m^{-2} , eine erhöhte Kornzahl pro Ähre, sowie ein erhöhtes Gewicht der Ähren und ein erhöhter Korn-Proteingehalt (Hussein et al., 2006). Um einen maximalen Kornertrag mit möglichst hohem Proteingehalt zu erwirken, bringen Landwirte oftmals sehr hohe Mengen mineralischen Stickstoffdüngers aus. Diese hohen Gaben mineralischen Stickstoffs führen dann einerseits zu einer Verlagerung von Nitrat (NO_3) ins Grundwasser und andererseits zu Lachgas- (N_2O) und Methanemissionen (CH_4) aus dem Boden. (Jacinte und Lal, 2003).

Nichtsdestotrotz ist die Versorgung mit Stickstoff für den Pflanzenbestand einer der wichtigsten Faktoren. Dieser resultiert aus der Stickstoffmineralisation des Bodens und der zusätzlich ausgebrachten Stickstoffdüngung. (Moraghan et al., 2003). I. A. wird die Gesamtmenge an mineralischen Stickstoffdünger in mehreren Teilgaben appliziert. Dies geschieht zu bestimmten Entwicklungsstadien des Getreides um ein Maximum an Ertrag und Qualität zu erhalten.

Die Stickstoffmineralisationsrate ist von Boden-, als auch von Wetterbedingungen abhängig. Stickstoffdüngergaben, die nur auf Stickstoffuntersuchungen (N_{min}) des Bodens beruhen, können zu so zu einer falschen Düngermenge und somit zu einer Über- oder Unterversorgung führen, weil wetterbedingte Variationen in der N-Versorgung unberücksichtigt bleiben. Darüber hinaus wird Stickstoff nicht gleichmäßig innerhalb eines heterogenen Feldes freigesetzt (Baxter

et al., 2003). Sollen nur Bodenanalysen zur Stickstoffbedarfsermittlung herangezogen werden, so ist davon sowohl eine hohe Anzahl, als auch ein enges Raster notwendig. Diese Vorgehensweise ist aber sehr zeitintensiv und nicht ökonomisch.

Da das Wachstum der Pflanzen und die Entwicklung des Bestandes vom aktuellen Nährstoffstatus abhängen, sind die Pflanzen selbst der beste Indikator zur Abschätzung des tatsächlichen Stickstoffbedarfs. Durch die Verwendung von Reflexionsmessungen können Landwirte bedarfsgerecht düngen, für ein Optimum an Ertrag und ein Minimum an Umweltbelastung.

Der aktuelle N-Status kann mittels reflexionsoptischer Sensoren bestimmt werden, die das von den Pflanzen reflektierte Licht verschiedener Wellenlängen erfassen. Die Wirksamkeit dieser Sensoren wurde für die Düngung von Winterweizen schon bestätigt (Link et al., 2002). Auch wurde nachgewiesen, dass die Sensorwerte gut mit der aktuellen Stickstoffaufnahme korrelieren (Philips et al., 2004).

Sensoren, die die Pflanzenreflexion erfassen geben ihre Ergebnisse meist als Vegetationsindices (VI) aus. In dieser Studie wurde zum einen untersucht, wie gut die tatsächliche Stickstoffaufnahme von Winterrogenbeständen abgebildet werden kann. Zum anderen wurde ein Vergleich verschiedener Vegetationsindices durchgeführt, mit dem Ziel die Stickstoffaufnahme in Relation zum Entwicklungsstadium und zur Stickstoffdüngung hinreichend genau abzubilden und dabei einen möglichst geringen Einfluss verschiedener Sorten aufzuweisen.

2 Material und Methoden

Parzellenversuche mit Winterrogen (*secale cereale* L.) wurden im Zeitraum von 2007-2016 an zwei verschiedenen Versuchsstandorten der Technischen Universität München durchgeführt. Bei den Böden handelte es sich um schluffigen-, bzw. sandigen Lehm mit guter Fruchtbarkeit für die Getreideproduktion.

Die Feldversuche bestanden aus zwei verschiedenen Versuchsgliedern. Eines war ein Stickstoffsteigerungsversuch (N-Optimierungsversuch), bestehend aus insgesamt 16 verschiedenen Düngestufen. Die N-Düngermenge variierte

dabei von 0-250 kg N ha⁻¹, aufgeteilt und ausgebracht zu den Entwicklungsstadien BBCH (Meier, 2001) 25, 32 und 49. Das andere Versuchsglied war ein Winterroggen-Sortenversuch. Dieser bestand aus fünf verschiedenen Hybrid- und Populationssorten, die mit vier unterschiedlich hohen Gaben mineralischen N gedüngt wurden. Auch diese N-Gaben wurden in ihrer Höhe und nach Entwicklungsstadien aufgeteilt. Als Düngemittel kam für beide Versuchsglieder Kalkammonsalpeter mit einem Stickstoffgehalt von 27 % zum Einsatz. Beide Versuchsglieder bestanden aus randomisierten Doppelparzellen, je vierfach wiederholt. Ein Parzellenteil diente dabei den Sensormessungen, der andere der Gewinnung der Biomasseproben zu den verschiedenen Entwicklungsstadien.

Tab. 1: Formeln und Referenzen der verwendeten Vegetationsindizes

VI	Formel	Referenz
REIP	$700 + 40 \frac{0,5(R_{670} + R_{780}) - 700}{R_{740} - R_{700}}$	Guyot und Baret (1988)
NDVI	$(R_{780} - R_{740}) / (R_{780} + R_{740})$	Rouse et al. (1974)
IR/R	R_{780} / R_{670}	Pearson and Miller (1972)
IR/G	R_{780} / R_{550}	Tabeke et al. (1990)
IRI 1	R_{740} / R_{730}	Reusch (1997)
IRI 2	R_{740} / R_{720}	Reusch (1997)
SAVI	$\frac{1,5(R_{780} + R_{670})}{R_{780} - R_{670} + 0,5}$	Huete (1988)
NDI 1	$(R_{750} - R_{780}) / (R_{750} + R_{780})$	Müller (2008)
NDI 2	$(R_{780} - R_{740}) / (R_{780} + R_{740})$	Müller (2008)
SR 1	R_{740} / R_{780}	Müller (2008)
SR 2	R_{780} / R_{740}	Müller (2008)

Während der Vegetationsperiode wurden zu den Entwicklungsstadien, BBCH 30, 37, 49 und 65 Biomasseproben des oberirdischen Pflanzenteils genommen. Dafür wurde jeweils eine Reihe der Parzelle geerntet und diese Proben anschließend gewogen und zerkleinert. Eine Teilprobe wurde davon

dann im Ofen getrocknet und rückgewogen um den oberirdischen Trockenmasseeertrag zu berechnen. Dies wurde dann umgerechnet auf Hektarerträge. Um den Stickstoffgehalt der Proben zu bestimmen, wurde ein weiterer Probenteil gemahlen und anschließend mit einem vario MAX auto-analyzer (Elementar Analysensysteme GmbH, Langenselbold, Deutschland) analysiert.

Als Messgerät für die Detektion des vom Pflanzenbestand reflektierten Spektrums diente ein handgetragenes Zweikanal-HandySpec-Feldspektrometer (tec5 AG, Oberursel, Deutschland). Dieses zeichnete mit einer spektralen Auflösung von 3 nm in einem Bereich von 360-1050 nm, gleichzeitig sowohl die Einstrahlung als auch die Reflexion auf.

Für die Berechnung der Vegetationsindizes wurden verschiedene Wellenlängen verwendet. Eine Übersicht über die jeweiligen Berechnungsformeln, als auch über die Referenz wird in Tabelle 1 dargestellt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Während des zehnjährigen Versuchszeitraumes der Stickstoffsteigerungsversuche zeigte sich ein heterogenes Bild der Bestimmtheitsmaße der verschiedenen Vegetationsindizes. Dabei war nicht nur ein Unterschied zwischen den einzelnen Vegetationsindizes, sondern auch zwischen den verschiedenen Entwicklungsstadien erkennbar. Daneben zeigte sich aber auch, dass der Vegetationsindex SAVI zu jedem Entwicklungsstadium die niedrigsten Bestimmtheitsmaße aufwies. Über alle BBCH hinweg die höchsten R^2 -Werte wiesen die Vegetationsindizes REIP, NDI2, SR 1 und SR 2 auf (Tab. 2).

Die anschließende Varianzanalyse der elf Vegetationsindizes zeigte, dass die Vegetationsindizes NDVI und SAVI zuverlässig nur zwischen der ungedüngten und der gedüngten Variante unterscheiden können. Der Vegetationsindex SAVI unterscheidet sich vor allem durch den Zusatz eines Korrekturfaktors vom NDVI. Dies und der Umstand, dass sich die Untersuchungen des SAVI auf Baumwoll- und Eragrostisbestände bezogen, legt die Vermutung nahe, dass der in der Literatur genannte Korrekturfaktor für die Bestimmung der aktuellen N-Aufnahme bei Winterroggen ungeeignet ist. IR/R, IR/G, aber auch IRI 1 und IRI 2 können nur zwischen ungedüngt, leicht gedüngt und hoch gedüngt unterscheiden. Eine zuverlässige Unterscheidbarkeit bei höheren verfügbaren N-Mengen ist aber

auch mit diesen Vegetationsindizes nicht möglich. Eine gute Unterscheidbarkeit der verschiedenen hohen verfügbaren N-Mengen wird hingegen mit den Vegetationsindizes REIP, NDI 1, NDI 2, SR 1 und SR 2 ermöglicht. Diese repräsentieren die gedüngten Stickstoffmengen und die daraus resultierenden mittleren N-Aufnahmen am besten. Es scheint sich zu bestätigen, dass die die Kombination von Wellenlängen des Rotbereichs mit denen im Nahinfrarotbereich durch vielfältige physikalische Hintergrundeffekte wie Rückstrahlung des Bodens und Strahlengangs innerhalb eines Blattes beeinflusst wird. Diese Effekte wurden bezüglich des NDVI auch schon von Huete und Jackson (1988), Vogelmann et al. (1993) und Elvidge und Chen (1995) berichtet. Dies wird beispielhaft für BBCH37 in der Abbildung 1 dargestellt.

Tab. 2: Vergleich R²-Werte der Vegetationsindizes zu den Entwicklungsstadien (quadratische Regression)

	BBCH 30	BBCH 37	BBCH 49	BBCH 65
REIP	0,95	0,94	0,89	0,76
NDVI	0,63	0,70	0,57	0,55
IR/R	0,64	0,46	0,70	0,38
IR/G	0,88	0,77	0,87	0,61
IRI 1	0,72	0,86	0,85	0,61
IRI 2	0,68	0,83	0,81	0,72
SAVI	0,40	0,36	0,32	0,02
NDI 1	0,88	0,89	0,87	0,73
NDI 2	0,97	0,94	0,89	0,76
SR 1	0,97	0,94	0,89	0,77
SR 2	0,97	0,93	0,89	0,75

Beim REIP liegt das v.a. an der Verwendung von vier verschiedenen Wellenlängen des Rot- (670 und 700 nm) und Nahinfrarotbereichs (740 und 780 nm). Durch die Verwendung v.a. der Wellenlänge 740 nm werden augenscheinlich die physikalischen Hintergrundeffekte, die noch bei NDVI und IR/R verstärkt zum Tragen kamen minimiert. Bestätigt wird das auch durch die hohen Bestimmtheitsmaße der Indizes NDI 1 und NDI 2, sowie der SR 1 und der SR 2 (Müller, 2008). Obwohl die mathematischen Formeln von NDI 1 und NDI 2 denen des NDVI entsprechen

und SR 1 und SR 2 einfache Quotienten zwei verschiedener Wellenlängen sind, sind die Bestimmtheitsmaße zu allen untersuchten Entwicklungsstadien denen des REIP ebenbürtig. Die leicht schwächeren Werte des NDI 1 resultieren aus der Tatsache, dass hier im Gegensatz zum NDI 2 (mit 740 und 780 nm) die Wellenlängen 750 und 780 nm Verwendung fanden. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei 750 nm höhere Hintergrundeffekte zum Tragen kamen.

Die nahezu bei allen untersuchten Vegetationsindizes auftretenden Effekte der sinkenden Bestimmtheitsmaße zu allen untersuchten Entwicklungsstadien während der Vegetationsperiode können auf mehreren Faktoren beruhen. Dies kann an einem Sättigungseffekt liegen, wie er beispielhaft zum Entwicklungsstadium bei BBCH 37 beim NDVI auftritt und in Abbildung 1 dargestellt ist. Somit kann ab einer gewissen N-Aufnahme nicht mehr durch den Vegetationsindex differenziert werden. Des Weiteren beschreiben Boegh et al. (2002) eine streng exponentielle Abnahme der Reflexion mit zunehmender Dichte eines Pflanzenbestandes. Dies kann ebenso für sinkende R^2 -Werte verantwortlich sein.

Horler et al. (1983) und Munden et al. (1994) beschrieben, dass eine steigende Chlorophyllkonzentration in den Blättern dazu führt, dass die REIP-Werte steigen.

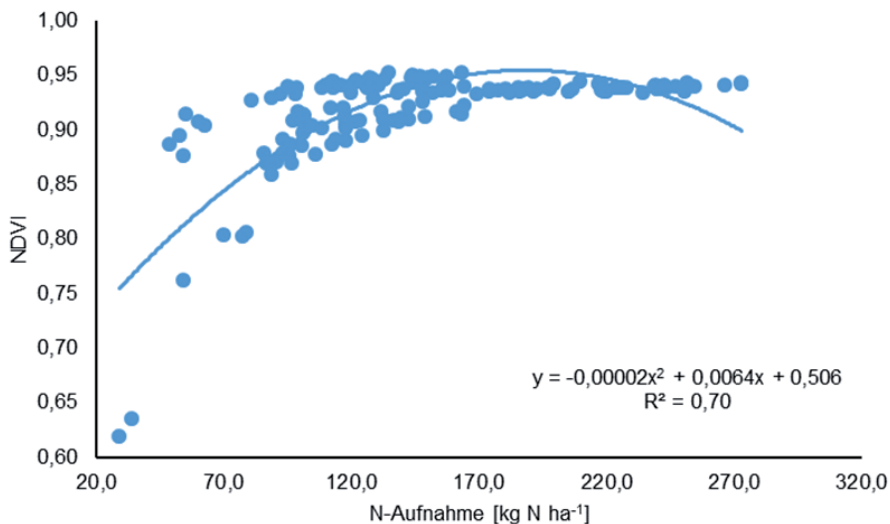


Abb. 1: Quadratische Regression NDVI zu N-Aufnahme (BBCH37 (alle Jahre))

Die Regressionsanalyse des allgemein bekannten NDVI zeigt, dass schon ab einer Stickstoffaufnahme von etwa 50-80 kg N ha⁻¹ die R^2 -Werte in einem Grö-

Benbereich zwischen NDVI=0,75 und 0,90 schwanken. Eine genaue Differenzierung der N-Aufnahme ist somit nicht mehr möglich. Des Weiteren beginnen sich ab einer N-Aufnahme von mehr als 80 kg N ha⁻¹ die Datenpunkte in einem Bereich von etwa NDVI=0,93 zu konzentrieren. Dies ist ein signifikantes Zeichen für einen Sättigungseffekt.

Neben dem bereits genannten Aspekt der Differenzierung der N-Düngestufen, ist auch ein möglicher Einfluss der Sorten auf einen Vegetationsindex wichtig. Der Einfluss der verschiedenen Sorten auf das Messergebnis der Vegetationsindizes sollte bei den für die Düngung wichtigen Entwicklungsstadien so klein wie möglich sein. Für die Analyse dieses Sachverhalts wurde eine Varianzanalyse der verschiedenen Sorten durchgeführt und die Ergebnisse der einzelnen Vegetationsindizes zu den untersuchten Entwicklungsstadien verglichen. Der Vegetationsindex REIP erwies sich zu den für die Düngung besonders relevanten Entwicklungsstadien BBCH 30 und 37 als unempfindlich gegenüber einem Sorteneinfluss. Zu BBCH 49 hingegen konnte über alle Jahre mit einem Wert $p=0,014$ ein signifikanter Einfluss beobachtet werden, der allerdings zu BBCH 65 wieder auf nicht signifikante Werte zurückging. NDVI, IR/R und IRI 2 werden bis auf das Entwicklungsstadium BBCH 65 nicht durch die Sorten in ihren Messergebnissen beeinflusst. Allerdings weisen sie geringere Bestimmtheitsmaße zur N-Aufnahme aus, wie der Vergleich der Bestimmtheitsmaße des N-Optimierungsversuchs zeigte.

4 Literaturangaben

- Baxter S., Oliver, M., Gaunt, J., 2003: A geostatistical analysis of the spatial variation of soil mineral nitrogen and potentially available nitrogen within an arable field. *Prec. Agric.* 4, 213-226.
- Boegh, E., Soegaard, H., Broge, N., Hasager, C., Jensen, N., Schelde, K., Thomson, A., 2002: Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration and photosynthetic efficiency in agriculture. *Rem. Sens. Environ.* 81, 179-193.
- Elvidge, C., Chen, Z., 1995: Comparison of Broad-Band and Narrow-Band Red and Near-Infrared-Vegetation Indices. *Rem. Sens. Environ.* 54, 38-48.
- Guyot, G., Baret, F., 1988: utilisation de la haute resolution spectrale pour suivre l'état des couverts végétaux. *Proceed. of 4th int. Colloquium on spectral Signatures in Remote Sensing.* ESA SP-287, Aussois, France, 279-286.

- Horler, D., Dockray, M., Barber, J., 1983: The red edge of plant leaf reflectance. *Rem. Sens.* 4, 273-288.
- Huete, A., 1988: A soil-adjusted vegetation index. *Rem. Sens. Environ.* 25, 295-309.
- Huete, A., Jackson, R., 1988: Soil and Atmosphere Influences on the Spectra of Partial Canopies. *Rem. Sens. Environ.* 25(1), 89-105.
- Hussein, I., Khan, E., 2006: Bread Wheat Varieties as Influenced by Different Nitrogen Levels. *J. of Zhejiang Univ.* 7(1), 70-78.
- Jacinto, P., Lal, R., 2003: Nitrogen fertilization of wheat residue affecting nitrous oxide and methane emissions from central ohio Luvisol. *Biol. Fertil. Soils* 37, 338-347.
- Link, A., Panitzki, M., Reusch, S., 2002: Hydro-N-Sensor: Tractor-mounted remote sensing for variable nitrogen fertilization. *Proc. of 6th Int Conf. of Prec. Agr.*, 1012-1017.
- Meier, U., 2001: Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen-BBCH Monografie. *BBA* (2. Aufl.), 1-14.
- Moraghan, J., Sims, A., Smith, L., 2003: Sugarbeet growth as affected by wheat residues and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 95, 156-165.
- Müller, K., 2008: Remote sensing and simulation modelling tools for improving nitrogen efficiency for winter oilseed rape. Ph.D. thesis, CAU Kiel.
- Munden, R., Curran, P., Catt, J., 1994: The relationship between red edge and chlorophyll concentration in the broadbalk winter wheat experiment at Rothamsted. *J. of Rem. Sens.* 15(3), 705-709.
- Pearson, R., Miller, L., 1972: Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short grass prairie. *Proc. of 8th int. Symp. on rem. sens.*, 1357-1381.
- Philips, S., Keathy, D., Warre, J., Mullins, G., 2004: Estimating winter wheat tiller density using spectral reflectance sensors for early spring variable rate nitrogen applications. *Agron. J.*, 96, 591-600.
- Reusch, S., 1997: Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Ph.D. thesis, CAU Kiel.
- Tabeke, M., Yoneyama, T., Inada, I., Murakami, T., 1990: Spectral reflectance ratio of rice canopy for estimating crop nitrogen status. *J of Plant Nutr.* 12, 295-297.
- Vogelmann, J., Rock, B., Moss, D., 1993: Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *J. of Rem. Sens.* 14(8), 1563-1575.

Nährstoffverteilingenauigkeit bei Applikation von zwei Mischdüngern mittels Zentrifugalstreuer

A. Borchert¹, M. Finke¹, T. Brockmeyer², M. Ströbel-Frösche³, H.-W. Olf¹

¹Hochschule Osnabrück, Osnabrück, ²iotec GmbH, Osnabrück, ³Amazonen Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG, Hasbergen

1 Einleitung

Um den Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Kulturen zu decken, sind geeignete Düngemittel und eine genaue Ausbringtechnik essentiell. Neben organischen Wirtschaftsdüngern bringen Landwirte jährlich ca. 2,0 Mio. t Mineraldünger auf ihren Flächen in Deutschland aus (Statistisches Bundesamt, 2017). Diese Ein- und Komplexmehrnährstoff- sowie Mischdünger enthalten verschiedene Makro- und Mikronährstoffe (vor allem Stickstoff (N), Kalium (K), Phosphor (P) und Schwefel (S)) in unterschiedlichen Konzentrationen. Für ein breitflächiges Verteilen dieser Dünger sind Zentrifugalstreuer mit zwei Streuscheiben die gängige Technik.

Das Interesse der Landwirte am Einsatz von Mischdüngern (Bulk Blends) nimmt vor allem vor dem Hintergrund der Novellierung der Düngeverordnung 2017 weiter zu. Im Jahr 2016 waren deutschlandweit bereits ca. 280 Mischanlagen in Betrieb (Bundesverband der Düngermischer e. V., 2018). Je nach Standort der Anlage setzen die Düngermischer auf unterschiedliche Düngerkomponenten, darunter z. B. Kalkammonsalpeter (KAS), 40er Korn-Kali und Diammoniumphosphat (DAP). Den größten Einfluss auf die Komponentenauswahl haben dabei die vor Ort angebauten Kulturen, das regional vorherrschende Klima, die Bodenverhältnisse sowie die Verfügbarkeit der Düngemittel beim Hersteller. Die meist aus zwei bis drei (manchmal bis zu sechs) Düngern bestehenden Mischungen haben folgende Vorteile gegenüber Komplexmehrnährstoffdüngern mit festen Nährstoffverhältnissen:

- Die enthaltenen Nährstoffkonzentrationen sind explizit auf den Düngebedarf der Einzelfläche abgestimmt.
- Landwirte können Überfahrten über den Acker einsparen.
- Mischdünger sind z. T. preislich günstiger als Komplexdünger.

Gemischte Dünger unterscheiden sich jedoch oft in ihren physikalischen Eigenschaften, wie z. B. der mittleren Korngröße (d50), Dichte und Fließgeschwindigkeit (Abb. 1). So liegt beispielsweise der d50 von 42 untersuchten Düngern bei 2,7 bis 4,3 mm.

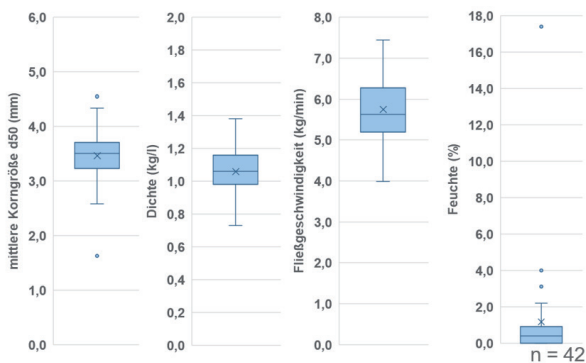


Abb. 1: Physikalische Eigenschaften von Mineraldüngern (n = 42)

Durch diese Dünkereigenschaften kann es bereits beim Lagern und/oder Transport zum Entmischen der Düngermischung kommen, was eine gleichmäßige Nährstoffverteilung auf der Fläche gefährdet. Auch ist eine Segregation der Mischungspartner beim späteren Streuvorgang möglich, da die gemischten Dünger nicht die gleichen Streueigenschaften, wie z. B. Abwurfwinkel oder Wurfweite, aufweisen. Über die optimale Einstellung des Streuers beim Einsatz von Mischungen liegen derzeit kaum Infos für den Anwender vor.

Wie gut daher die Nährstoffverteilgenauigkeit von zwei praxisüblichen Düngermischungen ist, wurde im Rahmen des von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) geförderten Projektes „Smartphone basierte optische Verfahren zur Charakterisierung von Einzelkomponenten bei der Herstellung von mineralischen Mischdüngern und Ableitung von Streueigenschaften zur optimierten Streueinstellung bei Zentrifugalstreuern (OptiBlend)“ in einer Düngerstreuhalle getestet.

2 Material und Methoden

Die Mischdünger-Streuversuche fanden im November 2017 in der Streuhalle Horsens der Universität Aarhus in Dänemark statt. Insgesamt wurden 14 pra-

xisübliche Düngermischungen in ihrer Mengen- und Nährstoffquerverteilung betrachtet. Darunter folgende zwei Praxismischungen A und B mit einem NKS-Verhältnis 13-15-8:

- Mischung A: 56 % Sulfan + 44 % 40er Korn-Kali
- Mischung B: 40 % KAS, 46 % Schwefelsaures Ammoniak (ssA), 14 % 40er Korn-Kali

Diese beiden Mischungen sind zur Frühjahrsdüngung von Triticale vor allem in Regionen mit Schweinehaltung auf leichten Böden (Nährstoffversorgung: Phosphor in Gehaltsklasse D; Kalium in Gehaltsklasse C) praxisüblich. Die für die Streuversuche kalkulierten, auszubringenden Nährstoffmengen lagen bei 60 kg/ha Stickstoff, 80 kg/ha Kaliumoxid und 25 kg/ha Schwefel. Die physikalischen Eigenschaften der eingesetzten Düngerkomponenten Sulfan, 40er Korn-Kali, KAS und ssA sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Physikalische Eigenschaften der in den Streuversuchen eingesetzten Düngerkomponenten

Physikalische Eigenschaften	Sulfan	40er Korn-Kali	KAS	ssA
Fließgeschwindigkeit (kg/min)	5,7	5,9	5,3	5,4
Dichte (kg/l)	1,1	1,1	1,0	1,1
Kornfestigkeit (N)	101,3	105,0	66,7	60,3
Mittlere Korngröße d50 (mm)	4,2	3,6	3,9	4,3
Korngröße Standardabw. (mm)	0,4	0,9	0,6	0,6

Bei den Streutests kam der Zentrifugalstreuer ZA-TS der Firma Amazonen-Werke GmbH & Co KG zum Einsatz. Mittels einer Streuscheibe (TS3) wurden die beiden Mischungen in je sechs Varianten dreifach wiederholt ausgebracht. Zu den dafür am Düngerstreuer veränderten Einstellungen gehörten die Drehzahl der Streuscheibe (720 bzw. 900 U/min) und der Abwurfwinkel (20°, 30° und 40°).

Die Erfassung der ausgestreuten Düngermengen erfolgte automatisch mithilfe von Wiegezellen (50 x 50 cm), die über eine Länge von 56 m im Hallenboden eingelassen sind. Um die Nährstoffverteilung zu ermitteln, wurden aus 80 dieser Wiegezellen die Düngerproben (< 1 bis 25 g) einzeln entnommen. Diese deckten die komplette Streuweite der linken Streuscheibe ab.

Um die Nährstoffgehalte zu analysieren, wurden die Proben nach den Angaben zur Vorbereitung von Mineraldüngerproben zur Analyse des VDLUFA (2014) zunächst mit der Ultrazentrifugalmühle Retsch ZM 200 bei 12 000 U/min mittels Distanzsieb (0,5 mm) vermahlen (Methode 2.2.1). Anschließend erfolgte die Analyse auf Gesamt-N, Kalium und Schwefel in Anlehnung an die Vorgaben des VDLUFA (1995 und 2014). Dazu erfolgte die N-Messung über Elementaranalyse mittels Leco FP 628, für die 0,1 g der Probe eingewogen wurden (Gesamt-N, Methode 3.5.2.7). Zur Analyse von Kalium und Schwefel wurden 1 g Düngerprobe mit 1 ml konzentrierter Salpetersäure und 2 ml H₂O dest. aufgeschlossen, geschüttelt und filtriert. Abschließend erfolgte die Messung des verdünnten Filtrats (1:20) mittels ICP-OES (iCAP 7400 duo, Thermo Fisher Scientific) (Methode 4.2.4). Zur Qualitätssicherung wurde alle 20 Proben der VDLUFA NPK(Mg,S)-Standarddünger EU Q5/2013 analysiert.

Die Auswertung der Mengen- und Nährstoffdaten erfolgte zunächst anhand ihrer Variationskoeffizienten, die sich als gängiges statistisches Streuungsmaß aus dem Verhältnis der Standardabweichung zum Mittelwert ergeben (Köhler et al., 2002). Der Variationskoeffizient (VK) gilt dabei als Maßstab dafür, wie gut sich eine gleichmäßige Querverteilung des Düngers realisieren lässt (Deutsche Norm, 2012). Dieser wurde für eine Arbeitsbreite von 24 m für Düngermenge und Nährstoffe aller Varianten berechnet. Zudem sind Summenstreubilder zur Darstellung der räumlichen Verteilung erstellt worden.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die berechneten Variationskoeffizienten der ausgebrachten Düngermenge und Nährstoffe unterscheiden sich je nach Mischung und Variante deutlich (Tab. 2). Laut Marquering (2002) sind Werte <5,0 % als sehr gut, 5,1 bis 10,0 % als gut, 10,1 bis 15,0 % als befriedigend und über 15,0 % als nicht ausreichend zu bewerten. Bei Mischung A gelingt es somit, die Düngermenge unabhängig von der gewählten Einstellung gut zu verteilen (VK < 10,0%). Einzige Ausnahme bildet die Einstellung 720 U/min und 40 ° (VK: 12,5 %). Die gute Querverteilung der Menge spiegelt sich jedoch nicht immer in der Verteilgenauigkeit der Nährstoffe wieder. Der Stickstoff ist nur bei drei der sechs Varianten gleichmäßig gut verteilt, Kalium nur bei einer und Schwefel jedoch bei fünf. Ursache für die Ergebnisse des Schwefels ist, dass dieser aus beiden Düngerkomponenten der Mischung (Sulfan und 40er Korn-Kali) stammt. Seine Verteilgenauigkeit orien-

tiert sich somit an der Ausbringmenge. Weiter lässt sich mit Blick auf die Ergebnisse bei 720 U/min schlussfolgern, dass die optimalen Streuereinstellungen von Sulfan und 40er Korn-Kali voneinander abweichen. Das ist auf ihre unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften zurückzuführen (Tab. 1). Großen Einfluss hat dabei die mittlere Korngröße (d50), die beim Sulfan bei 4,2 mm und beim 40er Korn-Kali bei 3,6 mm lag, sowie die Verteilung der Korngrößen (Standardabweichung: Sulfan 0,4 mm; 40er Korn-Kali 0,9 mm). Laut Pockelé und Miserque (2005) soll der d50 bei 3,25 mm +/- 0,25 mm liegen, um ein Entmischen gering zu halten.

Tab. 2: Berechnete Variationskoeffizienten der Düngermischungen A und B aller sechs Varianten (Arbeitsbreite 24 m)

Mischung	Streuscheibe (U/min)	Abwurf- winkel (°)	Variationskoeffizient (%)			
			Menge	N	K	S
A	720	20	6,7	7,9	13,5	7,2
		30	8,8	6,3	16,7	9,8
		40	12,5	8,7	31,8	14,0
	900	20	7,8	11,8	8,0	7,3
		30	4,8	16,3	18,1	4,8
		40	5,8	20,3	15,4	5,0
B	720	20	9,4	9,8	9,8	13,1
		30	12,6	17,8	8,0	12,6
		40	21,3	11,2	31,9	19,8
	900	20	5,3	5,0	7,5	8,6
		30	5,4	7,3	7,4	8,3
		40	5,9	9,6	13,5	10,0

Bei Mischung B ist die Querverteilung der Düngermenge in den meisten Testvarianten gut bis befriedigend und nur in einer Variante als nicht ausreichend einzustufen (720 U/min und 40 °). Auch bei dieser Mischung weicht die Verteilgenauigkeit der Nährstoffe von denen der Menge ab. Jedoch fällt auf, dass sich die Variationskoeffizienten beim Stickstoff nicht mehr so stark von denen

des Kaliums unterscheiden (Ausnahmen: 720 U/min und 30 ° bzw. 40 °). Das liegt daran, dass der Stickstoff in dieser Mischung aus den Düngerkomponenten KAS und ssA stammt. Deren d50 und Korngrößenverteilung sind dem des 40er Korn-Kali ähnlicher als dem des Sulfan (Tab. 1). Auf die Verteilung des Schwefels (ssA und 40er Korn-Kali) wirkt sich die Mischung aus den drei Komponenten negativ aus. Nur bei zwei der sechs Varianten ist sie als gut einzustufen.

Der Variationskoeffizient ist als alleiniges Merkmal für die Bewertung der Verteilungsgenauigkeit von Mischungen allerdings nicht ausreichend, da sich ein und derselbe VK aus völlig unterschiedlichen Streubildern ergeben kann. Zudem wirkt sich beispielsweise eine größere Wurfweite durch eine erhöhte Drehzahl der Streuscheibe oft positiv auf den VK aus, da es zu mehrfachem Überlappen beim Streuen kommt. Das zeigen auch die Streuversuche (Tab. 2). Nach guter fachlicher Praxis und um Grenzstreuen zu ermöglichen, ist ein zu weites Werfen des Düngers deutlich über die nächste Fahrgasse hinaus zu vermeiden. So lässt das Summenstreubild (Abb. 2) der Mischung A bei 24 m Arbeitsbreite (720 U/min und 20 °) erkennen, dass die linke Streuscheibe zu weit nach rechts und damit einhergehend die rechte Streuscheibe zu weit nach links streut. Das gilt auch für Mischung B unter den gleichen Bedingungen (Abb. 3).

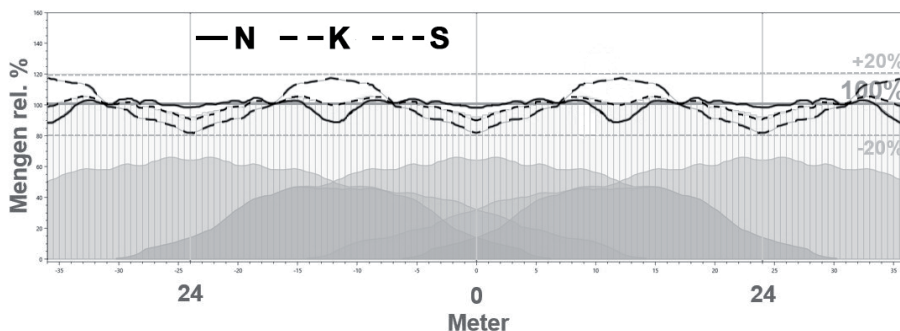


Abb.2: Summenstreubilder der Mischung A für die Düngermenge und die Nährstoffe Stickstoff (N), Kalium (K) und Schwefel (S) bei einer Arbeitsbreite von 24 m (720 U/min und 20 °)

Damit sind bei dieser Einstellung die Vorgaben zum Grenzstreuen – trotz gutem Düngermengen-VK (6,7 %) – nicht einzuhalten. Zudem zeigt sich, dass die Streubilder von Stickstoff und Kalium gegensätzlich verlaufen. An den Stellen,

an denen zu viel Kalium ausgebracht wird, kommt es zu einer N-Unterversorgung (Abb.2). Dabei liegt die ausgebrachte K-Menge bis fast 20 % über oder unter der gewünschten Menge. Vor allem in Fahrgassennähe landet zu wenig Kalium, was daran liegt, dass 40er Korn-Kali bei dieser Einstellung die Streuscheibe später verlässt als Sulfan.

Bei der Mischung B schwanken die Düngermengen vor allem beim Schwefel um bis zu +/- 15 %, sodass die gewählte Einstellung für ssA und 40er Korn-Kali nicht optimal ist (Abb. 3). Die Summenstreubilder zeigen zudem, dass es kaum Bereiche gibt, in denen alle drei Nährstoffe optimal verteilt sind.

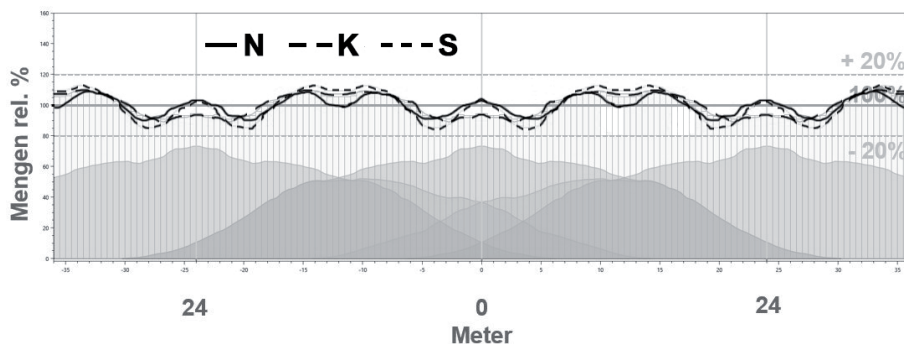


Abb. 3: Summenstreubilder der Mischung B für die Düngermenge und die Nährstoffe Stickstoff (N), Kalium (K) und Schwefel (S) bei einer Arbeitsbreite von 24 m (720 U/min und 20 °)

4 Zusammenfassung

Düngereinzelkomponenten unterscheiden sich in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften, was ihre Streueigenschaften beeinflusst. Bei Mischungen (Bulk Blends) ist daher eine gute Querverteilung der Düngermenge ($VK < 10\%$) nicht gleichbedeutend mit einer optimalen Nährstoffverteilung. Je nach Mischung und Arbeitsbreite lässt sich der Zentrifugalstreuer jedoch so einstellen, dass die Querverteilung aller Nährstoffe der europäischen Norm ($VK < 15\%$) entspricht. Die Streueinstellung für Mischdünger wird dennoch immer ein Kompromiss sein, der in vielen Fällen zu höheren Variationskoeffizienten führt als beim Einzelstreuen der Düngerkomponenten. Bei langjährigem Einsatz

einer Mischung und unveränderter Streuereinstellung ist mit einer Akkumulation oder Abreicherung der Nährstoffe in bestimmten Bereichen der Ackerfläche zu rechnen.

Für die Praxis ist daher künftig wichtig, Einzeldünger für Mischungen gezielt auszuwählen und Streuereinstellungen auch für diese zu erstellen. Landwirte benötigen zudem ein einfaches Hilfsmittel, um direkt beim Streuen die Querverteilung der Einzelkomponenten in der Mischung überprüfen zu können. Daran wird im Zuge des Projektes „OptiBlend“ weiterführend gearbeitet. Eine Smartphone-App soll dabei Mischdüngerhersteller und Landwirte in die Lage versetzen, geeignete Mischungspartner auszuwählen und eine Empfehlung zur Düngereinstellung für die spätere Mischung zu erhalten. Grundlage dieser App ist die optische Erkennung der Einzeldünger anhand von Smartphone-Fotos. Abschließend soll die Evaluierung der Querverteilung auf dem Feld ebenfalls über die App erfolgen.

5 Literaturangaben

- Bundesverband der Düngermischer e. V., 2018: Mischanlagen in Deutschland. Online verfügbar: (www.bv-duengermischer.de/der-verband/mischanlagendeutschland).
- Deutsche Norm, 2012: DIN EN 13739-1: 2012-05. Landmaschinen – Ausleger- und Wurf-Mineraldüngerstreuer – Umweltschutz – Teil 1: Anforderungen. Beuth Verlag, Berlin.
- Köhler, W., Schachtel, G., Voleske, P., 2002: Biostatistik. Springer, Berlin.
- Marquering, J., 2002: Die Auswirkungen unterschiedlicher Stoffeigenschaften bei der Ausbringung von Mischdüngern mit Zentrifugaldüngerstreuern. Dissertation Universität Hohenheim.
- Pockelé, S., Miserque, O., 2005: Introduction to guidelines for the production and handling of blended fertilizers. ifs proceedings 558, York (UK).
- Statistisches Bundesamt (Destatis), 2017: Düngemittelversorgung Wirtschaftsjahr 2016/17. Online verfügbar: (www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Fachstatistik/DuengemittelversorgungJ.html).
- VDLUFA, 1995: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik, Bd. II.1. Die Untersuchung von Düngemitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

VDLUFA, 2014: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik, Bd. II.1. Düngemitteluntersuchung. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

6 Danksagung

Unser Dank gilt den studentischen Hilfskräften der Hochschule Osnabrück und den Mitarbeitern der Strehalle Horsens für ihren tatkräftigen Einsatz bei der Durchführung der Streutests.

Wirkung eines Nitrifikationshemmstoffs auf N₂O- und CH₄-Emissionen bei bandförmiger Applikation von Gülle und Gärrest in einem Bodensäulenversuch

M. ten Huf, H. Pralle, H.-W. Olf
Hochschule Osnabrück, Osnabrück

1 Einleitung

Die Region Nordwestdeutschland ist ein Hotspot der Tierhaltung und Biogaserzeugung. Mais dient in dieser Region als Substrat für die Biogaserzeugung und als Futter für Nutztiere. Obwohl der Stickstoff- (N) und Phosphor- (P) Bedarf von Mais (*Zea mays L.*) durch organische Düngung weitestgehend gedeckt werden kann, wurde bisher zumeist eine mineralische Unterfußdüngung durchgeführt, um eine adäquate Jugendentwicklung zu gewährleisten. Um den Austrag der Nährstoffe N und P in angrenzende Ökosysteme zu reduzieren, ist es jedoch notwendig die Nährstoffnutzungseffizienz im Maisanbau zu steigern (Westerschulte, 2017). Neuere Systeme zur Applikation von Gülle oder Gärrest wie die Injektion können einen wertvollen Beitrag hierzu leisten, indem der Mineraldünger durch bandförmig unterhalb der Maisreihe applizierte Gülle ersetzt wird (Westerschulte et al., 2017).

Es ist jedoch zu beachten, dass diese Form der Applikation mit erhöhten Treibhausgasemissionen verbunden ist. Insbesondere Lachgas (N₂O) ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung (Ruser und Schulz, 2015). N₂O besitzt ein relatives Treibhauspotenzial von ca. 300 und schädigt zudem die Ozonschicht (IPCC, 2013). Sowohl nitrifizierende als auch denitrifizierende Mikroorganismen sind für die Bildung von N₂O verantwortlich. Nitrifikationsinhibitoren (NI) wie 3,4-Dimethylpyrazolphosphat (DMPP) verzögern die mikrobielle Umsetzung von Ammonium, wodurch die Bildung von Nitrit und Nitrat verringert wird. Nitrit ist Vorstufe der N₂O-Bildung im Zuge der Nitrifikanten-Denitrifikation und Nitrat ist Ausgangsstoff der Denitrifikation, in deren Verlauf ebenfalls N₂O gebildet wird. Ergebnisse einer Meta-Studie zeigten, dass die Applikation von DMPP N₂O Emissionen im Durchschnitt um 35 % reduziert (Ruser und Schulz, 2015).

Der Gärprozess führt zur Bildung von Biogas, wodurch der Gehalt an organi-

schem Kohlenstoff im Ausgangsmaterial reduziert wird (Möller und Müller, 2012). Denitrifizierende Mikroorganismen benötigen jedoch leicht verfügbare Kohlenstoffverbindungen als Energiequelle und zum Aufbau ihrer Körpersubstanz (Subbarao et al., 2006). Zudem wird durch die Oxidation dieser Verbindungen, der Sauerstoffgehalt im Boden gesenkt, wodurch N_2O Emissionen ebenfalls potenziell gefördert werden (Ruser und Schulz, 2015). Dies führte zu den beiden Hypothesen, dass die Injektion von Gärrest im Vergleich zur Injektion von Gülle zu geringeren N_2O Emissionen führt und dass der Einsatz eines Nitrifikationsinhibitors N_2O Emissionen reduziert.

2 Material und Methoden

Zur Evaluierung der Wirkung des NI DMPP auf die Emissionen der Treibhausgase N_2O und Methan (CH_4) bei bandförmiger Applikation von Gülle und Gärrest, wurde ein zwei-faktorieller Bodensäulenversuch mit vier Wiederholungen durchgeführt. Für den Versuch wurden handelsübliche KG-Rohre (30 cm Höhe und 20 cm Durchmesser) als Inkubationsgefäße für die Bodensäulen eingesetzt. Das untere Ende der Röhre wurde mittels einer Verschlusskappe, in die vier 10 mm Löcher gebohrt wurden, abgedichtet. Ein Plastikgitter verhinderte den Austritt von Boden. Zunächst wurde eine 19 cm hohe Bodenschicht eingefüllt. Je nach Variante (Tab. 1) wurden 160 g Gülle, respektive Gärrest, mit bzw. ohne Zugabe des NI ENTEC® FL (Wirkstoff DMPP), in eine mittig angelegte Mulde appliziert. Hiernach wurden die Bodensäulen auf 29 cm Höhe mit Boden befüllt. Die Lagerungsdichte des Bodens betrug $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ und der Wassergehalt wurde auf 65 % der maximalen Wasserhaltekapazität eingestellt. Die durchschnittliche Bodentemperatur während der Inkubationsperiode betrug $13,8 \text{ °C}$.

Für den Versuch wurde Boden (Tab. 2) aus den obersten 30 cm des AP-Horizontes eines Ackerschlagens entnommen und vor der Verwendung homogenisiert. Ausgangsmaterial für den Inkubationsversuch war Gülle (Tab. 3) von einem Milchviehbetrieb. Der Gärrest (Tab. 3) wurde erzeugt, in dem diese Gülle über einen Zeitraum von 15 Tagen unter anaeroben Bedingungen bei 37 °C inkubiert wurde.

Zur Bestimmung der DOC Konzentration wurden die Gülle und der Gärrest 1:2 mit Aqua dest. verdünnt. Anschließend wurde das Gemisch homogenisiert und 20 Minuten zentrifugiert (5000 g). Im Anschluss an die Zentrifugation wurde die

flüssige Phase filtriert (0,45 μm ; Whatman PolydiscTM In-Line Filter; Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) und mit Aqua dest. 1:100 verdünnt. Anorganische Kohlenstoffverbindungen wurden durch Zugabe von 32-prozentiger (m/m) Salzsäure (25 μl HCl auf 10 ml) entfernt. Die DOC-Konzentration wurde ermittelt in dem die in der Lösung enthaltenen organischen C-Verbindungen bei 850 °C zu CO₂ umgesetzt wurden, welches durch nichtdispersive Infrarotsensor Detektion erfasst wurde (Dimatoc 100; Dimatec Analysetechnik GmbH, Essen, Deutschland).

Tab. 1: Charakterisierung der Versuchsvarianten

Variante	Düngung	NI	Dosierung
Gülle	160g Gülle	-	-
Gülle + NI	160g Gülle	ENTEC [®] FL	0,4 ml kg ⁻¹ Gülle
Gärrest	160g Gärrest	-	-
Gärrest + NI	160g Gärrest	ENTEC [®] FL	0,4 ml kg ⁻¹ Gärrest

Tab. 2: Charakterisierung des Versuchsbodens

Bodentyp	Bodenart	max. WHK (%)	C _{org.} (%)	pH-Wert	NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)	N _t (%)
Podsol	SI4D	31,3	1,5	5,0	16,7	0,6	0,09

SI4D = diluvialer lehmiger Sand in Zustandsstufe 4; max. WHK = maximale Wasserhaltekapazität; C_{org.} = organischer Kohlenstoff; N_t = N gesamt

Tab. 3: Charakterisierung der Gülle und des Gärrestes

	TS (%)	N _t (%)	NH ₄ ⁺ -N (%)	pH	C _{org.} (g kg ⁻¹)	DOC (g kg ⁻¹)
Gülle	8,1	0,37	0,17	7,4	33,4	4,4
Gärrest	6,6	0,36	0,17	8,0	27,8	5,2

TS = Trockensubstanz; N_t = gesamt Stickstoff; C_{org.} = organischer Kohlenstoff; DOC = dissolved organic carbon (engl. gelöster organischer Kohlenstoff)

Gasmessungen erfolgten zweimal wöchentlich über einen Zeitraum von 47 Tagen. Zur Probenahme wurden die Bodensäulen mittels gasdichter Hau-

ben (15 cm Höhe und 20 cm Durchmesser) verschlossen. Ein im Innenraum der Hauben befindlicher Ventilator gewährleistete die gleichmäßige Verteilung der Gase N_2O und CH_4 . Probenahme (0, 20 und 40 Minuten nach Aufsetzen der Haube) und gaschromatische Analysen erfolgten analog zu Olf et al. (2018). Die Gasflüsse wurden durch lineare Regression der Konzentrationen 0, 20 und 40 Minuten nach Aufsetzen der Haube berechnet.

Am Ende des Versuchs wurden die Böden in den Säulen auf ihre NH_4^+ - und NO_3^- -N Gehalte untersucht. Durch Addition des NH_4^+ - und NO_3^- -N-Gehaltes wurde der N_{min} -Gehalt bestimmt. Mitte (Bereich der Gülleapplikation) und Außenbereich der Säulen wurden getrennt beprobt. Zur Beprobung des Außenbereichs wurden kreisförmig angeordnet mittels Bohrstock sechs Bodenproben (0-29 cm Tiefe) gezogen. Diese wurden anschließend zu einer Mischprobe vermengt. Aus dem Zentralbereich der Säulen wurden jeweils drei Proben (0-29 cm) entnommen, die ebenfalls zu Mischproben vermengt wurden.

Die N_2O - und CH_4 -Flüsse wurden durch lineare Interpolation der Gas-Flüsse der einzelnen Messtermine kumuliert. Sowohl die Ergebnisse der N_{min} -Analysen als auch die kumulierten N_2O - und CH_4 -Emissionen wurden mittels zweifaktorieller Varianzanalyse mit anschließendem multiplen Mittelwertvergleich (Bonferroni-Korrektur; $\alpha = 0,05$) ausgewertet. Varianzhomogenität wurde durch Anwendung des Levene-Testes ($\alpha = 0,05$) überprüft und die Prüfung auf systematische Abweichung der Residuen erfolgte mittels Histogramm, QQ-Plot und Spread-Level-Plot. Die NH_4^+ -N-Konzentrationen wurden mittels dekadischem Logarithmus transformiert um die Varianzhomogenität zu gewährleisten. Varianzhomogenität der N_{min} -Konzentration konnte durch keine Transformation erreicht werden, was die Aussagekraft der Varianzanalyse hinsichtlich der N_{min} -Konzentration reduziert.

3 Ergebnisse und Diskussion

Positive CH_4 -Flüsse traten nur in den ersten 8 Tagen nach Versuchsanlage auf. Anschließend wiesen alle Varianten keine oder leicht negative Emissionen auf. Bezogen auf die kumulierten Emissionen emittierten die Gärrest-Varianten durchschnittlich 8 mg CH_4 -C weniger als die Gülle-Varianten, wohingegen der Faktor NI keinen signifikanten Einfluss ausübte. Eine mögliche Erklärung für die geringeren Emissionen in den Gärrest Varianten ist, dass bereits während der

anaeroben Inkubation CH_4 gebildet wurde, so dass anschließend weniger CH_4 im Boden emittiert wurde. Aufgrund der im Verhältnis zu N_2O geringeren Klimarelevanz (IPCC, 2013), sind die insgesamt geringen Emissionen jedoch unbedeutend.

In den ersten 8 Tagen nach Versuchsanlage waren die N_2O -Flüsse aller Varianten vergleichbar (Abb. 1; ca. $150\text{-}300 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Aufgrund des hohen Wassergehaltes von Gülle bzw. Gärrest herrschten vermutlich vollständig anaerobe Bedingungen innerhalb der Injektionszonen, wodurch die Nitrifikation von NH_4^+ in allen Varianten gehemmt wurde (Subbarao et al., 2006). Die N_2O Emissionen in dieser Periode wurden daher durch die Denitrifikation des bodenbürtigen NO_3^- hervorgerufen. Der Zusatz eines NI besitzt keinen Effekt auf diese Form der N_2O Emissionen (Ruser und Schulz, 2015). Die anaeroben Bedingungen in der Injektionszone verschoben zudem vermutlich die Relation von N_2 zu N_2O zugunsten des N_2 (Bouwman, 1998), wodurch die relativ geringen N_2O Emissionen in diesem Versuchsabschnitt zu erklären sind.

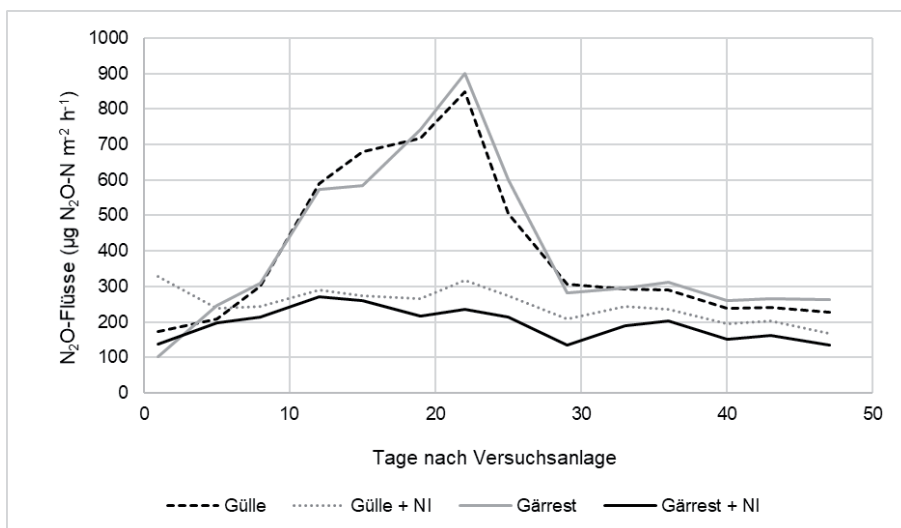


Abb. 1: N_2O -Flüsse im Verlauf des Inkubationsexperimentes

In der Periode 12 bis 22 Tage nach Versuchsanlage stiegen die Emissionen in den Varianten ohne NI dann auf bis zu $900 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ an, wohingegen kein Anstieg in den Varianten mit Zugabe des NI verzeichnet wurde. Dies deutet an,

dass die Verfügbarkeit von O_2 anstieg, wodurch Nitrifikation ermöglicht wurde (Subbarao et al., 2006). Aufgrund der hohen Konzentration an leicht verfügbaren Kohlenstoffverbindungen (Tab. 3) traten jedoch mutmaßlich anaerobe Mikrohabitate auf, die die Bildung von N_2O förderten (Ruser und Schulz, 2015). DMPP hemmte die direkt oder indirekt durch Nitrifikation verursachten Emissionen.

Im Zeitraum 22 bis 29 Tage nach Versuchsanlage sanken die N_2O Emissionen der Varianten ohne NI stark ab und verblieben im letzten Abschnitt des Versuches (33 bis 47 Tage nach Versuchsanlage) auf diesem niedrigen Niveau. In Laborexperimenten treten hohe N_2O Emissionen üblicherweise nur in den ersten Wochen nach Versuchsanlage auf, da in der Regel stabile Bedingungen bezüglich Temperatur und Bodenfeuchte in späteren Abschnitten dieser Experimente die Freisetzung von N_2O hemmen (Ruser und Schulz, 2015).

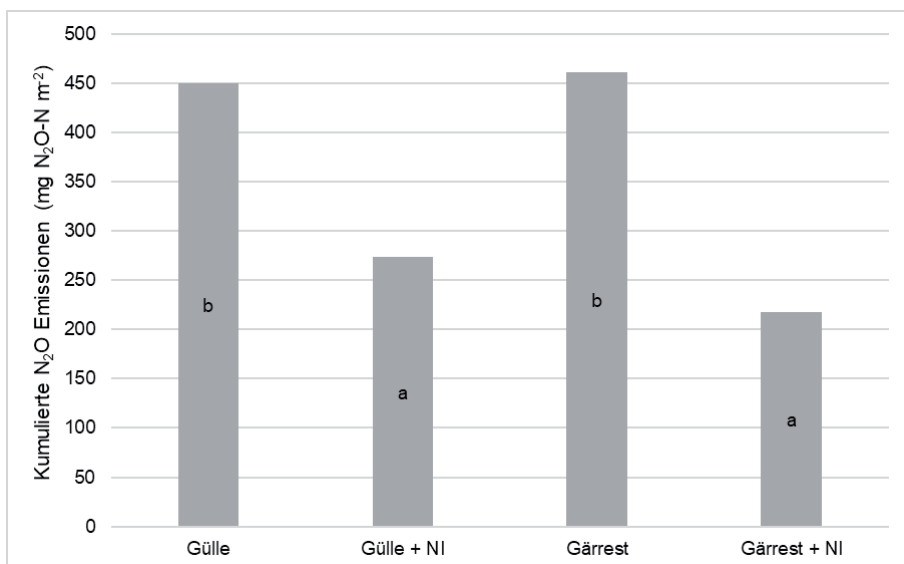


Abb.2: Kumulierte N_2O -Emissionen. Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede zwischen den kumulierten N_2O -N Emissionen der vier Varianten

Insgesamt konnte DMPP die Bildung von N_2O signifikant reduzieren, wohingegen kein Unterschied zwischen Gülle- und Gärrest-Varianten bestand (Abb. 2).

Dies deutet darauf hin, dass die Umweltbedingungen (Bodeneigenschaften, Temperatur, Zusammensetzung der Nitrifikanten-Population) die Wirkung von DMPP hinsichtlich der Reduzierung von N_2O nicht negativ beeinflussten. Durch die anaerobe Inkubation wurde die C_{org} -Konzentration der Ausgangsgülle reduziert, die DOC-Konzentration stieg hingegen leicht an (Tab. 3). Insbesondere leicht verfügbare Kohlenstoffverbindungen fördern die Bildung von N_2O (Ruser und Schulz, 2015), was die vergleichbaren Emissionen der Gülle- und Gärrest-Varianten erklärt, da die DOC-Konzentration als Indikator für leicht verfügbare Kohlenstoffverbindungen besser geeignet ist als die C_{org} -Konzentration.

Im Außenbereich unterschieden sich die behandelten Varianten weder in ihren Ammonium-, noch in ihren Nitrat-N-Gehalten. Die NH_4^+ -N-Konzentrationen betragen in allen Varianten ca. 1 mg kg^{-1} trockenen Boden und die NO_3^- -N-Gehalte aller Varianten wiesen Werte in Höhe von ca. 35 mg kg^{-1} trockenen Boden auf.

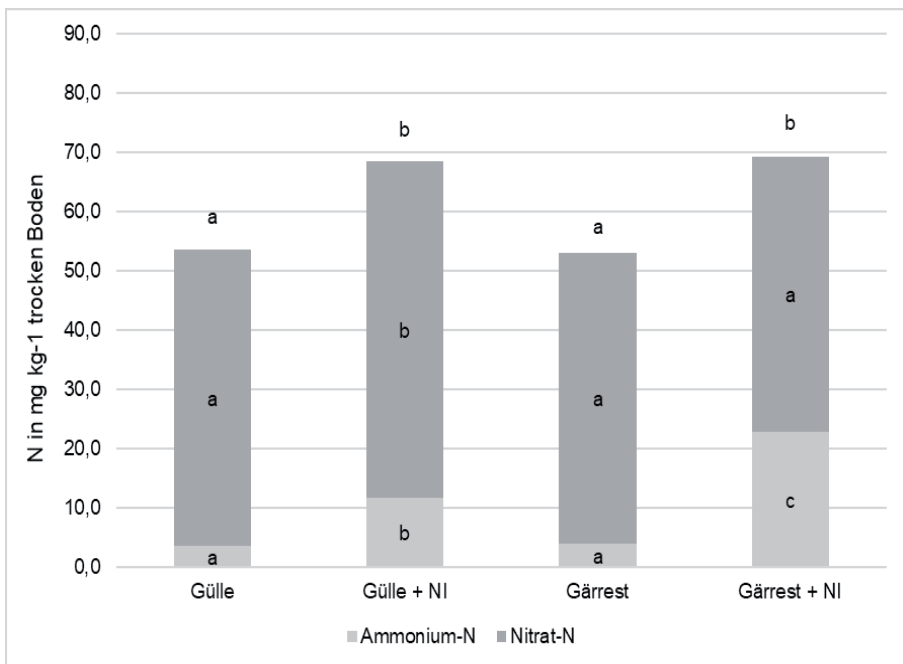


Abb. 3: N_{min} -Konzentrationen im Innenbereich. Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede zwischen den N_{min} - (oben), Nitrat-N (mittig) und Ammonium-N (unten) Konzentrationen der vier Varianten

Im Innenbereich (Abb. 3) wiesen die Varianten ohne Zugabe des NI vergleichbare NH_4^+ - und NO_3^- -N-Gehalte auf (ca. $3,5 \text{ mg kg}^{-1}$ Ammonium-N und 50 mg kg^{-1} Nitrat-N). Durch den Einsatz des NI wurde der NH_4^+ -N-Anteil, insbesondere in Variante Gärrest + NI, stabilisiert (12 bzw. 23 mg kg^{-1} trocken Boden in Variante Gülle bzw. Gärrest), wodurch die Gesamt- N_{min} -Konzentration in diesen Varianten die Konzentration der Varianten ohne NI signifikant überstieg. NI wie DMPP werden an die organische Substanz des Bodens gebunden (Subbarao et al., 2006), was eine mögliche Erklärung für die verbesserte Wirkung des NI in der Gärrest-Variante ist. Durch die anaerobe Inkubation wurde der C_{org} -Gehalt des Gärrestes im Vergleich zur Ausgangsgülle reduziert (Tab. 3). Interessanterweise unterschieden sich trotz dieses Effektes die N_2O Emissionen der Varianten Gülle + NI und Gärrest + NI nicht.

4 Fazit

Die N_2O -Emissionen konnten signifikant durch DMPP reduziert werden, wobei Gülle und Gärrest sich nicht unterschieden. Der Einsatz von DMPP erscheint daher vielversprechend, um die durch bandförmige Applikation von Gülle und Gärrest verursachten Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren.

Zu beachten ist, dass sich die Gärresterzeugung in diesem Versuch von den Bedingungen in der Praxis unterschied. Insbesondere die Dauer der anaeroben Inkubation ist in der Praxis deutlich länger. Generelle Rückschlüsse auf den Einfluss der bandförmigen Applikation von Gärrest auf das Auftreten von N_2O Emissionen sind daher auf Grundlage dieses Versuchs nur bedingt möglich.

5 Literaturangaben

- Bouwman, A.F., 1998: Nitrogen oxides and tropical agriculture. *Nature* 392, 866-867.
- IPCC, 2013: Climate change 2013 – the physical science basis. Stockholm: OECD/OCDE.
- Möller, K., Müller, T., 2012: Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Eng. Life Sci.* 12, 242-257.

- Olf, H.-W., Westerschulte, M., Ruoss, N., Federolf, C.-P., Zurheide, T., Vergara Hernandez, M.E., Neddermann, N., Trautz, D., Pralle, H., Fuß, R., Well, R., 2018: A new chamber design for measuring nitrous oxide emissions in maize crops. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 181, 69-77.
- Ruser, R., Schulz, R., 2015: The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils – a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 178, 171-188.
- Subbarao, G.V., Ito, O., Sahrawat, K.L., Berry, W.L., Nakahara, K., Ishikawa, T., Watanabe, T., Suenaga, K., Rondon, M., Rao, I.M., 2006: Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems – challenges and opportunities. *Crit. Rev. Plant Sci.* 25, 303-335.
- Westerschulte, M., 2017: Slurry injection to optimize nutrient use efficiency in maize: Soil nitrogen dynamics and plant nutrient status. Dissertation, Universität Osnabrück.
- Westerschulte, M., Federolf, C.-P., Trautz, D., Broll, G., Olf, H.-W., 2017: Nitrogen dynamics following slurry injection in maize: Soil mineral nitrogen. *Nutrient Cycl. Agroecosyst.* 107, 1-17.

Lachgasemissionen auf einem Schwarzerdestandort bei Harnstoffdüngung

N. Tauchnitz¹, F. Eißner², J. Bischoff¹, O. Christen², T. Kreuter³

¹Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg,

²Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, Halle (S.), ³Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Cunnersdorf

1 Einleitung und Zielstellung

Die Steigerung der Stickstoff(N)-Effizienz bei der Düngung hat nach wie vor im Zuge der Umsetzung umwelt- und klimapolitischer Ziele einen großen Stellenwert. Im von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geförderten Projekt: N-**Stabilisierung** und wurzelnahe **Platzierung** als innovative Technologien zur Optimierung der **Ressourceneffizienz** bei der Harnstoffdüngung (Sta-PlaRes) soll eine Erhöhung der N-Effizienz durch N-Stabilisierung (Einsatz von Urease- und Nitrifikationsinhibitoren) und wurzelnahe Platzierung des Düngers (Side-dressing-Verfahren) erreicht werden. In Fruchtfolgeversuchen (Winter-raps-Winterweizen-Wintergerste) werden diese Verfahren an drei Versuchsstandorten (Bernburg, Cunnersdorf, Roggenstein) auf ihr N-Verlustminderungspotential geprüft. Im Projektverbund sind folgende Kooperationspartner vertreten: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Technische Universität München, Rauch Landmaschinenfabrik GmbH, Johann Heinrich von Thünen Institut (TI), Zentrum für Agrarlandschaftsforschung Müncheberg, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

Im vorliegenden Beitrag werden bisherige Ergebnisse für den Versuchsstandort Bernburg vorgestellt. Dabei wird auf folgende Arbeitsschwerpunkte fokussiert:

- i. Ermittlung der kumulierten Lachgas(N₂O)-N-Verluste und Vergleich der geprüften Varianten
- ii. Erfassung relevanter Parameter zur Interpretation der N₂O-Flüsse: Nmin-Gehalte (Ammonium+Nitrat) im Boden, Bodenwassergehalte, Bodentemperaturen und N-Entzüge
- iii. Ermittlung der Haupteinflussfaktoren auf die N₂O-Emissionen.

2 Material und Methoden

Der Versuchsstandort Bernburg befindet sich in Mitteleuropa in der Lößregion Sachsen-Anhalts. Die klimatischen Verhältnisse sind durch niedrige Niederschläge von langjährig (1981-2010) 511 mm und Jahresdurchschnittstemperaturen von 9,7 °C charakterisiert. Der Boden ist ein Norms Chernosem mit der Bodenart stark toniger Schluff (Ut4). Charakteristisch sind relativ niedrige organische Kohlenstoffgehalte, hohe pH-Werte und eine hohe Kationenaustauschkapazität (Tab. 1).

Tab. 1: Bodeneigenschaften am Standort Bernburg

Parameter	Einheit	Mittelwert (\pm SD) n=20
Organischer Kohlenstoff	(%)	1,24 (\pm 0,05)
Gesamt-Kohlenstoff	(%)	1,38 (\pm 0,07)
Gesamt-Stickstoff	(%)	0,12 (\pm 0,01)
pH		7,37 (\pm 0,11)
KAK_{pot}	(cmol ⁺ /kg)	18,88 (\pm 0,4)
Phosphor	(mg/100 g)	7,77 (\pm 0,9)
Kalium	(mg/100 g)	16,24 (\pm 2,0)
Magnesium	(mg/100 g)	8,44 (\pm 1,2)

SD: Standardabweichung, KAK_{pot}: potentielle Kationenaustauschkapazität

Die Versuchsanlage ist ein Lateinisches Quadrat mit einer Parzellengröße von 9 x 9 m und folgenden Prüfgliedern: 1. Kontrolle ohne Harnstoffdüngung, 2. oberflächige Harnstoffausbringung, 3. Harnstoff-Injektion, 4. Harnstoff-N-Stabilisierung.

Gedüngt wurden im Versuchsjahr 2016/2017 130 kg/ha zu Winterraps und 200 kg/ha zu Winterweizen in 3 Gaben (oberflächig, Injektion) bzw. 2 Gaben (stabilisiert) im Versuchsjahr 2017/2018. Bei der stabilisierten Harnstoffdüngung wurde dem Dünger ein Urease- und Nitrifikationsinhibitor zugesetzt. Die Ausbringung des Düngers (granulierter Harnstoff) erfolgte bei der Injektionsvariante durch Zwischenreihendüngung (Side-Dressing-Verfahren) platziert

in 5 bis 7 cm Tiefe, beim Winterraps zwischen jeder Reihe (Einzelkornsaat, Reihenabstand 37,5 cm) und beim Wintergetreide zwischen jeder zweiten Reihe (Drillsaat, Reihenabstand 12,5 cm). Die N₂O-Emissionen wurden mit Hilfe geschlossener Sammelhauben (0,56 m²) einmal wöchentlich bzw. nach der Düngung zweimal wöchentlich bestimmt. Die Gasproben wurden nach 0, 20, 40 und 60 Minuten Verschlusszeit entnommen und gaschromatographisch auf die N₂O-, CO₂- und CH₄-Konzentrationen im Labor des TI (Braunschweig) analysiert. Parallel zu den N₂O-Messungen wurden die Bodentemperaturen in 1, 5 und 10 cm Tiefe, die Bodenwassergehalte gravimetrisch bei 105 °C und die N_{min}-Gehalte des Bodens nach VDLUFA (2002) bis in 30 cm Tiefe ermittelt. Das wassergefüllte Porenvolumen (WFPS) wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\text{WFPS (\%)} = W \cdot \rho_d / 1 (\rho_d / \rho_s) \quad (\text{Gl. 1})$$

W: Wassergehalt (Vol. %), ρ_d : Trockenrohdichte (g/cm³), ρ_s : Partikeldichte 2,65 (g/cm³)

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Niederschlag und wassergefülltes Porenvolumen

Beide Versuchsjahre waren mit 493 mm (2016/2017) und 402 mm (2017/2018) im Vergleich zum langjährigen Mittel sehr niederschlagsarm. Das WFPS lag im Bereich von 29,5 bis 77,9 %. Die höchste Bodenwassersättigung wurde in den Monaten Februar bis Anfang April 2018 erfasst. Die für eine relevante N₂O-Bildung über die Prozesse der Nitrifikation und Denitrifikation erforderlichen Bodenfeuchtebedingungen (WFPS > 50 %) nach Davidson (1991) waren überwiegend in den Wintermonaten messbar.

3.2 N_{min}-Gehalte, N-Entzüge und N-Salden

Die höchsten N_{min}-Gehalte von maximal 17,8 mg/100 g wurden bei der Injektionsvariante nach der Düngung in der Reihe erfasst (Abb. 1). Im Versuchsjahr 2016/2017 waren insbesondere bei der Injektions- und stabilisierten Variante über einen längeren Zeitraum relativ stabile N_{min}-Depots nachweisbar. Im zweiten Versuchsjahr wurden dagegen nur kurzzeitig N_{min}-Peaks, vor allem bei der Injektionsvariante, bestimmt.

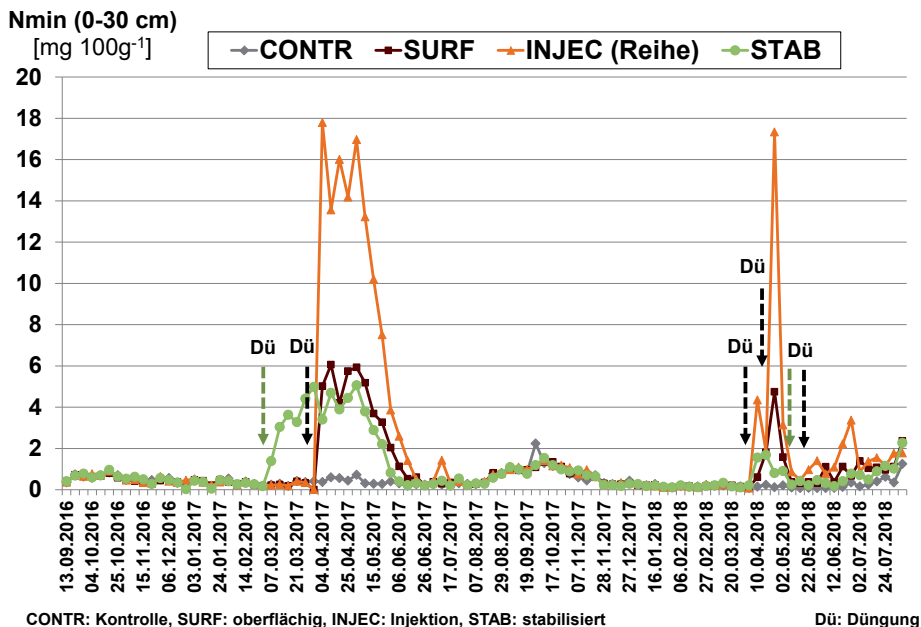


Abb. 1: Nmin-Verlauf im Versuchszeitraum

Aufgrund der geringen Niederschläge und der damit verbundenen schlechten Entwicklung der Bestände waren die Erträge in beiden Versuchsjahren sehr gering (Tab. 2). Im ersten Versuchsjahr zeigte die stabilisierte Variante die signifikant höchsten Erträge. Im zweiten Versuchsjahr waren die Ertragsunterschiede der gedüngten Varianten nur zur Kontrolle signifikant. Die mit den niedrigen Erträgen verbundenen geringen N-Entzüge hatten in beiden Jahren ausgesprochen hohe N-Salden zur Folge (Tab. 2), so dass ein hohes N-Verlustpotential gegeben war. Im zweiten Versuchsjahr waren die geringen N-Entzüge auch an den relativ hohen Rest-Nmin-Gehalten von maximal 71 kg N/ha (Injektionsvariante) erkennbar (Tab. 2).

Tab. 2: Erträge, Rest-Nmin und N-Salden der Variante

Jahr			Varianten			
			Kontrolle	oberflächlich	Injektion	stabilisiert
2017	Kultur			Winterraps		
	Ertrag ¹	[dt ha ⁻¹]	6,6 ^a	12,8 ^b	12,0 ^b	18,7 ^c
	N-Entzug ¹	[kg ha ⁻¹]	19,7 ^a	42,7 ^b	40,3 ^b	60,5 ^c
	N-Zufuhr	[kg ha ⁻¹]	0	130	130	130
	Rest-Nmin	[kg ha ⁻¹ (0-90 cm)]	16 ^a	15 ^a	19 ^a	18 ^a
	N-Saldo	[kg ha ⁻¹]	<u>-19,7</u>	<u>87,6</u>	<u>89,7</u>	<u>69,5</u>
2018	Kultur			Winterweizen		
	Ertrag ¹	[dt ha ⁻¹]	25,1 ^a	51,0 ^b	47,4 ^b	49,2 ^b
	N-Entzug ¹	[kg ha ⁻¹]	28,1 ^a	94,6 ^b	87,2 ^b	89,4 ^b
	N-Zufuhr	[kg ha ⁻¹]	0	200	200	200
	Rest-Nmin	[kg ha ⁻¹ (0-90 cm)]	15 ^a	65 ^b	71 ^b	63 ^b
	N-Saldo	[kg ha ⁻¹]	<u>-28,1</u>	<u>105,4</u>	<u>112,8</u>	<u>110,6</u>

¹Korn, ANOVA, Tukey, p<0,05

3.3 N₂O-Emissionen

Die N₂O-Emissionen zeigten in beiden Versuchsjahren eine Schwankungsbreite von -27 bis 68 $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Abb. 2). An einigen Terminen wurden negative N₂O-Flüsse erfasst. Eine mögliche N₂O-Aufnahme von Böden bedingt durch verschiedene biotische (z. B. assimilatorische N₂O Fixierung über Nitrogenase) und abiotische Prozesse (z. B. Chemodenitrifikation) wird auch in der Literatur beschrieben (Van Groeningen et al., 2015). Bei allen Versuchsvarianten war nach der Bodenbearbeitung im ersten Versuchsjahr ein N₂O-Peak feststellbar. Der Einfluss der Düngung war bei der Injektionsvariante im Frühjahr 2018 anhand eines N₂O-Peaks sichtbar. Es kann vermutet werden, dass bei der Injektionsvariante aufgrund der über längere Zeit stabilen NH₄-Depots in Kombination mit der tieferen Ablage des Düngers die N₂O-Bildung begünstigt wird. Ein ähnlicher Effekt wurde bei der Gülle-Depot-Düngung beobachtet (Zurheide et al., 2016).

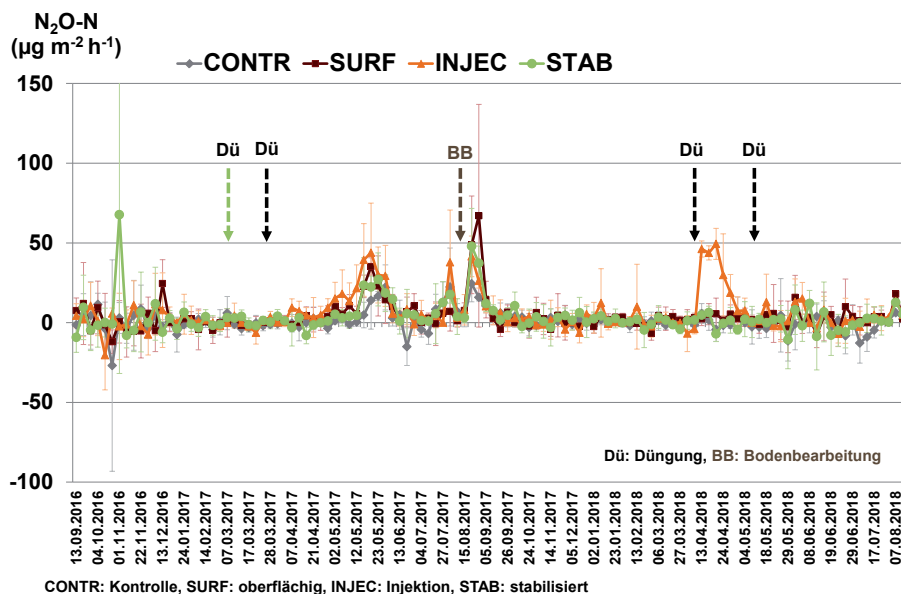


Abb.2: N₂O-Verlaufim Versuchszeitraum

Die für den bisherigen Untersuchungszeitraum (700 Tage) kumulierten N₂O-Emissionen waren mit maximal 0,91 kg/ha auf einem sehr geringen Niveau (Tab.3).

Tab.3: Kumulierte N₂O-Emissionen und Emissionsfaktoren der Varianten

Varianten	N ₂ O-N [kg N ha ⁻¹]*	Emissionsfaktor [%]	% applizierter Dünger-N
Kontrolle	0,21 (±0,18) ^a		
oberflächlich	0,68 (±0,27) ^a	0,14	0,20
Injektion	0,91 (±0,36) ^a	0,21	0,27
stabilisiert	0,71 (±0,32) ^a	0,15	0,21

*700 Tage, ANOVA, Tukey, p<0,05

Vergleichbar geringe N₂O-Emissionen einer Schwarzerde nach ¹⁵NH₄-Applikation bei ähnlichen klimatischen Bedingungen wurden von Russow et al. (2008) ermittelt und durch eine NH₄-Fixierung aufgrund der hohen Sorptionskapazität

der Böden und eine schnell ablaufende Nitrifikation begründet. Aufgrund der geringen Wassersättigung und der limitierten C_{org} -Verfügbarkeit (vgl. Tab. 1) kann vermutet werden, dass die N_2O -Bildung des untersuchten Bodens weniger durch Denitrifikationsprozesse sondern eher über den Nitrifikationsweg erfolgt. Nach Russow et al. (2008) können Schwarzerden bei den vorherrschenden klimatischen Bedingungen des mitteldeutschen Trockengebietes als eine NO -Quelle fungieren. Die Emissionsfaktoren lagen mit maximal 0,21 % (Injektion) deutlich unter dem für landwirtschaftlich genutzte Böden angegebenen Default Emission Factor von 1 % (IPCC, 2007).

Die N_2O -Emissionen zeigten bei allen Varianten signifikante Korrelationen zu den Bodentemperaturen und bei der Injektionsvariante zu den N_{min} -Gehalten (Tab. 4). Bei ausschließlicher Berücksichtigung der Zeiträume, in denen die für die N_2O -Bildung erforderlichen Bodenfeuchtebedingungen vorherrschten ($WFPS > 50$ %), nahmen die Zusammenhänge zur Bodentemperatur (max. bei Kontrolle, $r=0,6$; $p < 0,01$) und zu den N_{min} -Gehalten (Injektion, $r=0,53$, $p < 0,01$) deutlich zu.

Tab. 4: Spearman-Korrelationskoeffizienten zwischen N_2O -Emissionen und relevanten Parametern

		N_2O-N ($\mu g\ m^{-2}\ h^{-1}$)			
		Kontrolle	oberflächlich	Injektion	stabilisiert
Soil-T_{1cm}	(°C)	0,24*	0,41**	0,38**	0,24*
Soil-T_{5cm}	(°C)	0,22*	0,39**	0,36**	0,22*
Soil-T_{10cm}	(°C)	0,22*	0,37**	0,35**	0,20
WFPS_{30cm}	(%)	-0,15	-0,19	-0,07	-0,13
NO₃-N_{30cm}	(mg 100 g ⁻¹)	0,16	0,23*	0,42*	0,08
NH₄-N_{30cm}	(mg 100 g ⁻¹)	0,03	-0,04	0,18**	-0,07
Nmin_{30cm}	(mg 100 g ⁻¹)	0,16	0,15	0,31**	0,01

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Bisherige Ergebnisse aus zwei Versuchsjahren zeigten sehr geringe N₂O-Emissionen bei den Kulturen Winterraps und Winterweizen. Signifikante Unterschiede zwischen den geprüften Varianten waren nicht nachweisbar. Einzelne N₂O-Peaks bei der Harnstoff-Injektion deuten das Potential höherer N₂O-Emissionen aufgrund stabiler Nmin-Depots in Kombination mit tieferer Düngerablage an. Zudem war ein Zusammenhang zwischen Bodenbearbeitung und N₂O-Emissionen feststellbar, welcher in fortsetzenden Untersuchungen näher betrachtet werden sollte. Anhand der nachgewiesenen Korrelationen der N₂O-Emissionen zu Bodentemperaturen und Nmin-Gehalten kann geschlussfolgert werden, dass für eine relevante N₂O-Bildung am Standort folgende Voraussetzungen gegeben sein sollten: WFPS > 50 %, hohe Bodentemperaturen und hohe Nmin-Gehalte. Daher lassen sich die nachgewiesenen geringen N₂O-Emissionen dadurch erklären, dass diese 3 Voraussetzungen im bisherigen Versuchszeitraum nicht gleichzeitig auftraten.

5 Literaturangaben

- Davidson, E.A., 1991. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems. In: Rogers, J.E., Whitman, W.B. (eds.): Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases: Methane, Nitrogen Oxides and Halomethanes. Washington (DC), American Society for Microbiology.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007: Climate Change. In: Synthesisreport of the fourth assessment report of IPCC, p. 49 (Chapter 3).
- Russow, R., Spott, O., Stange, C.F., 2008: Evaluation of nitrate and ammonium as sources of NO and N₂O emissions from black earth soils (Haplic Chernozem) based on ¹⁵N field experiments. Soil Biol. Biochem. 40, 380-391.
- Van Groenigen, J.W., Huygens, D., Boeckx, P., Kuyper, T.W., Lubbers, I.M., Rütting, T., Groffman, P.M., 2015: The soil N cycle: new insights and key challenges. Soil 1, 235-256.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2002: Methode A 6.1.4.1, Bestimmung von mineralischem Stickstoff (Nitrat u. Ammonium) in Bodenprofilen (N_{\min} -Labormethode). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Zurheide, T., Pralle, H., Westerschulte M., Federolf C.-P., Vergara M.-E., Trautz D., Olfs H.-W., 2016: Untersuchung von Lachgasemissionen bei Gülledepot-Applikation mit Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen am Standort Osnabrück. VDLUFA-Schriftenreihe 72, 88-96.

Schätzung der N₂-Fixierungsleistung von Sojabohnen und Erbsen in Süddeutschland

B. Paeßens¹, A.F. Butz¹, G. Salzeder², P. Urbatzka²

¹Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe, ²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

1 Einleitung

Die N₂-Fixierungsleistung bezeichnet die Höhe der in einer Symbiose zwischen Bradyrhizobien und Leguminosen fixierten N-Menge. Diese N₂-Fixierungsleistung ist von vielen Faktoren, wie zum Beispiel dem Bakterienstamm, der Leguminosenart, der Nährstoff- und Wasserversorgung oder der Temperatur abhängig. Da die überwiegende Anzahl an Studien zur N₂-Fixierungsleistung von Sojabohnen unter den Bedingungen aus Übersee entstanden sind, wurde im Rahmen des Projektes „Optimierung des Anbaus von Sojabohnen – Bestimmung des Vorfruchtwertes und der N₂-Fixierungsleistung sowie Reduzierung der Bodenbearbeitung“ die N₂-Fixierungsleistung in Süddeutschland erhoben und mit der N₂-Fixierungsleistung von Erbsen verglichen.

2 Material und Methoden

An zwei Standorten in Baden-Württemberg (Rheinstetten und Forchheim am Kaiserstuhl) und einem Standort in Bayern (Hohenkammer) wurde die N₂-Fixierungsleistung mit Hilfe der erweiterten Differenzmethode mit vierfach wiederholten Split-plot-Versuchen ermittelt. Die Standorte Forchheim am Kaiserstuhl und Hohenkammer wurden ökologisch, der Standort Rheinstetten konventionell bewirtschaftet. Der Versuch in Rheinstetten wurde nach Bedarf (DWD-Modell, Agrowetter) bewässert. Untersucht wurden die Sojabohnensorten Merlin (Reifegruppe 000) und ES Mentor (Reifegruppe 00) sowie die Erbsensorten Alvesta (ökologisch und konventionell), Respect (nur konventionell) und Salamanca (nur ökologisch). Die erweiterte Differenzmethode wurde nach Stülpnagel (1982) berechnet und ergänzt um die Erweiterung III nach Hauser (1987). Bei der Berechnung wird zunächst die Summe aus der N-Menge im Stroh, im Blatt und im Spross der Leguminose sowie des N_{min}-Gehaltes im Boden zur Ernte gebildet und von dieser der gleiche Wert einer Referenzfrucht abgezogen (Gleichung 1).

$$N_2\text{-Fixierungsleistung} = \frac{(N_{\text{Korn}} + N_{\text{Spross}} + N_{\text{Blattfall}} + N_{\text{min}})_{\text{Leguminose}} - (N_{\text{Korn}} + N_{\text{Spross}} + N_{\text{Blattfall}} + N_{\text{min}})_{\text{Referenzfrucht}}}{\text{Leguminose}} \quad (\text{Gleichung 1})$$

Als Referenzfrüchte wurden die Silomaisorten Saludo (S210) und Ronaldinio (S240) für die Sojabohnensorten Merlin und ES Mentor verwendet. Bei den Erbsen wurde die Sommergerstensorte Grace an den Standorten Rheinstetten und Forchheim am Kaiserstuhl genutzt, am Standort Hohenkammer die Hafer-sorten Aragon (2015) und Max (2016 bis 2017). Sowohl bei den Leguminosen als auch bei den Referenzfrüchten wurde die Erntemenge für Korn, Stroh und bei allen Kulturen nach Bedarf der Blattfall erhoben. In den Fraktionen wurde der N-Gehalt nach der Dumas-Methode (Rheinstetten und Forchheim am Kaiserstuhl) bzw. nach der Kjehldahl-Methode (Hohenkammer) bestimmt und dann die N-Menge in der jeweiligen Fraktion berechnet. Zusätzlich wurde der N_{min} -Gehalt zur Ernte parzellengenau gemessen. Die statistische Auswertung erfolgte über ein gemischtes, hierarchisches Modell mit SAS proc mixed.

3 Ergebnisse und Diskussion

Tab. 1: N_2 -Fixierungsleistung (kg N ha^{-1}) von Sojabohnen (Merlin und ES Mentor) und Erbsen (Alvesta, Respect und Salamanca). Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede am jeweiligen Standort an. Großbuchstaben geben Kulturunterschiede am Standort Forchheim a. K. an (Tukey-Test, $p < 0,05$).

N_2-Fixierungsleistung	Rheinstetten (konventionell)			Forchheim a. K. (ökologisch)			Hohenkammer (ökologisch)		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
Merlin	211 ^{bc}	178 ^{cd}	181 ^{cd}	184 ^{BC}	227 ^{AB}	310 ^A	194 ^a	198 ^a	98 ^b
ES Mentor	276 ^a	235 ^{ab}	237 ^{ab}	199 ^{BC}	264 ^{AB}	288 ^A	165 ^a	269 ^a	209 ^a
Alvesta	187 ^{bc}	208 ^{bc}	140 ^d	115 ^D	176 ^{CD}	186 ^{CD}	97 ^b	132 ^b	91 ^b
Respect	179 ^{bc}	207 ^{bc}	156 ^{cd}	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Salamanca	-----	-----	-----	126 ^D	176 ^{CD}	128 ^{CD}	80 ^b	133 ^b	95 ^b

Tab. 2: N-Abfuhr (kg ha^{-1}) und relativer Anteil (%) der fixierten N-Menge an der N-Menge im Korn der Erbsensorten Alvesta, Respect und Salamanca sowie der Sojabohnensorten Merlin und ES Mentor an den Standorten Rheinstetten (konventionell), Forchheim am Kaiserstuhl (ökologisch) und Hohenkammer (ökologisch). Kleinbuchstaben am Standort Hohenkammer geben signifikante Unterschiede an. Großbuchstaben geben Kulturunterschiede am Standort Forchheim a. K. an. Kleinbuchstaben am Standort Rheinstetten geben Jahresunterschiede an und Großbuchstaben Kulturunterschiede (Tukey-Test, $p < 0,05$).

Ort	Erbsen- und Sojabohnen- sorte	N-Abfuhr über den Kornertrag (kg ha^{-1})			Relativer Anteil (%) der fixierten N-Menge an der N-Menge im Korn		
		2015	2016	2017	2015	2016	2017
Rheinstetten (konventionell)	Merlin	195 ^{ba}	130 ^{ca}	254 ^{aA}	109	137	72
	ES Mentor	235 ^{ba}	137 ^{ca}	270 ^{aA}	117	173	85
	Alvesta	154 ^{bb}	129 ^{cb}	153 ^{ab}	120	155	87
	Respect	150 ^{bb}	130 ^{cb}	171 ^{ab}	123	160	96
Forchheim am Kaiserstuhl (ökologisch)	Merlin	208 ^{BC}	248 ^B	316 ^A	88	92	98
	ES Mentor	249 ^{BC}	273 ^B	314 ^A	80	96	92
	Alvesta	167 ^D	189 ^{CD}	248 ^{BC}	69	93	68
	Salamanca	167 ^D	181 ^{CD}	190 ^{BC}	75	97	73
Hohen- kammer (ökologisch)	Merlin	206 ^c	247 ^b	251 ^b	95	80	39
	ES Mentor	196 ^{cd}	300 ^a	309 ^a	84	90	67
	Alvesta	126 ^f	165 ^e	106 ^{fg}	75	79	85
	Salamanca	103 ^{fg}	177 ^{de}	97 ^g	62	75	100

In unseren Versuchen liegt die N_2 -Fixierungsleistung zwischen 80 und 288 kg ha^{-1} . Mit Ausnahme von Merlin 2015 in Rheinstetten und 2017 in Hohenkammer lagen die N_2 -Fixierungsleistungen der Sojabohnen stets über denen der Erbsen (Tab. 1). Auffällig ist, dass in fast allen Fällen (Ausnahmen: Alvesta 2017 in Rheinstetten, Merlin und Mentor in Forchheim am Kaiserstuhl und Merlin 2017 in Hohenkammer) die N_2 -Fixierungsleistung für jede Sorte in allen Jahren am

jeweiligen Ort statistisch auf dem gleichen Niveau lag. Am Standort Rheinstetten lag die N_2 -Fixierungsleistung der später reifenden Sojabohnensorte ES Mentor über der N_2 -Fixierungsleistung der früheren Sorte Merlin. Vermutlich konnte sie durch die längere Wachstumszeit mehr Stickstoff fixieren.

Es zeigt sich, dass die N-Abfuhr über das Erntegut an den Standorten Forchheim am Kaiserstuhl und Hohenkammer stets über der fixierten N-Menge lag, wohingegen dies in Rheinstetten nur im Jahr 2017 so war. Salvagiotti (2008) berichtet, dass bei Sojabohnen die fixierten N-Mengen ca. 50 bis 60 % der N-Menge in den Körnern ausmacht. In unseren Versuchen liegt dieser Prozentsatz meist deutlich höher (Tab. 2). Dabei fällt auf, dass zwar bei den Erbsen oft weniger Stickstoff in den Körnern ist, aber durch die geringere N_2 -Fixierungsleistung ergibt sich dennoch in vielen Fällen ein geringerer Anteil der fixierten N-Menge an der N-Menge im Korn als bei den Sojabohnen. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass sowohl bei Sojabohnen als auch bei Erbsen mit Ausnahme der Jahre 2015 und 2016 in Rheinstetten in der Regel mehr Stickstoff abgefahren wird, als fixiert wurde. Dennoch bleiben in den Ernteresiduen N-Mengen zwischen 21 und 63 kg ha⁻¹ bei den Erbsen und zwischen 56 und 108 kg ha⁻¹ bei den Sojabohnen zurück (Daten nicht gezeigt). Offen bleibt an dieser Stelle zunächst die Frage, warum Erbsen oft der höhere Vorfruchtwert als Sojabohnen zugeschrieben wird, da sie in den meisten Fällen weniger Stickstoff für eine Folgekultur zurücklassen.

4 Schlussfolgerungen

Sojabohnen und Erbsen können zwischen 80 und 288 kg Stickstoff je Hektar in Süddeutschland fixieren. In den meisten Jahren haben Sojabohnen eine höhere N_2 -Fixierungsleistung als Erbsen. Bei beiden Kulturen wird fast immer mehr Stickstoff über das Erntegut abgefahren als zuvor fixiert wurde. Der rechnerische Anteil der fixierten N-Menge an der N-Abfuhr-Menge liegt bei den Sojabohnen meist höher als bei den Erbsen. Die in den Ernteresiduen befindliche N-Menge ist bei den Sojabohnen meist höher als bei den Erbsen.

5 Förderung

Dieses Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags.

6 Literaturangaben

- Hauser, S., 1987: Schätzung der symbiotisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. Dissertation Universität Göttingen.
- Salvagiotti F, Cassman, K.G., Specht, J.E., Walters, D.T., Weiss, A., Dobermann, A., 2008: Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research* 108:1-13.
- Stülpnagel, R., 1982: Schätzung der von Ackerbohnen symbiotisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. *Journal Agronomy and Crop Science* 151, 446-458.

Sind Pflanzenkohlen ein geeigneter Zuschlagstoff in Baumsubstraten?

K. Beck, M. Klemisch

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim

1 Einleitung

Bei Pflanzungen von Bäumen in der Stadt werden zunehmend spezielle Baumsubstrate eingesetzt, die den Bäumen, trotz der besonderen Belastungen wie beengter Wurzelraum und Bodenverdichtung möglichst günstige Wachstumsbedingungen bieten sollen. Bei diesen Baumsubstraten wird in erster Linie auf die physikalischen Eigenschaften geachtet. Die Substrate sollen dauerhaft strukturstabil sein und eine hohe Luft- und Wasserkapazität besitzen. Die Baumsubstrate bestehen daher größtenteils aus grobkörnigen mineralischen Komponenten und haben deshalb meist nur eine geringe Nährstoffspeicherfähigkeit und –verfügbarkeit.

Pflanzenkohlen, die durch Pyrolyse von biogenen Reststoffen erzeugt werden, könnten eine geeignete organische Komponente darstellen, um die Nährstoffversorgung in herkömmlichen Baumsubstraten langfristig zu verbessern. So zeichnen sich Pflanzenkohlen durch eine hohe Sorptionskapazität und Stabilität aus und in mit Pflanzenkohle angereicherten Böden konnte eine verbesserte Nährstoffspeicherung festgestellt werden (Glaser et al., 2002, Liang et al., 2006, Shackley et al., 2016). Die Zusammensetzung und die Eigenschaften von Pflanzenkohlen können in Abhängigkeit vom Ausgangsstoff und den Herstellungsbedingungen jedoch erheblich variieren, sodass angenommen werden kann, dass verschiedene Pflanzenkohlen eine unterschiedliche Eignung für den Einsatz in Baumsubstraten besitzen.

An der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau wird gegenwärtig untersucht, inwieweit Pflanzenkohlen ein geeigneter Zuschlagstoff in Baumsubstraten sind. Dafür wurden zunächst verschiedene derzeit auf dem Markt erhältliche und damit für die Praxis in größeren Mengen verfügbare Pflanzenkohlen im Labor auf ihre für die Anwendung in Baumsubstraten relevanten chemischen Eigenschaften untersucht. Die Ergebnisse der chemischen Charakterisierung der verschiedenen Pflanzenkohlen werden im Folgenden vorgestellt.

2 Material und Methoden

Tab. 1: Ausgangsmaterial, Körnung, maximale Pyrolysetemperatur und Pyrolysedauer der 16 untersuchten Pflanzenkohlen (Herstellerangaben).

Probe	Ausgangsmaterial	Körnung (mm)*	Temperatur (°C)	Dauer (min)
PK1	Holz	0-15	600	20
PK2	Dinkelspelzen + Papierfaserschlamm	ca. 0-8	600	20
PK3	Hackschnitzel Grünschnitt / unbeh. Holz	0-25	>600/700	30
PK4	Buchen- und Fichtenholz mit Rinden	0-20	bis ca. 750	288
PK5	Dinkelspelzen	0-8	550-600	9,6
PK6	Buchenholz	0-25	550-600	9,6
PK7	Heilkräuter	0-4	550-600	9,6
PK8	Eichenholz	ca. 0-5	>600	240
PK9	Trester Heilpflanzenextraktion	0-2	550-650	30
PK10	Hartholz hackschnitzel (Stammholz)	Pulver	-	-
PK11	Hartholz hackschnitzel (Stammholz)	ca. 0-25	-	-
PK12	Hackschnitzel-Siebreste Baumschnitt	0-20	-	-
PK13	Hackschnitzel Laubholz	0-25	-	-
PK14	Wald hackschnitzel	ca. 0-20	500-600	-
PK15	Feinsieb Hackschnitzelproduktion	ca. 0-20	550-600	-
PK16	Trester Heilpflanzenextraktion	ca. 0-5	550-600	-

*ca.-Angaben bei Körnung gemäß eigener Bewertung

In die Laboranalysen wurden insgesamt 16 Pflanzenkohle-Proben von zehn Produzenten in Deutschland, Österreich und der Schweiz einbezogen. Die Pflanzenkohlen unterschieden sich hinsichtlich ihrer Ausgangsstoffe, der Körnung und der Bedingungen während des Pyrolyseprozesses (Tab. 1). Elf Pflanzenkohlen waren aus holzigem Ausgangsmaterial mit unterschiedlichen Anteilen an nicht-verholzten Pflanzenteilen. Die übrigen Pflanzenkohlen wurden aus Ernterückständen oder Produktionsreststoffen wie Dinkelspelzen und Trester

hergestellt. Alle Pflanzenkohlen wurden, sofern von den Herstellern angegeben, bei Temperaturen von über 500 °C pyrolysiert.

Die Untersuchungen beinhalteten die Bestimmung des pH-Werts (0,01 M CaCl₂, Verhältnis 1:10) und des Salzgehalts über die elektrische Leitfähigkeit (H₂O, Verhältnis 1:10). Der Carbonatgehalt wurde gasvolumetrisch nach Scheibler bestimmt und der Gesamtkohlenstoffgehalt am Elementaranalysator ermittelt. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff wurde aus der Differenz von Gesamtkohlenstoff und carbonatischem Kohlenstoff berechnet. Mittels Elementaranalyse wurde auch die thermische Stabilität der Pflanzenkohlen untersucht. Die Proben wurden im Sauerstoffstrom mit einer Heizrate von 20 °C/min gleichmäßig auf 900 °C erhitzt und der freigesetzte Kohlenstoff analysiert. Dabei wurde die Menge an freigesetztem Kohlenstoff in den Temperaturbereichen 160-300 °C, 300-400 °C, 400-450 °C, 450-600 °C, 600-700 °C und 700-900 °C quantifiziert. Der Gehalt an löslichem Phosphor und Kalium wurde im CAL-Extrakt gemessen. Die Bestimmung der Kationenaustauschkapazität erfolgte mittels Schüttelextraktion durch Austausch der Kationen mit einer bei pH7 gepufferten Ammoniumacetatlösung und Rücktausch des Ammoniums mit KCl-Lösung. Alle Analysen wurden jeweils mindestens als Doppelbestimmung durchgeführt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die pH-Werte der untersuchten Pflanzenkohlen lagen mit Werten zwischen pH 7,9 und 11,7 ohne Ausnahme im alkalischen Bereich (Tab. 2). Diese pH-Werte sind typisch für Pflanzenkohlen aus holzigem Ausgangsmaterial und landwirtschaftlichen Reststoffen, die bei hohen Temperaturen pyrolysiert wurden (Enders et al., 2012). Für den Einsatz in Baumsubstraten wären Pflanzenkohlen mit möglichst niedrigem pH-Wert zu präferieren, da Baumsubstrate aufgrund der verwendeten Ausgangsstoffe meist ohnehin einen hohen pH-Wert besitzen und mit geeigneten Zuschlagstoffen versucht wird den pH-Wert abzusenken.

Die Salzgehalte waren mit Werten kleiner 1,3 g/l bei zwölf Pflanzenkohlen mehrheitlich niedrig (Tab. 2). Während diese Salzgehalte hinsichtlich eines Einsatzes in Baumsubstraten unbedenklich sind, wurden bei vier Pflanzenkohlen Salzgehalte von über 3,0 g/L gemessen, wobei eine Pflanzenkohle sogar einen deutlich höheren Salzgehalt von 8,0 g/L aufwies.

Tab. 2: pH-Wert, Salzgehalt, Carbonatgehalt, organischer Kohlenstoffgehalt, Gehalte an löslichen Nährstoffen Phosphor und Kalium (CAL) und Kationenaustauschkapazität (KAK) der Pflanzenkohlen

Probe	pH*	Salzgehalt (g/l)*	CaCO ₃ (% TM)	C _{org} (% TM)	P ₂ O ₅ (CAL) (mg/l)*	K ₂ O (CAL) (mg/l)*	KAK (mmol./kg TM)
PK1	8,3	0,4	1,9	81,8	48	353	109
PK2	7,9	0,2	4,5	57,6	188	283	274
PK3	8,5	0,8	5,0	82,0	63	936	232
PK4	8,0	0,3	5,3	73,5	31	307	182
PK5	9,0	0,6	6,9	63,5	145	735	357
PK6	8,3	0,2	3,8	79,9	15	322	240
PK7	9,4	8,0	6,3	72,8	421	6783	265
PK8	8,5	0,6	2,0	81,5	52	443	177
PK9	9,3	3,8	6,5	73,6	749	4391	271
PK10	8,7	4,2	11,5	74,8	359	3674	521
PK11	7,9	1,2	1,4	85,0	49	475	344
PK12	8,8	1,3	6,3	71,6	252	1612	465
PK13	8,6	0,8	3,9	84,0	50	715	217
PK14	11,7	3,0	2,8	77,6	90	804	200
PK15	8,8	0,7	4,2	69,6	97	832	181
PK16	8,4	0,5	1,7	74,5	678	936	256

*Bezogen auf lufttrockene Pflanzenkohle

Die Pflanzenkohlen hatten größtenteils geringe Carbonatgehalte von unter 7 % (Tab. 2). Dies entspricht den Angaben in der Literatur, wonach Pflanzenkohlen aus pflanzlicher Biomasse mehrheitlich niedrige Carbonatgehalte besitzen (Wang et al., 2014), wie es für den Einsatz in Baums substraten erwünscht wäre. Der Anteil carbonatischen Kohlenstoffs am Gesamtkohlenstoff lag somit meistens bei unter 1 %, sodass der Gesamtkohlenstoffgehalt in den Pflanzenkohlen annähernd dem Gehalt an organischem Kohlenstoff entsprach.

Die organischen Kohlenstoffgehalte bewegten sich zwischen 58 und 85% (Tab. 2). Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der thermischen Stabilität der enthaltenen Kohlenstoffverbindungen (Abb. 1 und 2). Während bei einigen Pflanzenkohlen der organische Kohlenstoff bei einer Temperatur von 450 °C fast vollständig oxidiert war, besaßen andere Pflanzenkohlen einen deutlich höheren Anteil an thermisch stabilerem Kohlenstoff, der erst bei Temperaturen zwischen 450 und 600 °C freigesetzt wurde. Dies weist auf einen höheren Verkohlungsgrad und einen höheren Anteil kondensierter aromatischer Kohlenstoffverbindungen in den letztgenannten Pflanzenkohlen hin. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Pflanzenkohlen mit einem höheren Anteil an thermisch stabilen Kohlenstoffkomponenten auch eine größere Stabilität in Baums substraten hätten.

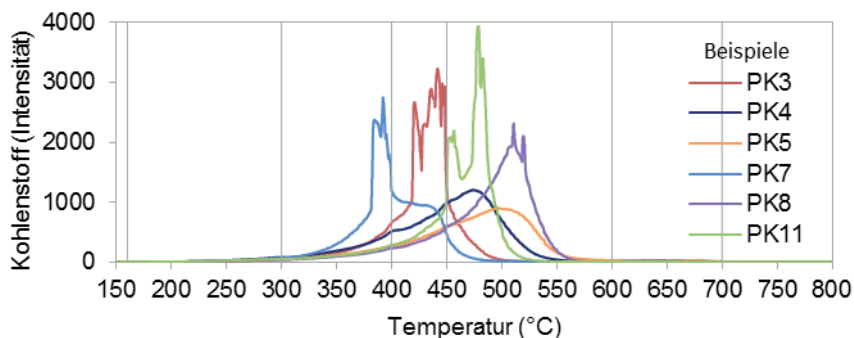


Abb. 1: Kohlenstofffreisetzung von sechs beispielhaft ausgewählten Pflanzenkohlen während der gleichmäßigen Erhitzung auf 900 °C mit einer Heizrate von 20 °C/min

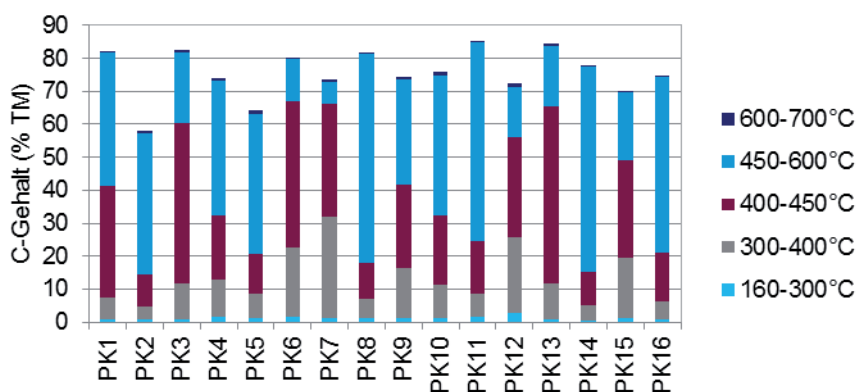


Abb. 2: Gesamtkohlenstoffgehalte der Pflanzenkohlen mit Anteilen des in den fünf Temperaturabschnitten freigesetzten Kohlenstoffs

Der Gehalt an löslichem Phosphor war mit Werten von 15 bis 750 mg P_2O_5/l gering (Tab. 2). Bei der Anwendung in Baumsubstraten besäßen die untersuchten Pflanzenkohlen daher vermutlich keine düngende Wirkung hinsichtlich des Phosphors. Dagegen wurden in vier Proben mit Werten von über 1000 bis 7000 mg K_2O/l beträchtliche Gehalte an CAL-löslichem Kalium gefunden. Hierbei ist anzunehmen, dass diese Pflanzenkohlen einen Beitrag zur Kaliumversorgung im Substrat leisten könnten.

Die Kationenaustauschkapazität der Pflanzenkohlen lag zwischen 100 und 500 mmol_c/kg (Tab. 2). Die gemessenen Werte stimmen mit den in der Literatur angegebenen Werten für Pflanzenkohlen aus pflanzlichen Ausgangsstoffen überein (Mukherjee et al., 2011, Rajkovich et al., 2012). Frische, bei relativ hohen Temperaturen pyrolysierte Pflanzenkohlen haben im Vergleich zu Humus keine besonders hohe Kationenaustauschkapazität, da kaum negativ geladene funktionelle Gruppen an der Oberfläche vorhanden sind. Es wird vermutet, dass die nach Zugabe von Pflanzenkohlen beobachtete Erhöhung der Kationenaustauschkapazität in Böden auf die Alterung der Pflanzenkohle und damit einhergehender Oxidation der Oberfläche oder auf die Anlagerung von organischer Substanz an der Pflanzenkohle zurückzuführen ist (Liang et al., 2006, Shackley et al., 2016).

Insgesamt zeigte sich, dass die 16 untersuchten Pflanzenkohlen deutlich in ihren chemischen Eigenschaften variierten. Die Unterschiede ließen sich dabei nicht allgemein durch die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Angaben zu Ausgangsmaterial und Pyrolysetemperatur erklären, die den größten Einfluss auf die Pflanzenkohle-Eigenschaften haben (Novak et al., 2009, Zhao et al., 2013, Shackley et al., 2016). Nur beim Gehalt an organischem Kohlenstoff ($r = 0,63$) und dem Gehalt an löslichem Phosphor ($r = -0,69$) ergaben sich signifikante Korrelationen mit dem Ausgangsmaterial, mit höheren organischen Kohlenstoffgehalten und niedrigeren löslichen Phosphorgehalten bei Pflanzenkohlen aus holzigem Ausgangsmaterial. Im Vergleich zu den in vielen Studien eingesetzten, im Labor aus sehr homogenen Materialien produzierten Pflanzenkohlen, sind die hier untersuchten Pflanzenkohlen meist jedoch aus weniger einheitlichen Ausgangsstoffen hergestellt worden.

4 **Schlussfolgerungen und Ausblick**

Die untersuchten Pflanzenkohlen zeigten deutliche Unterschiede hinsichtlich ihrer chemischen Eigenschaften. Die Unterschiede ließen sich dabei nicht allgemein auf die verwendeten Ausgangsmaterialien und die Pyrolysebedingungen zurückführen, sodass sich gewünschte Eigenschaften nicht zwangsläufig aus den Produktionsparametern vorhersagen lassen.

Grundsätzlich sind derzeit jedoch Pflanzenkohlen auf dem Markt erhältlich, die aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften, mit möglichst niedrigen pH-Werten, niedrigen Salzgehalten, hohen Kationenaustauschkapazitäten und hohen Gehalten an stabilem Kohlenstoff, vermutlich besser für den Einsatz in Baumsubstraten geeignet sind und daher vorrangig als Zuschlagstoff getestet werden sollten.

Aktuell wird in einem mehrmonatigen Topfversuch im Freiland überprüft, inwieweit ausgewählte Pflanzenkohlen die Nährstoffverfügbarkeit in einem herkömmlichen Baumsubstrat verbessern.

5 **Literaturangaben**

- Enders, A., Hanley, K., Whitman, T., Joseph, S., Lehmann, J., 2012: Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource technology*, 114, 644-653.
- Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., 2002: Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and fertility of soils*, 35, 219-230.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizao, F.J., Petersen, J., Neves, E.G., 2006: Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1719-1730.
- Mukherjee, A., Zimmerman, A.R., Harris, W., 2011: Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, 163, 247-255.

- Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrh, D., Watts, D.W., Busscher, W.J., Schomberg, H., 2009: Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*, 3, 195-206.
- Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R., Lehmann, J., 2012: Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 271-284.
- Shackley, S., Ruyschaert, G., Zwart, K., Glaser, B. (Hrsg.), 2016: *Biochar in European soils and agriculture: science and practice*. Routledge, London.
- Wang, T., Camps-Arbestain, M., Hedley, M., Singh, B. P., Calvelo-Pereira, R., Wang, C., 2014: Determination of carbonate-C in biochars. *Soil Research*, 52, 495-504.
- Zhao, L., Cao, X., Mašek, O., Zimmerman, A., 2013: Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures. *Journal of hazardous materials*, 256, 1-9.

Reduzierte Bodenbearbeitung und unterschiedliche Herbizidstrategien bei Sojabohnen

B. Paeßens, A.F. Butz

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe

1 Einleitung

Der Sojaanbau in Deutschland nimmt stetig zu. Dabei werden auch Flächen genutzt, die erosionsgefährdet sind. Zur Erosionsminderung bieten sich auf diesen Flächen Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung an. Diese verlangsamen jedoch die Bodenerwärmung im Frühjahr und könnten dem schnellen Auflaufen der wärmebedürftigen Sojabohnen entgegenstehen. Weiterhin wird in der Landwirtschaft oftmals vor der Aussaat von Sojabohnen ein Totalherbizid eingesetzt. Im Rahmen des Projektes „Optimierung des Anbaus von Sojabohnen – Bestimmung des Vorfruchtwertes und der N₂-Fixierungsleistung sowie Reduzierung der Bodenbearbeitung“ wurden verschiedene Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung auf Ihre Eignung getestet und dabei untersucht, ob ein Verzicht auf den Einsatz eines Totalherbizids vor der Saat in Hinblick auf Ertrag und Unkrautdeckungsgrad möglich ist.

2 Material und Methoden

Am Standort Stifterhof in Östringen im Kraichgau in Baden-Württemberg wurden verschiedene Varianten der reduzierten Bodenbearbeitung in einer vierfach wiederholten, geblockten Streifenanlage in den Jahren 2015 bis 2017 mit der Sojabohnensorte Sultana untersucht. Die Vorfrucht war Winterweizen. Bei den Varianten handelte es sich um Mulchsaat (MS), Strip-Till (ST) und um Direktsaat in gewalzten Grünroggen (DW) sowie um Direktsaat in abgefahrenen Grünroggen (DN). Bei MS und ST wurde Phacelia als Zwischenfrucht angebaut, bei DN und DW die Grünroggensorte Protector. Zusätzlich gab es bei MS und ST die Varianten mit Totalherbizid (mTH) und ohne Totalherbizid (oTH), während ansonsten folgende Herbizide in beiden Fällen eingesetzt wurden: Spectrum (0,65 L ha⁻¹), Centium 36 CS (0,25 L ha⁻¹) und Sencor WG (0,4 L ha⁻¹). Bei DN und DS wurde entweder kein Herbizid (oH) eingesetzt oder die benannte Mischung

aus Spectrum, Centium und Sencor (mH). Für alle Varianten wurde der Kornertrag erhoben. Der Unkrautdeckungsgrad wurde mit einem Göttinger Schätzrahmenbonitiert.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Erträge (Abb. 1) von MS und ST haben sich in allen Jahren nicht unterschieden, was vergleichbar ist mit den Erträgen von Landwirten aus der Region. In den Jahren 2015 und 2016 waren die Erträge von MS und ST jeweils höher als die Erträge von DW und DN.

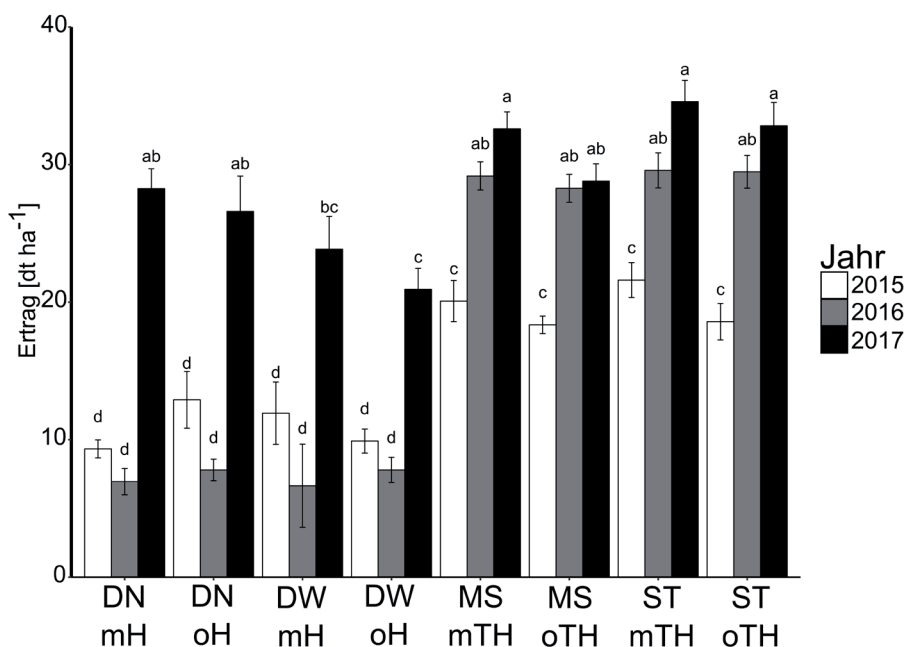


Abb. 1: Kornertrag (dt ha⁻¹ bei 86 % TS) der Sojabohnensorte Sultana in den Jahren 2015 bis 2017 in den verschiedenen Varianten: Direktsaat mit Nutzung des Grünroggens (DN), Direktsaat mit Walzen des Grünroggens (DW), Mulchsaat (MS) und Strip-Till (ST) sowie unterschiedliche Herbizidstrategien: mH (Spectrum, Centium, Sencor), oH (kein Herbizid), mTH (Spectrum, Centium, Sencor, Glyphosat), oTH (Spectrum, Centium, Sencor, kein Glyphosat). Die Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey < 0,05). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler an.

Verteilung verringerte sich der Ertragsabstand von den Grünroggenvarianten zu MS und ST. Vergleicht man bei den Direktsaatvarianten im jeweiligen Jahr die Herbizidstrategien, so fällt auf, dass zwar eine Tendenz zu niedrigeren Erträgen bei Verzicht auf die Herbizidkombination eintrat, dieser Effekt jedoch nicht statistisch absicherbar war. Sowohl bei MS als auch bei ST gab es keinen Unterschied im Ertrag zwischen den Varianten mit Einsatz und ohne Einsatz des Totalherbizids vor der Saat.

Hinsichtlich des Unkrautdeckungsgrades (Abb. 2) wurde eine relativ hohe Schwankungsbreite innerhalb der Varianten festgestellt. Daher unterscheidet sich statistisch gesehen nur die Variante DN oH von den anderen. Bei MS und ST hat es somit statistisch gesehen keinen Einfluss auf den Unkrautdeckungsgrad, ob das Totalherbizid Glyphosat vor der Saat eingesetzt wurde oder nicht.

4 Schlussfolgerungen

Strip-Till und Mulchsaatverfahren erreichen hohe Erträge und können als erosionsmindernde Anbauverfahren für entsprechende Anbaulagen empfohlen werden. Dabei kann durchaus auf den Einsatz des Totalherbizids vor der Saat verzichtet werden, denn sowohl bei den Erträgen als auch bei der Unkrautdeckung ergab sich kein statistischer Unterschied zwischen den Varianten mit und ohne Anwendung von Glyphosat vor der Saat. Die Direktsaatvarianten mit Grünroggen als Zwischenfrucht sind aufgrund des hohen zusätzlichen Wasserbedarfs am ehesten für Gebiete mit höheren Niederschlägen bzw. bei Bewässerung geeignet.

5 Förderung

Dieses Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags.

Einfluss der Impfung von Sojabohnen mit kommerziellen Bradyrhizobien-Präparaten auf Ertrag und Eiweißgehalt

A. F. Butz¹

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Rheinstetten-Forchheim

1 Einleitung

Sojabohnen sind, wie alle Leguminosen, in der Lage, in Symbiose mit Rhizobien atmosphärischen Stickstoff zu fixieren. In Deutschland wird üblicherweise das Sojasaatgut vor der Aussaat mit *Bradyrhizobium japonicum* beimpft, um die Entwicklung der Symbiose mit der Sojabohne sicherzustellen. Impfmittel unterliegen keinem Zulassungsverfahren mit Wirksamkeitsprüfung. Die Erfahrungen aus der Praxis zeigen jedoch unterschiedliche Symbioseleistungen und damit verbundene Ertragsschwankungen. Um der Praxis eine Orientierung zu geben, wurde die Wirkung von kommerziellen Bradyrhizobium-Präparaten auf den Ertrag und den Eiweißgehalt von Sojabohnen in Feldversuchen auf drei Standorten geprüft. Es wurde geprüft, ob folgende Hypothesen zutreffen: Eine Impfung von Sojabohnen führt zu Steigerung der Ertrags, des Proteingehaltes und des Proteinertrages.

2 Material und Methoden

Es wurden Feldversuche als vierfach wiederholte Blockanlage an drei Standorten in Baden-Württemberg: Rheinstetten-Forchheim (IS, AZ 32, Rheinebene, beregnet), Ladenburg (tL, AZ 84, Rheinebene) und Kupferzell (L, AZ 59, Hohenlohe) in den Jahren 2015-2017 (Ladenburg) bzw. 2016-2017 (Rheinstetten-Forchheim und Kupferzell) angelegt.

In den Versuchen wurden neben der ungeimpften Kontrolle bis zu 13 Impfmittel geprüft. Die Impfmittel wurden entsprechend der Herstelleranleitungen angewandt. Zwischen jeder Impfmittelvariante wurde die Sämaschine umfassend gereinigt. Die Versuche fanden auf Flächen ohne bisherigen Sojaanbau statt. Zur Unkrautkontrolle wurden die ortsüblichen Voraufbauherbizide eingesetzt.

Der Impferfolg wurde durch eine Knöllchenbonitur zum Zeitpunkt der beginnenden Kornfüllung (BBCH 75) ermittelt. Zum gleichen Zeitpunkt wurde ab 2016 der mit dem Chlorophyllgehalt korrelierende Grünwert (Markwell et al. 1995) mit dem Yara-N-Tester gemessen. Neben dem Kornertrag wurden der Proteingehalt und der Proteinertrag erhoben. Die Versuchsauswertung erfolgte mit SAS als gemischtes Model.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigen dass zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den Impfmitteln bestehen. Sowohl beim Ertrag (Abb. 1) als auch beim Proteingehalt (Abb. 2) und Proteinertrag (Abb. 3) lagen signifikante Unterschiede zwischen den Impfmitteln bzw. der ungeimpften Kontrolle vor. Dies bestätigt die Erfahrungen aus der Praxis, aus Gefäßversuchen (Wächter et al. 2013), aus Feldversuchen in Norddeutschland (Zimmer et al. 2016) sowie aus Versuchen in anderen Klimazonen (Thilakarathna & Raizada 2017), in denen auch erhebliche Unterschiede zwischen Impfmitteln beobachtet wurden. Auch zeigte sich, dass zwischen den Impfmitteln und den Standorten bzw. den Jahren signifikante Interaktionen vorliegen. Es wurden zum Teil erhebliche Schwankungen der Leistung der Impfmittel zwischen den Jahren und Standorten festgestellt, die sich im Ertrag, Proteingehalt und Proteinertrag zeigten. Sowohl beim Impferfolg als auch beim Grünwert gab es signifikante Unterschiede zwischen den Impfmitteln (Daten nicht dargestellt). Insbesondere der ermittelte Grünwert könnte ein geeigneter Parameter sein, um schon im Bestand die Leistung vom Impfmittel zu erfassen.

4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Impfung im Sojaanbau von zentraler Bedeutung für die Ertragsbildung (bis zu 25 dt ha⁻¹ Mehrertrag gegenüber der Kontrolle) und einen hohen Proteingehalt (Steigerung des Proteingehaltes um bis zu 9,9 %) ist. Es zeigt sich aber auch, dass erhebliche Unterschiede bei den Impfmitteln bestehen und daher eine gezielte Auswahl von geeigneten Impfmitteln von großer Bedeutung für einen erfolgreichen Sojaanbau ist

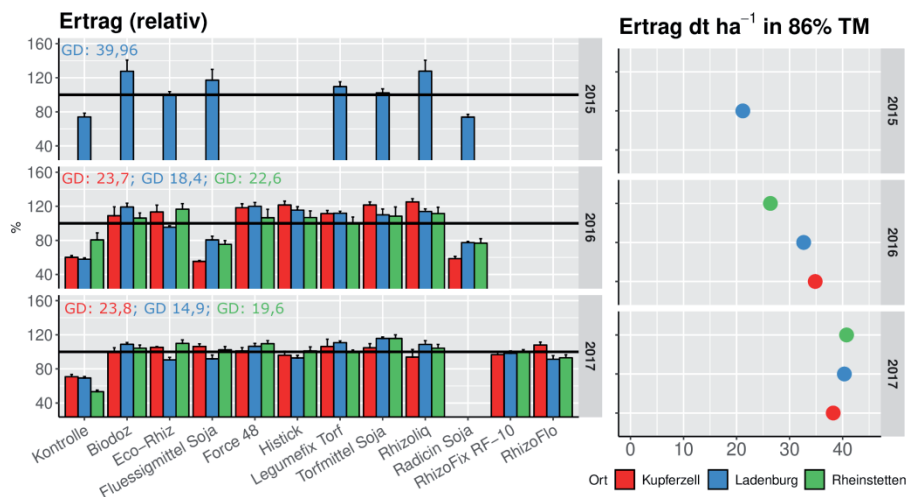


Abb. 1: Kornertrag von Sojabohnen in den Jahren 2015 bis 2017 in Varianten mit Saatgutimpfung bei Behandlung mit unterschiedlichen Impfmitteln und ungeimpfter Kontrolle. Die Fehlerbalken in den Balkendiagrammen geben den Standardfehler an. Die Grenzdifferenz (GD): Tukey $p < 0,05$ innerhalb Standort und Jahr.

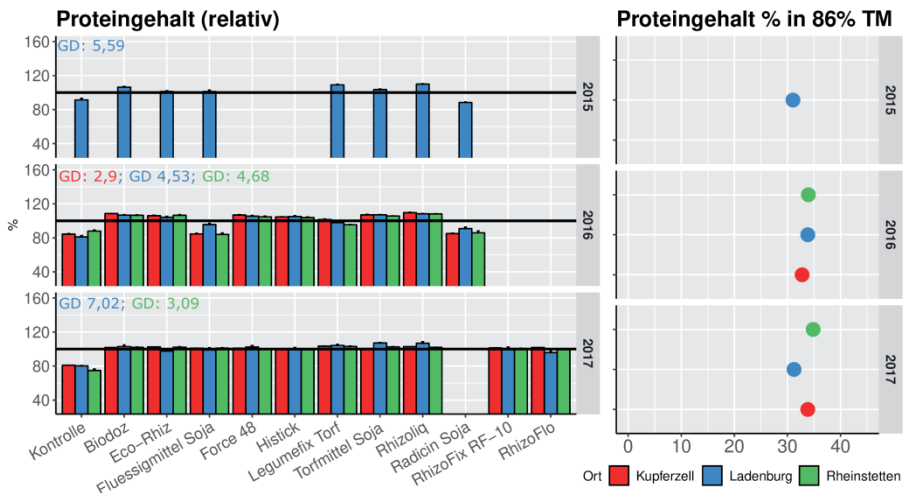


Abb. 2: Proteingehalt von Sojabohnen in den Jahren 2015 bis 2017 in Varianten mit Saatgutimpfung bei Behandlung mit unterschiedlichen Impfmitteln und ungeimpfter Kontrolle. Die Fehlerbalken in den Balkendiagrammen geben den Standardfehler an. Die Grenzdifferenz (GD): Tukey $p < 0,05$ innerhalb Standort und Jahr.

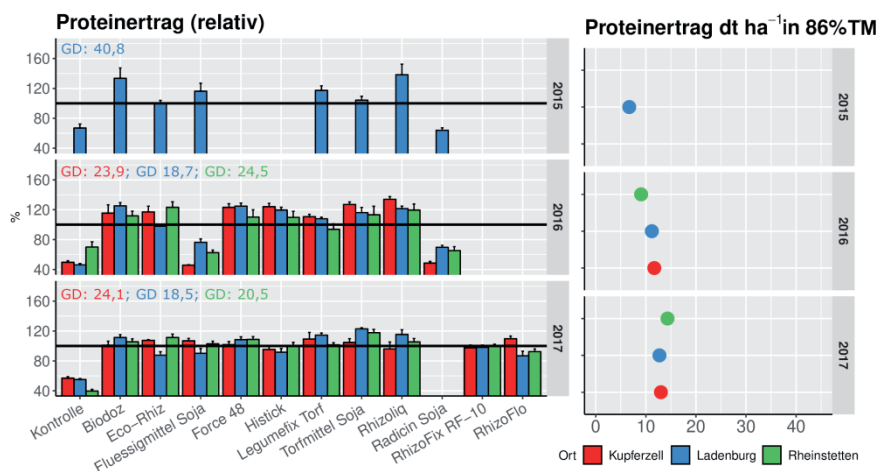


Abb.3: Proteinertag von Sojabohnen in den Jahren 2015 bis 2017 in Varianten mit Saatgutimpfung bei Behandlung mit unterschiedlichen Impfmitteln und ungeimpfter Kontrolle. Die Fehlerbalken in den Balkendiagrammen geben den Standardfehler an. Die Grenzdifferenz (GD):Tukey $p < 0,05$ innerhalb Standort und Jahr.

5 Literaturangaben

- Markwell, J., J.C. Osterman & J.L. Mitchell, 1995: Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynthesis research* 46: 467–472.
- Thilakarathna, M.S. & M.N. Raizada, 2017: A meta-analysis of the effectiveness of diverse rhizobia inoculants on soybean traits under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 105: 177–196.
- Wächter, K., S. Gruber & W. Claupein, 2013: Unterscheidet sich das Inokulationsergebnis verschiedener Impfmittel bei Soja. *Journal für Kulturpflanzen* 65: 401–410.
- Zimmer, S., M. Messmer, T. Haase, H.-P. Piepho, A. Mindermann, H. Schulz, A. Habekuß, F. Ordon, K.-P. Wilbois & J. Heß, 2016: Effects of soybean variety and Bradyrhizobium strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. *European Journal of Agronomy* 72: 38–46.

Wie hat sich die Nährstoffaufnahme von Zuckerrüben bei gestiegenen Erträgen geändert?

K. Bürcky¹, J. Heyn², D. Horn³, D. Koch²

¹Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau, Ochsenfurt, ²Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel, ³EUF-Arbeitsgemeinschaft zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und Bodengesundheit, Ochsenfurt

1 Einleitung

Der Rübenenertrag und bereinigte Zuckerertrag (BZE) ist in den letzten 20 Jahren europaweit erheblich angestiegen (Jaggard et al., 2012). Der Anstieg im Rübenenertrag und bereinigten Zuckerertrag (BZE) betrug mehr als 30 %, wie auch Ertragsdaten der Südzucker AG belegen (Abb. 1). Gleichzeitig wurden die Gehalte der Melasse bildenden Inhaltsstoffe Kalium, Natrium und α -Amino-N in den Rüben beträchtlich reduziert.

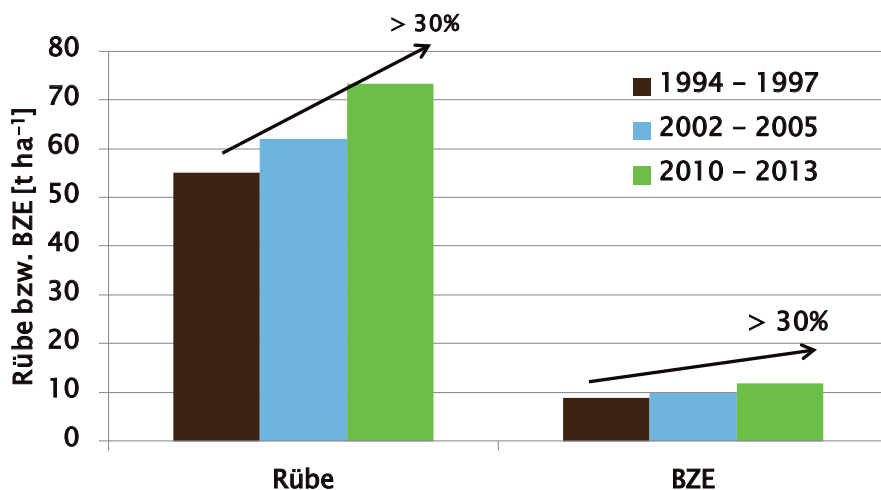


Abb. 1: Entwicklung des Rübenenertrags und bereinigter Zuckerertrag (BZE), (jeweils 4-jähriges Mittel Südzucker AG)

Offen blieb die Frage, inwieweit sich die heutigen Ergebnisse zum Nährstoffexport von jenen in den letzten 20 Jahren unterscheiden. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der zwischenzeitlich beträchtlich angestiegenen Erträge von

Interesse, die vermuten lassen, dass heute der Nährstoffexport mit der Abfuhr der Rüben höher ist als früher. Andererseits verbleibt heutzutage das Rübenblatt in den meisten Fällen auf dem Feld, so dass die darin enthaltenen Nährstoffmengen nicht exportiert werden. Es gibt somit keine zusammenfassenden Informationen über die Entwicklung der Nährstoffexporte bei steigendem Ertragsniveau.

2 Material und Methoden

Für den Vergleich der Entwicklung des Nährstoffexports innerhalb der letzten 20 Jahre dienten Feldversuche zur Düngung von Zuckerrüben des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen (LLH), Kassel, sowie aus dem Einzugsgebiet der süddeutschen Zuckerwirtschaft mit insgesamt 606 Umwelten (Standorte; Varianten), davon in den Jahren:

- 1994 bis 1997: 219 LLH Kassel
- 2002 bis 2005: 165 LLH Kassel
- 2010 bis 2013: 222 Süddeutsche Zuckerwirtschaft und LLH Kassel

Die jeweils vierjährig gemittelten Ergebnisse hatten eine große Spannweite an Umwelten, so dass die Entwicklung des Nährstoffexports mit der Rübe in diesem Zeitraum repräsentativ wiedergeben wird.

Bei den Standorten handelte es sich nahezu ausschließlich um typische Lößlehmböden. Die Nährstoffversorgung der Böden entsprach überwiegend der Versorgungsstufe „C“ (anzustreben). Die Düngung wurde nach guter fachlicher Praxis vorgenommen. Für die Versuche zur Optimierung der K-Düngung (Varianten von 0, 150, 300, 600 kg K₂O ha⁻¹) wurden Standorte mit der K-Versorgungsstufe B (niedrig) ausgewählt. Die Stickstoffdüngung wurde in den Stufen 0, 40, 80, 120, 160, 200 kg N ha⁻¹ variiert. Schwefel wurde in Varianten mit 54, 108 kg S ha⁻¹ gedüngt.

Alle Düngevarianten an den verschiedenen Standorten bildeten die „Umwelten“, die für die Auswertung herangezogen wurden.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Stickstoff

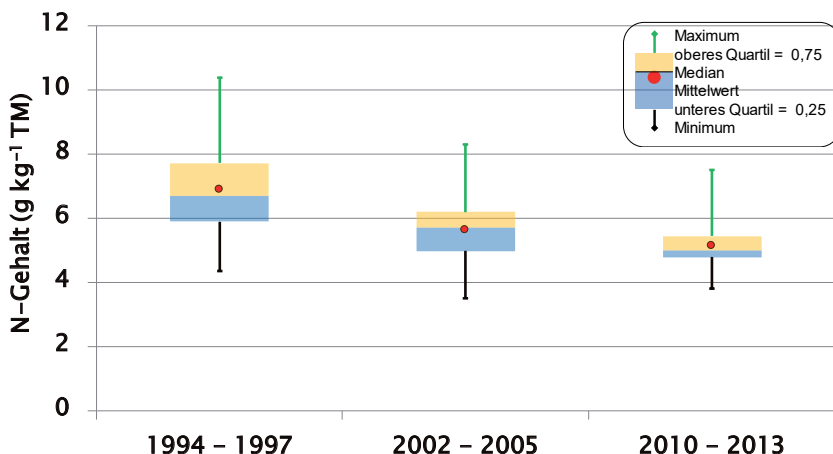


Abb. 2: Entwicklung des Stickstoff-Gehalts in der Rübe (1994-1997: n=219; 2002-2005: n=165; 2010-2013: n=222); Mittelwert, Median, oberes Quantil (0,75), unteres Quantil (0,25), Minimum, Maximum. Düngungsversuche in Süddeutschland.

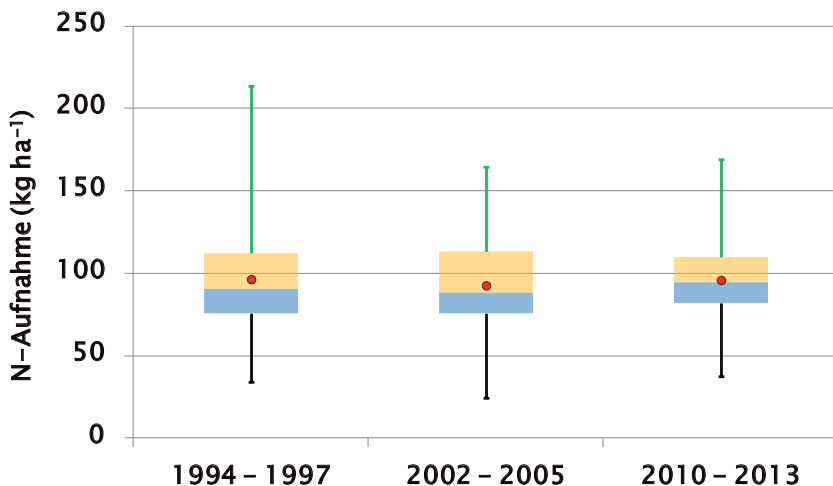


Abb. 3: Entwicklung der Stickstoff-Aufnahme der Rübe (1994-1997: n=219; 2002-2005: n=165; 2010-2013: n=222); Mittelwert, Median, oberes Quantil (0,75), unteres Quantil (0,25), Minimum, Maximum. Düngungsversuche in Süddeutschland.

Die Entwicklung des Stickstoffgehalts der Rübe lässt sich Abbildung 2 entnehmen. Es zeigt sich, dass der mittlere N-Gehalt der Rübe von 6,91 über 5,64 auf 5,14 g kg⁻¹ TM abgenommen hat. Die Abnahme betrug in diesem Zeitraum mehr als 25 %. Die Werte für Minimum und Maximum verdeutlichen die Spannweite der gemessenen Gehalte in den verschiedenen Umwelten.

Aus dem N-Gehalt der Rübe und den Rübenerträgen wurde die N-Aufnahme der Rübe berechnet. Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der N-Aufnahme von 1994-2013. Sie blieb mit 96,3 kg N ha⁻¹ (1994-1997) über 92,6 kg ha⁻¹ (2002-2005) auf 96,8 kg ha⁻¹ (2010-2013) praktisch unverändert.

3.2 Phosphor

Der P-Gehalt der Rübe im Zeitverlauf ist Abbildung 4 zu entnehmen. Der mittlere P-Gehalt nahm von 1,33 g kg⁻¹ TM über 1,11 g kg⁻¹ auf 1,00 g kg⁻¹ TM ab. Die Abnahme betrug in diesem Zeitraum mehr als 30 %. Die Spannweite der gemessenen P-Gehalte war beträchtlich (Abb. 4).

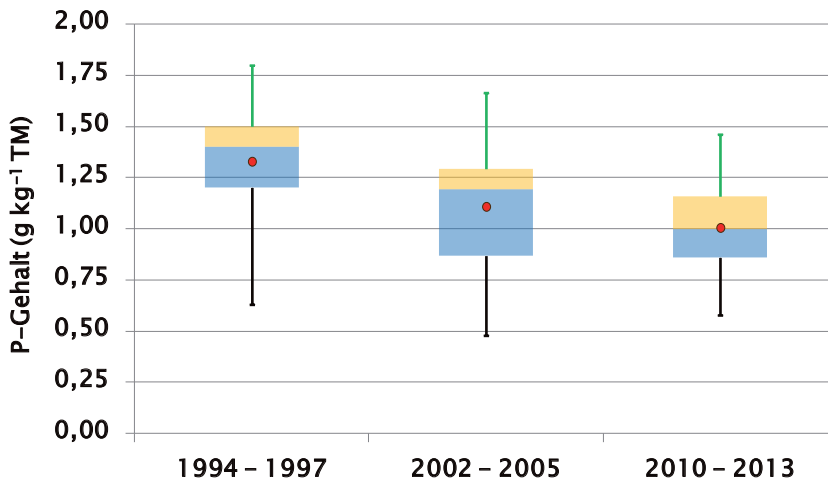


Abb. 4: Entwicklung des Phosphor-Gehalts der Rübe (1994-1997: n=219; 2002-2005: n=165; 2010-2013: n=222); Mittelwert, Median, oberes Quantil (0,75), unteres Quantil (0,25), Minimum, Maximum. Düngungsversuche in Süddeutschland.

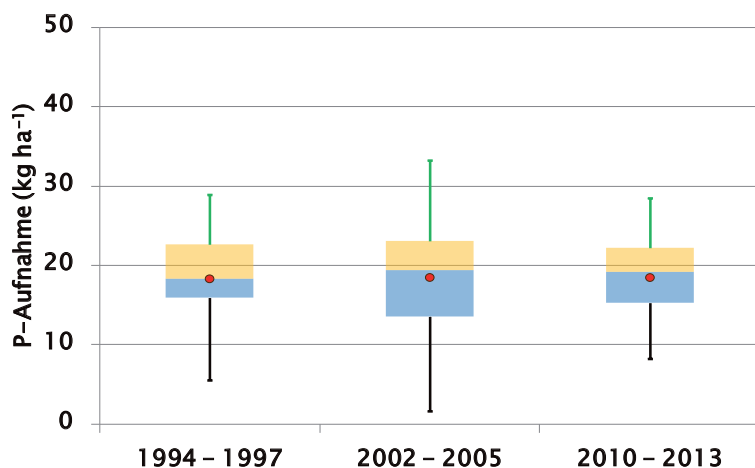


Abb. 5: Entwicklung der Phosphor-Aufnahme der Rübe (1994-1997: n=219; 2002-2005: n=165; 2010-2013: n=222); Mittelwert, Median, oberes Quantil (0,75), unteres Quantil (0,25), Minimum, Maximum. Düngungsversuche in Süddeutschland.

Die P-Aufnahme der Rübe lässt sich Abbildung 5 entnehmen. Es ergab sich in den Jahren 1994 bis 1997 eine mittlere P-Aufnahme der Rübe von $18,4 \text{ kg P ha}^{-1}$. Sie blieb mit einer mittleren P-Aufnahme von $18,5 \text{ kg ha}^{-1}$ in den folgenden Jahren praktisch unverändert.

3.3 Kalium

Abbildung 6 zeigt den K-Gehalt der Rübe im Zeitverlauf. Der mittlere K-Gehalt in der Rübe verminderte sich von $7,5 \text{ g kg}^{-1} \text{ TM}$ über $6,6 \text{ g}$ auf $6,2 \text{ g kg}^{-1} \text{ g kg TM}^{-1}$. Die Abnahme betrug in diesem Zeitraum $17,4\%$.

Die Entwicklung der K-Aufnahme der Rübe zeigt Abbildung 7. Die mittlere K-Aufnahme der Rübe betrug im Mittel der Jahre 1994 bis 1997 105 kg K ha^{-1} und stieg bis 2002 bis 2005 im Mittel unbedeutend auf 107 kg ha^{-1} und bis 2010 bis 2013 geringfügig auf 116 kg ha^{-1} an.

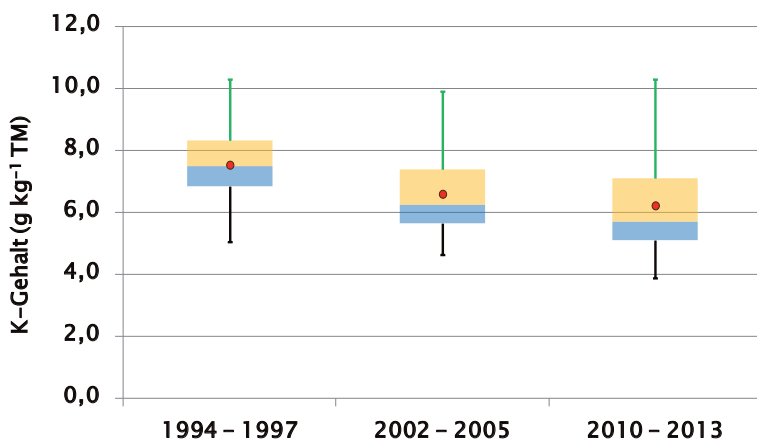


Abb. 6: Entwicklung des Kalium-Gehalts der Rübe (1994-1997: n=219; 2002-2005: n=165; 2010-2013: n=222); Mittelwert, Median, oberes Quantil (0,75), unteres Quantil (0,25), Minimum, Maximum. Düngungsversuche in Süddeutschland.

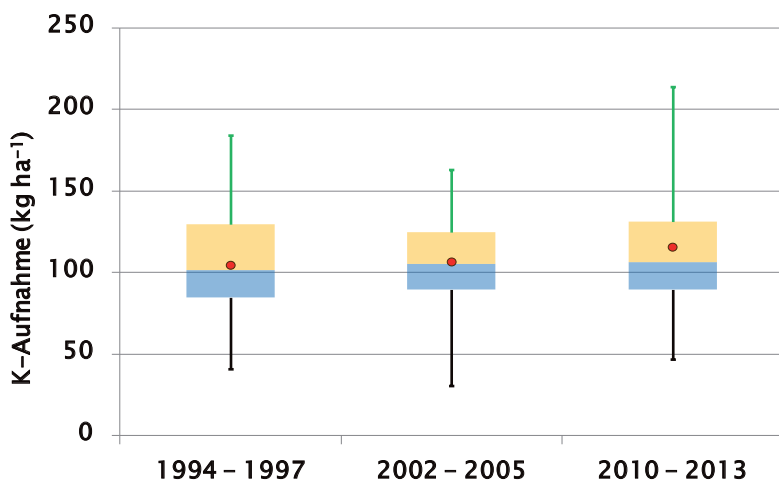


Abb. 7: Entwicklung der Kalium-Aufnahme der Rübe (1994-1997: n=219; 2002-2005: n=165; 2010-2013: n=222); Mittelwert, Median, oberes Quantil (0,75), unteres Quantil (0,25), Minimum, Maximum. Düngungsversuche in Süddeutschland.

3.4 N-Effizienz der Rübe

Aus exportierter N-Menge und dem bereinigten Zuckerertrag wurde die N-Effizienz in kg BZE je kg N berechnet. Es zeigt sich, dass sich die N-Effizienz kontinuierlich verbessert hat. Während im Zeitraum 1994 bis 1997 die N-Effizienz im Mittel noch 96 kg BZE je kg N betrug, lag sie 2010 bis 2013 bei 132 kg BZE je kg N. Relativ gesehen verbesserte sich die N-Effizienz in diesem Zeitraum im Mittel um 38 % (Abb. 8).

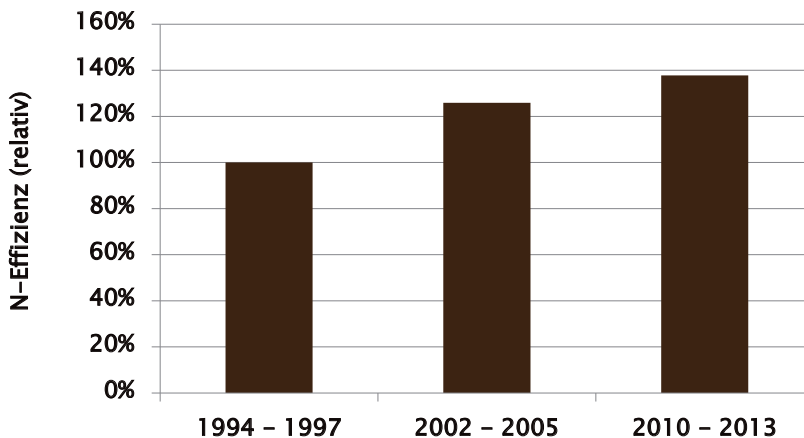


Abb. 8: Entwicklung der N-Effizienz der Rübe (Basis: 1994-1997=100 %; 100 % entspricht 96 kg BZE kg N-1); 1994-1997: n=219; 2002-2005: n=165; 2010-2013: n=222; Düngungsversuche in Süddeutschland.

4 Zusammenfassung und Fazit

Anhand einer langjährigen Untersuchungsreihe wurde die Entwicklung der Nährstoffgehalte und der mit der Zuckerrübe exportierten Nährstoffmengen verfolgt. Grundlage waren dabei zahlreiche Düngungsversuche der Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen und der süddeutschen Zuckerwirtschaft aus den Jahren 1994 bis 2013. Um die Entwicklung aufzuzeigen und gleichzeitig jahresbedingte Schwankungen abzuschwächen, wurden jeweils die Ergebnisse aus vier Versuchsjahren zu Beginn (1994 bis 1997), zur Mitte (2002 bis 2005) und am Ende des Untersuchungszeitraums (2010 bis 2013) zusammengefasst.

Trotz Anstieg des Rübenenertrages innerhalb des Untersuchungszeitraums um 33 % blieb die Nährstoffaufnahme für N, P und K weitgehend konstant. Mit der Rübe werden pro Flächeneinheit praktisch nicht mehr Nährstoffe vom Feld exportiert als vor 20 Jahren. Die Düngung dieser Nährstoffe kann daher weitestgehend unabhängig vom Ertragsniveau erfolgen.

5 Literaturangaben

Jaggard, K.W.; Koch, H.-J.; Arroyo Sanz, J.M.; Cattanach, A.; Duval, R.; Eigner, H.; Legrand, G.; Olsson, R.; Qi, A.; Thomsen, J.N.; Swaaij, N. van; Minerva, N., 2012: The yield gap in some sugar beet producing countries. 73. IIRB-Kongress, 14-15/02/2012, Brussels (B).

MR digital – Überbetrieblicher Einsatz von informationsgestützter Landtechnik

H. Weber¹, W. Leibfried², H. Fetzer³, H. Hengge⁴, H. W. Griepentrog⁵, R. Doluschitz⁶, T. Müller⁷, M. Weis⁸, K. Möller⁸

¹Landesverband d. Maschinenringe in Baden-Württemberg, Stuttgart, ²Güllgemeinschaft Neckar-Odenwald GbR, Höpfingen, ³Maschinenring Ulm-Heidenheim, Langenau, ⁴Maschinenring Tettang, Tettang, ⁵Inst. f. Agrartechnik, Univ. Hohenheim, Stuttgart, ⁶Inst. f. landwirtschaftliche Betriebslehre, Univ. Hohenheim, Stuttgart, ⁷Inst. f. Kulturpflanzenwissenschaften, Univ. Hohenheim, Stuttgart, ⁸LTZ Augustenberg, Ref. f. Pflanzenbau, Rheinstetten-Forchheim

1 Problemstellung

Die Digitalisierung der kleinteiligen und vielfach überbetrieblich mechanisierten Landwirtschaft in Baden-Württemberg stellt besondere organisatorische und wirtschaftliche Herausforderungen. Darüber hinaus muss die durch Naturschutz-, Wasserschutz- und Naherholungsgebiete geprägte baden-württembergische Landwirtschaft angepasste und nachhaltige Lösungen in den Bereichen Wasser- und Klimaschutz sowie Ressourceneffizienz entwickeln, ohne die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe zu gefährden.

Die für alle Betriebe verbindliche Digitalisierung der Schlagdaten in FIONA (**Fl**ächen-**I**nformation und **O**nline-**A**ntrag) schafft eine wertvolle Datengrundlage für den Einstieg in ein überbetriebliches Smart Farming. Voraussetzung ist jedoch, dass die Betriebe einerseits Zugriff auf ergänzende Geobasis- und Geofachdaten bekommen. Andererseits sind standardisierte, herstellerunabhängige Datenschnittstellen und Middleware-Komponenten notwendig, um die Daten aus unterschiedlichen Systemen vereinheitlicht zusammenzuführen. Darauf aufbauend lassen sich Prozessketten digitalisieren und neue Anwendungen entwickeln. Die Wettbewerbsfähigkeit auch von kleinen, innovativen und lokalen Dienstleistern wird so gewährleistet.

Für die in der Regel kleineren Familienbetriebe in Baden-Württemberg ist der Zugang zu Innovationen der informationsbasierten Landwirtschaft meist schwierig:

1. Eine Eigenmechanisierung ist oft unwirtschaftlich, deshalb bietet sich ein überbetrieblicher Einsatz innovativer Land- und Sensortechniken mittels Maschinenringen an.
2. Innovative Organisationsformen zur Unterstützung des betrieblichen Managements und des überbetrieblichen Einsatzes informationsgestützter Landtechnik fehlen bisher.

Das Projekt „MR digital“ soll jeder Betriebsform und insbesondere jedoch den kleinen und mittleren Betrieben in Baden-Württemberg den Zugang zu digitalen Technologien und innovativer Technik im Bereich des Pflanzenbaus ermöglichen. Dabei sollen folgende Innovationen in der Praxis umgesetzt werden:

Aufbau einer informationstechnischen Daten-Infrastruktur zur Bereitstellung geodatengestützter Beratungs- und ggf. Steuerungsinformationen für Maschinen.

- Aufbau einer herstellerunabhängigen Plattform zur Organisation des überbetrieblichen Einsatzes von informationsgestützter Landtechnik am Beispiel von teilflächenspezifischer organischer Düngung (Precision Farming).
- Förderung der dezentralen Datenhaltung in den Betrieben in Verbindung mit einem standardisierten Datenaustausch zur Wahrung der Datenhoheit und der Ausfallsicherheit der Landwirtschaft.
- Weiterentwicklung der (teil-)automatisierten Planung, Steuerung und Dokumentation im Bereich von Sonderkulturen, die von den Entwicklungen der digitalen Technologien bisher wenig profitieren.
- Nutzung der digitalen Plattformen für die regionale Vermarktung und Rückverfolgbarkeit der Produkte um Transparenz und positive Öffentlichkeitswahrnehmung zu stärken.

2 Projektumfang und -ziele

Das Projekt schafft die Grundlagen für eine Digitalisierung von Prozessen in der Landwirtschaft Baden-Württembergs, indem überbetriebliche Kooperationen durch den Austausch, die Kombination und die Wiederverwendung von Datensätzen und Precision Farming Techniken ermöglicht werden. Das herstellerunabhängige Datenmanagement, die Maschinensteuerung und die Dokumentation ermöglichen überbetrieblich organisierte Verfahren, die auch kleinen Betrieben zur Verfügung stehen sollen. Beispiele hierfür sind die Ausbringung von Wirtschafts- und Mineraldünger, eine optimierte Düngeplanung für Präzisi-

onsdüngungen, automatisierte Stoffstrombilanzen oder die präzise Steuerung von Pflanzenschutzapplikationen. Das Projekt stellt benötigte Daten in standardisierter Form zur Verfügung (z. B. Geodaten mit Hilfe einer **Geobox**), so dass durchgängig digitalisierte Prozessketten aufgebaut werden können. Zwei wesentliche Komponenten sind der **Standortpass**, der öffentlich bereitgestellte Geodaten enthält, und der **Feldpass**, der betriebliche Schlagdaten integriert und die eigentliche Grundlage für schlag- und teilschlagspezifische Anwendungen ist. Darüber hinaus muss ein standardisiertes Austauschformat für die Bearbeitung und Dokumentation entwickelt und bereitgestellt werden, das digitalisierte Auftragsvergaben ermöglicht. Mithilfe einer App können die Geodaten auch mobil genutzt werden.

Die Kombination von öffentlichen und privaten Daten in einer sicheren und offenen Umgebung liefert die Basis für die Umsetzung der neuen digitalen Technologien. Ferner hilft dies auch kleineren Betrieben in Baden-Württemberg, die betrieblichen Kosten zu senken. Im Fokus steht ferner Ressourcen zu schonen, Umweltrisiken zu reduzieren (Nitrateintrag in Oberflächengewässer), Cross-Compliance-Ziele umzusetzen, die Großgerätesteuerung zu vereinfachen und insgesamt das Betriebsmanagement durch eine gezielte Entscheidungsunterstützung zu optimieren.

Dabei wird die digitale Arbeitsfähigkeit auch ohne betrieblich externe Datenverbindung gegeben sein, um die Aufrechterhaltung der landwirtschaftlichen Produktion bei Netzausfall in Krisenfällen sicher zu stellen.

3 Arbeitspakete

Das Projekt ist in fünf Arbeitspakete (AP) aufgeteilt (Abb. 1):

- AP 1: Koordination, Bedarfs- und Systemanalyse
- AP 2: Anforderungen an die Düngung
- AP 3: Infrastruktur Land- und Informationstechnik
- AP 4: Smart Services - Anwendung der Prozessoptimierungen
- AP 5: Ökonomie, Organisatorische Vorteile, Agrarstruktur, Nutzen

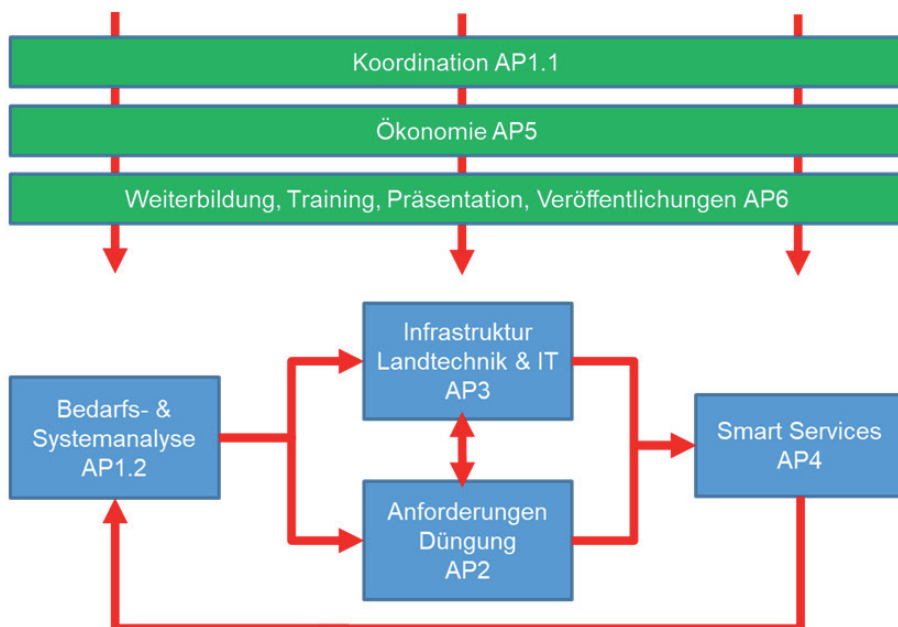


Abb. 1: Arbeitspakete und Projektstruktur

4 Erwartete Ergebnisse

Technik: Zugang zu digitalen Technologien für jede Betriebsgröße durch Entwicklung digitaler Prozesse für überbetriebliche Kooperationen.

Pflanzenbau: Effizienzsteigerung durch genaue Erfassung und gezielte Zusammenführung von Daten. Höhere Qualität und geringerer Aufwand bei gleichen oder höheren Erträgen.

Umwelt: Ressourcen und Gewässerschutz durch informationsgestützte Maschinensteuerung (reduzierte Aufwandmengen, zielgenaue Ausbringung, energieeffiziente Verfahren)

Ökonomie: Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit (z.B. durch schnellere Kompensation von Investitionskosten, effizienterer Einsatz von Produktionsmitteln, ...).

Resilienz und Sicherheit: Aufbau einer dezentralen, herstellerunabhängigen Infrastruktur.

5 Projektrahmen

„MR digital – Überbetrieblicher Einsatz von informationsgestützter Landtechnik“ ist ein Projekt im Rahmen der Fördermaßnahme Europäische Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI) mit einer Laufzeit von 2018 bis 2022. Die Projektkoordination liegt beim Landesverband der Maschinenringe in Baden-Württemberg e. V.. Weitere Projektpartner sind die Güllegemeinschaft Neckar Odenwald GbR, der Maschinenring Ulm-Heidenheim, der Maschinenring Tettang, die Universität Hohenheim mit den Instituten für Agrartechnik, für landwirtschaftliche Betriebslehre und für Kulturpflanzenwissenschaften sowie das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg mit dem Referat für Pflanzenbau in Rheinstetten-Forchheim.

Bewertung von Extraktionsmethoden zur Bestimmung des Aluminiumgehaltes in Baumschulböden am Beispiel von *Abies nordmanniana*

F. Meints¹, D. Daum¹, H. Lösing²

¹Hochschule Osnabrück, ²Versuchs- und Beratungsring für Baumschulen Schleswig-Holstein e. V.

1 Einleitung

Aluminium kann bei hoher Verfügbarkeit im Boden das Pflanzenwachstum beeinträchtigen. Üblicherweise ist diese Problematik nur in stark sauren Böden anzutreffen (Amelung et al., 2018). Bei Analysen zur Nährstoffversorgung von Baumschulböden mittels der CAT-Methode (VDLUFA, 1997) wurden allerdings als Nebenbefund an zahlreichen Standorten relativ hohe Aluminiumgehalte festgestellt. Ob das hier erfasste Aluminium pflanzenbaulich relevant ist, sollte im Rahmen dieser Untersuchung an Nordmannstannen (*Abies nordmanniana*) geprüft werden. Gelöste Aluminium-Ionen interagieren im Boden mit anderen Kationen. So können Magnesium- und Calcium-Ionen im Austausch gegen das höherwertige Aluminium-Ion von den Bodenpartikeln desorbiert werden und unterliegen dann verstärkt der Auswaschung. In der Folge kann es zu entsprechenden Mangelerscheinungen an Pflanzen kommen (Amelung et al., 2018, Hawkesford et al., 2012). Bei der Bearbeitung von Fragenstellungen zu Aluminiumüberschuss ist es daher sinnvoll, die Nährstoffe Magnesium und Calcium mit einzubeziehen.

2 Material und Methoden

In die Erhebungsuntersuchung wurden 10 Baumschulflächen aus dem Raum Pinneberg einbezogen, die mit Nordmannstannen im 5. Standjahr bepflanzt waren. Die Koniferen wuchsen vorwiegend auf schwach lehmigen Sandböden, deren pH-Wert zwischen 3,8 und 5,8 lag. Die durchgeführten Boden- und Pflanzenanalysen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Bestimmung der Elemente in den Extraktions- bzw. Aufschlusslösungen erfolgte mittels induktiv gekoppelter Plasma-Atomemissionsspektrometrie (DIN EN ISO 11885, 2009).

Tab. 1: Übersicht zu den durchgeführten Boden- und Pflanzenuntersuchungen an 10 Baumschulstandorten (Probenahmen: Mai 2017)

Untersuchung	Parameter	Extraktions- und Aufschlussmethoden
Bodenanalysen	Al-, Mg- und Ca-Gehalt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CaCl₂ nach VDLUFA (1997), Methode A 6.2.4.1 ▪ CAT nach VDLUFA (1997), Methode A 6.4.1 ▪ KCl nach Pansu und Gautheyrou (2006) ▪ NH₄NO₃ nach DIN ISO 19730 (2009) ▪ Königswasseraufschluss nach DIN EN 13657 (2003)
Pflanzenanalysen	Al-, Mg- und Ca-Gehalt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trockene Veraschung nach Miller (1998)

Da beim Anbau von Nordmannstannen immer wieder Probleme mit Nadelbräune auftreten, wurde dieses bislang noch ungeklärte Schadsymptom bei der Bonitur der Bäume berücksichtigt. Des Weiteren wurde die Länge des einjährigen Terminaltriebs als Maß für das Triebwachstum der Bäume erfasst.

3 Ergebnisse und Diskussion

Der Aluminiumgehalt im Boden stieg mit sinkendem pH-Wert exponentiell an. Besonders eng war diese Beziehung, wenn die Bodenproben mit Kaliumchlorid und Calciumchlorid (Abb. 1) extrahiert wurden. Bei den anderen geprüften Extraktions- bzw. Aufschlussmethoden zeichnete sich hingegen nur ein schwacher oder kein Zusammenhang zwischen dem pH-Wert und dem Aluminiumgehalt im Boden ab (Tab. 2). Auffällig war außerdem, dass die Höhe des gemessenen Aluminiumgehaltes stark von der Extraktionsmethode beeinflusst wurde. Die mit der CAT-Methode bestimmten Aluminiumgehalte lagen erheblich über den Werten der anderen Extraktionsverfahren. Bei der Bewertung des Aluminiumgehaltes im Boden müssen diese Unterschiede berücksichtigt werden.

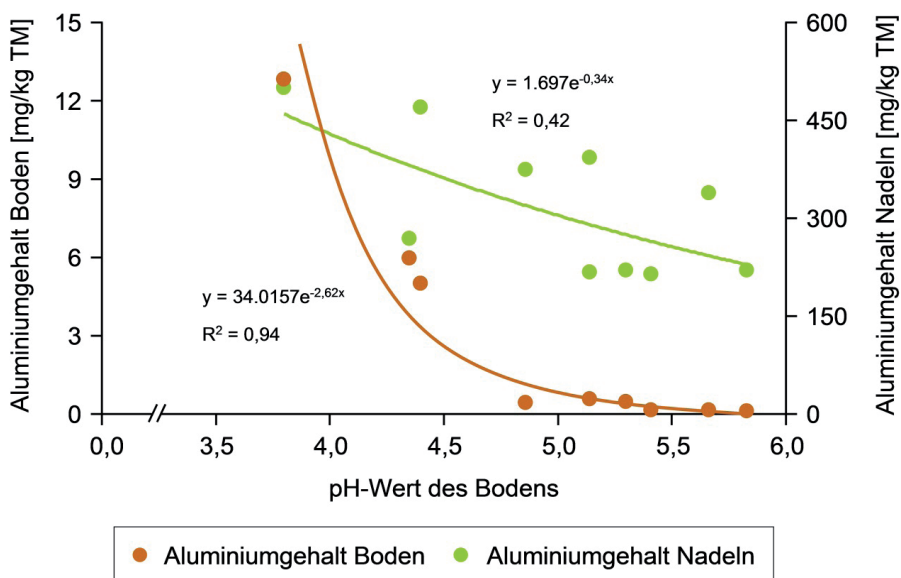


Abb. 1: Einfluss des pH-Wertes im Boden auf den Aluminiumgehalt im Boden (CaCl₂-Extraktion) und in den Nadeln (n=10)

Tab.2: Einfluss der Extraktions- bzw. Aufschlussmethoden auf die Aluminium- und Magnesiumgehalte im Boden und deren Beziehung zum pH-Wert des Bodens (n=10)

Extraktions- bzw. Aufschluss- methode	Aluminiumgehalt im Boden		Magnesiumgehalt im Boden	
	Schwankungs- bereich [mg/kg]	Beziehung zum pH-Wert (R ²)	Schwankungs- bereich [mg/kg]	Beziehung zum pH-Wert (R ²)
CaCl ₂	0,1-13	0,94	26-79	0,47
CAT	117-343	0,39	27-81	0,42
KCl	0,4-80	0,98	29-68	0,46
NH ₄ NO ₃	0,9-2,3	0,10	23-68	0,47
Königs- wasser	7350-16136	0,00	750-1651	0,01

Auf den Aluminiumgehalt der Nadeln hatte der pH-Wert des Bodens nur einen relativ geringen Einfluss (Abb. 1). Des Weiteren konnte nur ein schwacher Zusammenhang zwischen den Aluminiumgehalten in Boden und Nadeln festgestellt werden ($R^2 \leq 0,42$). Offensichtlich verfügen Nordmannstannen über Mechanismen, die bewirken, dass Aluminium auch bei hoher Verfügbarkeit im Boden nur begrenzt aufgenommen oder in den Wurzeln festgelegt wird. Entsprechende Anpassungsstrategien sind von anderen Pflanzenarten bekannt, die bevorzugt saure Standorte besiedeln (Marschner, 1991; Ryan und Delhaize, 2012).

Selbst auf dem Boden mit dem niedrigsten pH-Wert und dem höchsten Aluminiumgehalt blieben die Nadeln der Nordmannstannen vital (Abb. 2). Nadelbräune konnte in keinem der untersuchten Baumbestände beobachtet werden. Auch das Triebwachstum der Bäume stand in keinem Zusammenhang zu den Aluminiumgehalten in Boden und Nadeln (Ergebnisse nicht dargestellt).



Abb.2: Gesunde Nordmannstannen im 5. Standjahr auf einem lehmigen Sandboden mit einem pH-Wert von 3,8

Die Magnesium- und Calciumgehalte nahmen im Boden mit sinkendem pH-Wert ab. Bei Magnesium war dieser Zusammenhang jedoch unabhängig von den verwendeten Extraktionsmethoden nur relativ schwach ausgeprägt (Tab. 2). Andere Faktoren wie z. B. eine vorausgehende Magnesiumdüngung dürften hier das Ergebnis beeinflusst haben. Die im Boden gemessenen Magnesiumgehalte lagen unabhängig von der verwendeten Extraktionsmethode in einem ähnlichen Bereich und waren überwiegend der Gehaltsklasse C (40-70 mg/kg Boden für lehmige Sandböden) zuzuordnen (LWK Niedersachsen, 2018).

Auf den Magnesiumgehalt der Nadeln hatte der pH-Wert des Bodens keinen Einfluss (Ergebnisse nicht dargestellt). Allerdings zeichnete sich ein Zusammenhang zwischen dem Magnesiumgehalt der Nadeln und dem Triebwachstum der Nordmannstannen ab. Bei Unterschreitung eines Magnesiumgehaltes von etwa 0,7 g/kg in der Nadeln trocknenmasse war die Länge des Terminaltriebes reduziert (Abb. 3). Magnesium ist ein essentieller Bestandteil des Chlorophyllmoleküls. Eine unzureichende Versorgung mit diesem Nährstoff beeinträchtigt daher die Photosynthese in den grünen Pflanzenteilen (Hawkesford et al., 2012). Visuell erkennbare Nadelchlorosen traten aber in keinem der untersuchten Baumbestände auf.

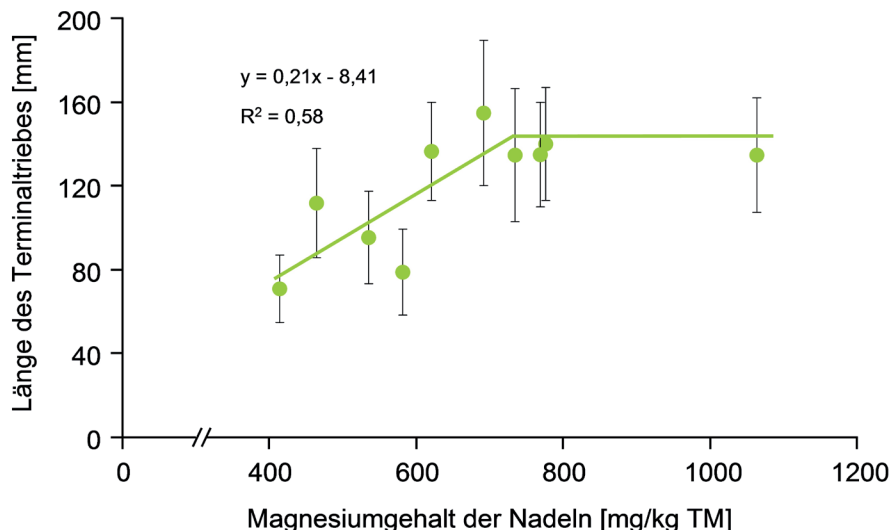


Abb. 3: Einfluss des Magnesiumgehaltes in den Nadeln auf das Triebwachstum der Nordmannstannen (MW \pm SD, n=100 je Standort)

Die Calciumgehalte in den Nadeln lagen an den meisten Standorten auf einem ähnlichen Niveau (Ergebnisse nicht dargestellt), obwohl sich die Calciumgehalte im Boden in Abhängigkeit vom pH-Wert deutlich unterschieden (KCl-Extraktion: 161 mg/kg bei pH 3,8 und 1 568 mg/kg bei pH 5,8). Ein Einfluss des Calciumgehaltes in den Nadeln auf das Triebwachstum der Bäume war dementsprechend nicht feststellbar.

4 Schlussfolgerungen

Unsere bisherigen Untersuchungen ergaben keine Hinweise darauf, dass hohe Aluminiumgehalte im Boden Nordmannstannen unmittelbar schädigen. Dennoch ist es ratsam, darauf zu achten, dass der pH-Wert im Boden nicht unter 5,0 sinkt, um einer Beeinträchtigung des Triebwachstums durch Magnesiummangel vorzubeugen. In stark sauren Böden unterliegt dieser Nährstoff verstärkt der Auswaschung. Außerdem kann die Magnesium- und Calciumaufnahme der Wurzeln durch eine hohe Aluminiumkonzentration in der Bodenlösung gehemmt werden.

Der Aluminiumgehalt in den Nadeln der Koniferen ließ sich mit den geprüften Bodenanalysen nur mäßig abschätzen. Am besten schnitten hier noch die Extraktion mit Kaliumchlorid und Calciumchlorid ab ($R^2=0,42$ bzw. $0,41$). Der pH-Wertes des Bodens hatte eine vergleichbare Prognosekraft für den Aluminiumgehalt der Nadeln ($R^2=0,42$). Die CAT-Methode ließ keine Rückschlüsse auf die Aluminiumgehalte in den Nadeln zu ($R^2=0,14$). Bei diesem für Nährstoffuntersuchungen etablierten Verfahren (VDLUFA, 1997) wird offensichtlich deutlich mehr Aluminium aus dem Boden extrahiert, als tatsächlich pflanzenverfügbar ist. Dies dürfte auf den Chelator DTPA zurückzuführen sein, der in dem CAT-Extraktionsmittel enthalten ist und Aluminium in wasserlösliche Komplexe überführen kann (Jones, 1960). Die CAT-Methode kommt daher für eine Bewertung des Aluminiumgehaltes im Boden auf Basis bestehender Richtwerte nicht in Betracht.

Um zu klären, ob Aluminiumüberschuss, Magnesiummangel oder andere Ernährungsstörungen zum Auftreten der Nadelbräune an Nordmannstannen beitragen können, sind weitere Untersuchungen erforderlich. Dabei wäre es aufschlussreich, zunächst an mehreren betroffenen Standorten geschädigte und gesunde Bäume hinsichtlich ihrer Mineralstoffzusammensetzung zu ver-

gleichen. Wenn sich hier Auffälligkeiten abzeichnen, sollten diese Zusammenhänge nachfolgend in Düngungsversuchen näher geprüft werden.

5 Literaturangaben

- Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knaber, I., Kretschmar, R., Stahr, R., Wilke, B.-M., 2018: Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. 17. Aufl., Springer Spektrum, Berlin.
- DIN EN ISO 11885, 2009: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES).
- DIN EN 13657, 2003: Charakterisierung von Abfällen – Aufschluss zur anschließenden Bestimmung des in Königswasser löslichen Anteils an Elementen in Abfällen.
- DIN ISO 19730, 2009: Bodenbeschaffenheit – Extraktion von Spurenelementen aus Böden mit Ammoniumnitratlösung.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Møller, I., White, P., 2012: Functions of macronutrients. In: Marschner, P., Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3. Aufl., S. 135-190, Elsevier, Amsterdam.
- Jones, L.H., 1960: Aluminium uptake and toxicity in plants. *Plant Soil* 13, 297-310.
- Landwirtschaftskammer (LWK) Niedersachsen, 2018: Empfehlungen zur Grunddüngung, 8 S., Hannover, <https://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/22858.html>, Zugriff am 12.10.2018.
- Marschner, H., 1991: Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant Soil*, 134, 1-20.
- Miller, R.O., 1998: Extractable chloride, nitrate, orthophosphate, potassium, and sulfate-sulfur in plant tissue: 2% acetic acid extraction. In: Kalra, Y. P. (Hrsg.), *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*, S. 121-124, CRC Press, Boca Raton.
- Pansu, M., Gautheryou, J., 2006: *Handbook of Soil Analysis – Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*, S. 677-686, Springer Science & Business Media, Heidelberg.
- Ryan, P.R., Delhaize, E., 2012: Plant adaptations to aluminium toxicity. In: Shabala, S. (Hrsg.), *Plant stress physiology*, S. 171-193, CABI, Wallingford.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1997: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I. Die Untersuchung von Böden, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Silizium in der Biosphäre

M. Sager

Bioforschung Austria, Wien

1 Einleitung

Silikate sind ein Hauptbestandteil der Erdkruste, jedoch gibt es über Vorkommen und Metabolismus von Silikaten in der Biosphäre verhältnismäßig wenige Daten. Diese Übersicht behandelt vor allem das Vorkommen löslicher Kieselsäure und die biogen daraus entstandenen Festkörper. Da nur lösliche Kieselsäure von Organismen primär verwertet werden kann, können die vielen Arbeiten, die sich mit silikatischen Mineralen und deren Verwitterungsprodukten befassen, nicht berücksichtigt werden. Vorkommen und Metabolismus von Silikonen sind in den vorliegenden Daten des Autors infolge Messung mit ICP-OES inkludiert.

Da über die Ökologie des Silikats in der gemäßigten Zone (im Gegensatz zu tropischen Böden) noch wenig geforscht wurde, werden in dieser Arbeit, ausgehend von Problemen der Analytik, die Daten des Autors im Zusammenhang mit bestehendem Wissen zusammengefasst.

2 Kieselsäure in Gewässern

Für wenig gealterte und daher aktive amorphe Kieselsäure beträgt das Lösungsgleichgewicht im neutralen und schwach alkalischen Bereich bei 20-25°C 50-65 mg/l Si. Es wird von anderen Ionen kaum beeinflusst. Hingegen beträgt die Löslichkeit von Quarz nur 3-5 mg/l, und die Gleichgewichts-löslichkeit über Silikatmineralen im Grundwasser beträgt 4,2-5,1 mg/l. Die Oberflächenwässer sind großteils in bezug auf amorphe Kieselsäure untersättigt, aber etwa konstant (Tessenow, 1966; Borelli et al., 2010).

In Gewässern wird lösliche Kieselsäure vor allem von Diatomeen aufgenommen, ist aber auch für das Wachstum anderer aquatischer Organismen essentiell. Der Eintrag erfolgt durch die Zersetzung von Diatomeen, Wasserpflanzen und der Verwitterung von Silikaten im Einzugsgebiet (Raimonet et al., 2013). Für die Weltmeere ist der Eintrag von löslichem Silikat durch die Flüsse wesentlich.

In Flusstauen steigt die Retention von löslichem Silikat mit der Verweilzeit, bei Verweilzeiten länger als 6 Monaten gibt es jedoch keinen Trend (Ma et al., 2018). Die Größe von Kieselalgen (Diatomeen) bewegt sich im Bereich 10-100 μm , im Median etwa 40 μm . Sterben die Zellen, so sinken sie auf den Grund des Gewässers ab, die organischen Bestandteile werden abgebaut und die Schalen bilden Kieselgur (Diatomeenerde) (Tessenow, 1966).

3 Mobiles Silikat in Böden

Die Adsorption von Monokieselsäure in Böden steigt mit steigendem pH und steigendem Gehalt an pedogenen Oxiden. (Georgiadis et al., 2013) Die Si-Konzentration in Bodenperkolaten ist im Bereich von pH 3–8,5 nicht vom pH oder der elektrischen Leitfähigkeit abhängig. Durch Lösen der pedogenen Oxide beim Senken des Redoxpotentials wird die Löslichkeit des Silikats erhöht. Kalk vermag in alkalischer Lösung etwas Kieselsäure zu adsorbieren (Tessenow, 1966), was die Silikatlöslichkeit mit steigendem austauschbarem Ca unterdrückt (Anggria et al., 2016). Smektit adsorbiert bei weitem am meisten die Kieselsäure aus Lösung, und Torf am wenigsten.

In der Literatur findet man 0,01M CaCl_2 , Na-Acetat, Na_2CO_3 , oder 0,01M Essigsäure zur Ermittlung mobiler Bodenfraktionen. Der Wiedererhalt von an Tonmineralen adsorbierter löslicher Kieselsäure in 0,01M Essigsäure war 20-30 %, und etwas höher in Phosphat- oder Citratpuffer. Auch lösliche Komplexe zwischen organischen Verbindungen und Kieselsäure wurden nachgewiesen (Georgiadis et al., 2013).

Um die Abstufung der Löslichkeiten von Silikat zu veranschaulichen, wurde ein sequentielles Löseverfahren für Böden entwickelt und durch Desorption von an den Testsubstanzen Smektit, Kaolin, Goethit, Gibbsit, Silikagel und Torf adsorbierter Mono-Kieselsäure erprobt (Georgiadis et al., 2013). Mit 0,01M- CaCl_2 als ähnlich der Bodenlösung wurde die Maximalkonzentration im Extrakt erst nach 3 Tagen erreicht, es korrelierte nicht mit dem Boden-pH oder organischem Kohlenstoff (Georgiadis et al., 2013; Korndörfer et al., 1999). Der beste Wiedererhalt von adsorbierter Kieselsäure an Smektit, Kaolin, Goethit, Gibbsit, Silikagel und Torf, wurde aus 0,01M Essigsäure erhalten, während Phosphat und Citrat zum Teil Si auch zusätzlich aus Tonmineralen lösten. Oxalatpuffer pH3 löste Si aus Silikagel in der Kälte nicht, setzt aber Si aus den pedogenen Oxiden frei; diese

Extraktion wird bei Raumtemperatur und Tageslicht empfohlen. Aus dem Rückstand wurden Bio-Opale durch Schwereretrennung mit Na-Wolframat isoliert und mit 0,2M NaOH gelöst (Georgiadis et al., 2013).

Aus Gründen der leichten Messbarkeit sämtlicher anderer Kationen und Anionen mit ICP-OES wird eine Extraktion mit 0,16M Essigsäure, gefolgt von 0,1M Oxalatpuffer pH3 vorgeschlagen, um austauschbare und eisenoxidgebundene Kieselsäure zu detektieren, und Ergebnisse an Hand von Oberböden unter Apfelkulturen aus Österreich präsentiert. Im Vergleich mit mobilen Fraktionen anderer Nichtmetalle lag Si etwa so hoch wie P, und höher als S, B oder As (Tab. 1) (Sager, 2014B; Sager, 2016C).

4 Phytolite

Silikat wird von Pflanzenwurzeln nur als Mono-Kieselsäure aufgenommen. Viele höhere Pflanzen extrahieren Mono-Kieselsäure aus dem Boden durch ihre Wurzeln und fällen sie als amorpher Kiesel in Form von Phytolyten an den Zellwänden, oder es bilden sich bei Wassermangel Fällungen innerhalb der Zellen. Besonders erdgeschichtlich alte Pflanzen (Schachtelhalme, Farne) reichern Silikat oft stark an. Durch sekundäre Einwanderung von Kieselsäure ist der Gesamtsilikatgehalt von Kohlen mit 0,04-2,20 % (Median 0,63 %) sehr variabel und lässt nicht auf die ursprünglichen Pflanzen schließen (Valkovic, 1983). In in Österreich beprobten Ligniten wurde SiO_2 im Median zu 2,07 % (Bereich 0,13-7,27%) gefunden (Augustin-Gyurits, 1989).

Bei Laubfall oder sonstigen Zersetzungsprozessen gelangen die in den Pflanzen gebildeten Phytolite wieder in den Boden. Nach dem Verwittern abgestorbener Pflanzenteile sind diese Präzipitate löslicher als die silikatischen Primärminerale, sie können aber auch Sekundärminerale bilden, wie Tone oder Allophane, verlagert werden, oder sich im Grundwasser lösen. Während in tropischen Böden die Phytolite in 6-18 Monaten umgesetzt werden, dauert dies im semiariden Grasland wegen mangelnder Wasserverfügbarkeit etwa 250-1300 Jahre (Borelli et al., 2010; Crusciol et al., 2018).

5 Silizium und Höhere Pflanzen

Lösliche Kieselsäure ist essentiell für Diatomeen (Kieselalgen), welche ihr Skelett daraus aufbauen. Ob Silikat für Höhere Pflanzen und Tiere essentiell ist, ist in Diskussion. Einerseits kann Wachstum auch ohne Silikat stattfinden, eine gewisse Menge ist aber zur Härtung von Halmen, Stämmen oder Knochen vorteilhaft. In Blätter, besonders von Gräsern, wird Silikat in den Zellwänden als Strukturelement und Fraßschutz abgelagert und als Phytolit bezeichnet (siehe Abschnitt 4). Mangelercheinungen wirken sich auf Wachstum, Entwicklung oder Reproduktion aus (Ma, 2004).

Da diese Phytolite härter als Zahnschmelz sind, sind grasfressende Säugetiere mit kontinuierlich nachwachsenden Zähnen ausgestattet.

Besonders Gräser (Getreide, Miscanthus u. a.; Reis, Zuckerrohr) nehmen Silikat (als Mono-Kieselsäure $\text{Si}(\text{OH})_4$) auf. Bei Silikatmangel führt Silikatdüngung zu erhöhten Erträgen. Si schützt z. B. vor Pilzbefall, wie der Blattbräune bei Reis, oder Mehltau bei Gurken, Erdbeeren, Gerste oder Weizen. Bei Gurken, Zuckermelonen und Wein wurden auch erfolgreiche Blattdüngungen durchgeführt (Ma, 2004).

Si unterdrückt den Befall von Insekten, Spinnen und Milben. Die erhöhte Resistenz durch eingelagertes Silikat bewirkt eine physikalische Barriere gegen das Eindringen und den folgenden enzymatischen Abbau durch Pilzpathogene. Si schützt auch die Pflanze gegen Austrocknung, Hitze und Kälte, es vermindert z. B. die Transpiration von Reis bis zu 30 % (Ma, 2004).

Si erhöht die Oxidationskraft der Wurzeln und vermindert so die Aufnahme von Mn und Fe. Es wirkt gegen Al-Toxizität durch Bildung löslicher Al-Si Komplexe oder Mitfällungen von Al mit Si innerhalb der Pflanze, was zum Sinken der Konzentration an freien Al^{3+} führt (Ma, 2004).

6 Silikatdüngung und Pflanzenbau

6.1 Silikatische Düngemittel

In Brasilien wird CaSiO_3 (Wollastonit) als Produkt der Firma Ipiranga Quimica de Sao Paulo (Vansil, EW-20) mit 51,9 % SiO_2 statt Kalk angewendet. Daten von Silikatkonzentrationen in heimischen Düngemitteln liegen nicht vor.

Si kann die Verfügbarkeit von P aus Böden nicht direkt erhöhen oder P verdrängen, jedoch die Aufnahme von Fe und Mn senken und so die interne Verfügbarkeit von P innerhalb der Pflanze erhöhen, was z. B. zu erhöhtem Ertrag bei Gerste bei P-Mangel führt. Zu hohe P-Aufnahme bei P-Überschuss im Boden wird durch Si-Ablagerungen in der Endodermis der Wurzel und durch verminderte Transpiration verhindert. Verminderte Transpiration erhöht auch die Al-Toleranz durch verminderte Na-Aufnahme (Ma, 2004).

6.2 Reis und mobiles Si

Die Reispflanze kann bis zu 10 % Si im Spross anreichern, was Stärke und Robustheit der Gewebe, und Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten und Insekten erhöht. Mit dem Wachstum nimmt Si ständig zu und sollte 51g/kg beim Ausreifen erreichen, was nach Düngung mit silikatischem Dünger auch erreicht wurde (Makabe-Sasaki et al., 2014).

Da beim intensiven Reisbau die Si-aufnahme in die Reispflanze durch Düngung kompensiert werden muss, um maximale Erträge zu erreichen, wurde die Mobilisierung von Silikat aus Stahlschlacke, Reisspelzenkohle, Reisstrohkompst, Reisspelzenasche, Pilzsubstrat, Kakaoschalenkohle und Elefantengras während der Flutungsperiode untersucht. Die Löslichkeit des Silikats wurde durch Senken des Redoxpotentials erhöht und durch austauschbares Ca unterdrückt. Davon hatten Stahlschlacke und Reisstroh das höchste Düngepotential (Anggria et al., 2016)

In Reis- und Zuckerrohrfeldern sollten die Pflanzen auf Silikatdüngung reagieren, wenn das mit 0,01M CaCl_2 extrahierbare Si unter 43 mg/kg liegt (Crooks und Prentice 2017). Mit Na-Acetat extrahierbares Silikat, definiert als pflanzenverfügbar, war in den jungen Böden der Philippinen signifikant mehr vorhanden als in den älteren Böden Vietnams. Düngung mit Silikagel erhöhte sowohl lösliches Silikat im Boden wie auch in daraufwachsenden Reispflanzen (Marxen et. al., 2014).

Gemahlene Ca-Mg-Silikat aus Hochofenschlacke enthält 30 % an in 0,5M HCl und 6,8 % in Wasser löslichem Silikat und eignet sich als Düngemittel für Reis in Japan. Beim Lösen erhöhten sich Boden-pH und Ca in der Bodenlösung, und gelöstes Silikat wurde jedoch wieder in wechselndem Ausmass an Fe-Al-Mn-Hydroxiden sorbiert, bestimmt als oxalatlöslich, wobei Fe die dominierende

Komponente war. Die Lösegeschwindigkeit nahm bis zum 22. Tag ab und erreichte dann einen konstanten Wert (Makabe-Sasaki et al., 2013). In gefluteten Reisfeldern auf 9 verschiedenen Böden löste sich in 71 Tagen 42 -189 mg/kg mehr Si bei Düngung als ohne. Obwohl sich durch diese Düngung die Silikatkonzentration in den Pflanzen signifikant erhöhte, war die Aufnahme aus der Schlacke im Vergleich mit der Aufnahme aus dem Boden und dem Beregnungswasser gering (a-Sasaki et al., 2014).

Bei einer flächendeckenden Untersuchung von mobilisierbarem Silizium in 180 Reis- und Hügelböden in Japan (0-15 cm) wurden mit 0,02M Phosphatpuffer pH 6,9 im Median 48,8 mg/kg, und mit 0,1M Acetatpuffer pH 4,0 im Median 79,7 mg/kg an Si gelöst. Mobiles Silikat schwankte über weite Bereiche, mit Phosphat von 7,8-182 mg/kg, und mit Acetat 12-729 mg/kg, und es wurde eine log-normale Häufigkeitsverteilung erhalten. Gemessen am Gesamtgehalt von Si waren im Median jedoch nur 0,017 % mit Phosphat und 0,027 % mit Acetat extrahierbar. Die Werte beider Methoden korrelierten signifikant positiv mit Si im Reisstroh, mit dem Boden-pH, mit dem Gesamtkohlenstoff, dem Citrat-Dithionit-extrahierbarem Fe-Al, sowie dem oxalat-extrahierbarem Fe-Al, jedoch negativ mit Gesamt-Silizium. Die höchsten Gehalte an mobilisierbarem Si gab es in Andosolen, die geringsten in Gleyböden (Yanai et al., 2016).

Zur Simulation der Aufnahme von Silikat in Reispflanzen wurden Gefäßversuche mit 4 tropischen sauren Böden Brasiliens angelegt, und der Transfer in die Pflanze mit den Ergebnissen der selektiven Extraktion mit 0,5M Essigsäure, Puffer pH4,0, 0,0025M CaCl_2 und Wasser verglichen (Korndörfer et al., 1999).

6.3 Zuckerrohr und mobiles Si

Zuckerrohr (*Saccharum spp. hybrid*) adsorbiert mehr Silikat als jeden anderen Mineralstoff. Sämtliche mobilen Bodenfraktionen von Si korrelieren mit der Si-Konzentration im Zuckerrohr, sowohl nach 1h Schütteln in der Kälte, als auch nach 15 min kochen mit Mikrowelle (Yadav et al., 2009).

Beim Vergleich der Extrakte von Wasser, 0,01M- CaCl_2 , 0,01M-KCl, Na-Acetatpuffer pH 4,0 und 0,5M Essigsäure aus tropischen Böden korrelierte die kalte Variante etwas besser als die heiße (ausgenommen CaCl_2). CaCl_2 korrelierte am schlechtesten und verdünnte Essigsäure am besten. Bei Extraktion in der

Hitze wurde etwa doppelt so viel Si gelöst als in der Kälte, nur mit Na-Acetatpuffer weniger. In Tonböden korrelierte das mobile Si positiv mit den Fe-Al Oxiden (aus Citrat-Dithionit), hingegen in Schluff- und Sandböden negativ. Der Essigsäureextrakt gibt auch gut die Verfügbarkeit von Si für Reis wider (Crusciol et al., 2018).

6.4 Gewinnung von biogenem Silikat

Zur Gewinnung von biogenem Kiesel aus Biomasse von in Europa anfallendem hochverkieiselt Material aus Miscanthus, Getreiderückstandspellets und Weizenstroh wurde dieses durch langsames Erhitzen auf 600°C verascht, und die Asche mit 5M H₂SO₄ ausgelaugt. So wurden aus den Pellets 91,3 %, aus Weizenstroh 92,8 % und aus Miscanthus 95 % SiO₂ erhalten. Sämtliche Porenformen und Porengrößen sowie die biologische Morphologie bleiben bestehen. Säurebehandlung mit 5M H₂SO₄ oder Zitronensäure vor dem Veraschen erhöhte ebenfalls die Ausbeute an Silikat, das Produkt enthielt aber noch zu 1/3 andere anorganische Anteile. Höheres Erhitzen führt zur Kristallisation von Quarz und damit zum Sinken der Verfügbarkeit (Alyosef et al., 2015).

6.5 Kieselgur als Insektizid

Silikathältige Stäube, insbesondere Diatomeenerden, eignen sich als Insektizide im Gartenbau. Messerscharfe Kanten reißen den schützenden Chitinpanzer kriechender Insekten und Spinnentiere auf, sodass die Schädlinge austrocknen, und die extrem flüssigkeits- und fettadsorbierenden Eigenschaften des Kieselgurs noch besser zum Tragen kommen. Es hilft gegen Milben, Flöhe, Läuse, Zecken, Schaben, Käfer, Ameisen, Silberfische und Schnecken, aber nur im trockenen Zustand. Bienen werden aber nicht beeinträchtigt. Die Ausbringung erfolgt als Trockenpulver oder Wassergemisch und führt zu einem gleichmäßigen hellen Belag. Dabei sind Atemschutz und Schutzbrille zu verwenden.

7 Analysenverfahren

Beim Silizium besteht die Gefahr der Einschleppung von Blindwerten aus Glas und Staub, sowie die Fällung von Kieselsäure in sauren Aufschlusslösungen. Man muss vollständig in Kunststoff und mit Reinstwasser (Milli-Q) arbeiten, und darf nicht mit Säuren oder mit dem Dilutor verdünnen, da diese Silikat enthalten bzw. abgeben.

7.1 Bestimmungen in Lösung

Während mit der photometrischen Methode (Reaktion in stark saurer Lösung mit Molybdat) nur die Mono-Kieselsäure reagiert, werden im ICP sämtliche Si-hältigen Verbindungen in der Probelösung erfasst. Mono-Kieselsäure im Grundwasser und Sättigungswasserextrakt der Böden wurde nach Filtration $0,45\ \mu\text{m}$ spektralphotometrisch bestimmt (Borelli et al., 2010).

Bei Messung am ICP-OES kann nach Aufschluss von 1g/25 ml eine NWG von 0,5 mg/kg erreicht werden. Die Messung mit ICP-MS scheint kaum möglich, da das hauptsächlich (zu 92,23 %) vorkommende Isotop ^{28}Si die gleiche Masse hat wie ^{12}C - ^{16}O , $^{56}\text{Fe}/2$, ^{27}Al - ^1H oder ^{10}B - ^{18}O .

7.2 Aufschlussverfahren

Gesamt-Silizium kann z. B. nach Veraschen bei 450° , Boratschmelze und Lösen in 10 % HNO_3 mit ICP-OES bestimmt werden. Amorphe Kieselsäure wurde durch Schwereretrennung in ZnBr_2 (Dichte 2,3 g/cm³) isoliert (Cornelis et al., 2010A, 2010B). Phytolite aus der Schwereretrennung zeigten sich im Mikroskop intakt, verwittert oder gebrochen, enthielten aber keinen Hinweis auf abiotischen Ursprung. Jedoch wurden nur 42 % des aus dem Boden mit Na_2CO_3 extrahiertem Silizium erhalten (Guntzer et al., 2012). In 0,25 % Na_2CO_3 -Lösung lösen sich Diatomeen am siedenden Wasserbad vollständig, während Quarz nicht angegriffen wird (Tessenow, 1966; Georgiadis et al., 2013).

Die nach Aufschluss mit $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ als unlöslich erhaltenen Phytolite wurden in 0,1M Tiron bei pH 10,5 und 85°C eine Stunde lang gelöst, und Tiron daraufhin mit 30 % H_2O_2 zerstört. Aus diesen Phytoliten wurde gleich viel Silizium als nach Li-Metaborat-Aufschluss der Gesamtprobe aus Blättern oder Zweigen erhalten (Guntzer et al., 2010).

Zur Analyse von Futter- und Lebensmitteln wurde eine neue Aufschlussmethode mit einer fast gesättigten Kaliumchloratlösung, angesäuert mit Salpetersäure, in mikrowellenbeheizten Druckbomben entwickelt (Sager, 2011). Im Gegensatz zum Aufschluss mit reiner HNO_3 wurden auch Nichtmetalle (Jod, Bor, Silizium, Germanium, Schwefel) und auch sämtliche kationische Spurenelemente vollständig wiedererhalten. Die Kalibration am ICP-OES ist mit ähnlicher Menge an KClO_3 durchzuführen. Für pflanzliches Material dürfte

dieser Aufschluss den Phytoliten entsprechen, welche Guntzer et al., 2010 als unlöslich in $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ definiert haben.

8 Vorkommen in Pflanzen und Lebensmitteln in Österreich

In Pflanzen ist der Konzentrationsbereich groß, für die menschliche Nahrung sind nur kaum verkieselte Pflanzen geeignet. Da Blätter im Laufe des Sommers Silizium anreichern, ist der Zeitpunkt der Beprobung wichtig und daher mit Ende Mai/Anfang Juni genormt.

Beim Mahlen von Getreide bleibt der Hauptteil des Siliziums als Strukturmaterial in der Kleie, ebenso beim Schälen von Reis. Unter 8 Fraktionen aus einer Walzenmühle enthielt die Fraktion mit dem geringsten Anteil etwa 4 mg/kg, die Kleie hingegen 140-220 mg/kg, differenzierbar nach Sorte und Standort (Sager und Werteker, 2010). In österreichischem Brot wurden im Mittel 10,6 mg/kg (Bereich 7,2-20,0) festgestellt, in Reis im Mittel 11,2 mg/kg (Bereich 4,7-69,7) (Sager, 2011B).

Während bei Tomaten die Werte mit und ohne Kerne nicht unterschiedlich waren, waren die Ergebnisse aus den beiden Standorten vom selben Jahr unterschiedlich. Bei Äpfeln zeigte sich kein Trend nach dem erwartbaren Säuregehalt, dem Blühtermin oder der Pflückreife der einzelnen Sorten, und auch nicht nach Sorte und Standort, oder bei gleicher Sorte und Standort (Topaz in Wien-Jedlersdorf) mit dem Jahr (Sager und Spornberger, 2015), sodass alle Proben zusammengefasst werden konnten. In den Apfel Früchten korrelierte das Silikat am besten mit Al ($r=0,4923$) und Cr ($r=0,4985$). Si in Apfelblättern wird zum Teil durch die Unterlage beeinflusst. Silizium in Schokolade kommt aus dem Kakao und korrelierte mit Al, Fe und Cr, mit anderen Elementen $<0,7$; Si-Al-Fe-Cr bildeten auch eine Hauptkomponente bei der Hauptkomponentenanalyse.

In tierischen Lebensmitteln, wie Fleisch, Wurst, Eiern und Honig, wurde Silizium nicht bestimmt, ist aber vermutlich sehr gering. Die Siliziumkonzentration in Rohmilch (aus NÖ) korrelierte nicht mit der Tagesmilchmenge, der Laktationszeit sowie dem Fett oder Eiweiß, und auch nicht mit der Rinderrasse (Braunvieh – Fleckvieh), deshalb wurde nur der Gesamtbereich angegeben (Sager und Hobegger, 2013).

Die in 40 Fertigenmüsen gefundenen Siliziumkonzentrationen waren von sämtlichen anderen Haupt- und Spurenelementen unabhängig, während Faktorenanalyse der Nichtmetalldaten Zusammenhänge P-Se-J und S-B zeigte (Sager, 2010B). Die Resorption von Silikat aus Nahrungsmitteln ist meist gering, am besten aus Knochensuppen. Silizium ist nicht essentiell, aber es härtet die Knochen und schützt z. B. vor Arteriosklerose (Robberecht et al., 2008). Zahlreiche Daten des Autors aus Österreich liegen vor (Tab. 2 und 3).

9 Literaturangaben

- Alyosef, H.L., Schneider, D., Wassersleben, S., Roggendorf, H., Weiß, M., Eilert, A., Denecke, R., Hartmann, I., Enke, D., 2015: Meso/macroporous silica from miscanthus, cereal remnant pellets, and wheat straw. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 3(9), 2012-21
- Anggria L., Husnain, Sato, K., Masunaga, Ts., 2016: Silicon Release from Local Materials in Indonesia under Submerged Condition. *Journal of Agricultural Science* 8(12), 72
- Augustin – Gyurits, K., 1989: Geochemische Charakterisierung von heimischen und importierten Kohlen und ihrer Verbrennungsprodukte. Bericht der BVFA Arsenal, Wien
- Borrelli, N., Alvarez, M.F., Osterrieth, M.L., Marcovecchio, J.E., 2010: Silica content in soil solution and its relation with phytolith weathering and silica biogeochemical cycle in typical arguidolls of the Pampean plain, Argentina – a preliminary study. *J. Soils Sediments* 10, 983-994
- Cornelis, J.T., Ranger, J., Isenterant, A., Delvaux, B., 2010A: Tree species impact the terrestrial cycle of silicon through various uptakes. *Biogeochemistry* 97, 231-245
- Cornelis, J.T., Delvaux, B., Cardinal, D., André, L., Ranger, J., Opfergelt, S., 2010B: Tracing mechanisms controlling the release of dissolved silicon in forest soil solutions using Si isotopes and Ge/Si ratios. *Geochim. Cosmochim. Acta* 74, 3913-3924
- Crooks, R., Prentice, P., 2017: Extensive investigation into field based responses to a silica fertiliser. *Silicon* 9 (2), 301–304
- Crusciol, C.A.C., Pires de Arruda, D., Fernandes, A.M., Antonangelo, J.A., Alleoni, L.R.F., Costa do Nascimento, C.A., Rossato, O.B., McCray, J.M., 2018: Methods and extractants to evaluate silicon availability for sugarcane. *Scientific Reports* 8, Article 916

- Georgiadis, A., Sauer, D., Herrmann, L., Breuer, J., Zarei, M., Stahr, K., 2013: Development of a method for sequential silicon extraction from soils. *Geoderma* 209-210, 251-261
- Guntzer, F., Keller, C., Meunier, J.D., 2010: Determination of the silicon concentration in plant material using Tiron extraction. *New phytologist* 188 (3), 902-906
- Guntzer, F., Keller, C., Poulton, P.R., McGrath, S.P., Meunier, J.D. 2012: Long term removal of wheat straw decreases soil amorphous silica at Broadbalk, Rothamsted. *Plant Soil* 352, 173-184
- Korndörfer, G.H., Coelho, N.M., Snyder, G.H., Mizutani, C.T., 1999: Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. *R. Bras. Ci. Solo* 213, 101-106
- Ma, J.F., 2004: Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci Plant Nutr.* 50(1), 11-18
- Ma N, Li, Z.Ch., Xia, Sh.P., Zhu, Zh.Zh., Song Zh.L., 2018: Retention effects of river damming on dissolved silicon, in: *Inland Waters Volume 8, Issue 2: Effects of Dams on River Biogeochemistry and Ecology*, pp 207-215
- Makabe-Sasaki Sh., Kakuda K.I., Sasaki, Y., Ando H., 2013: Effect of slag silicate fertilizer on dissolved silicon in soil solution based on the chemical properties of gleysols. *Journal Soil Science and Plant Nutrition* 59(2), 271-277
- Makabe-Sasaki, Sh., Kakuda, K.I., Sasaki, Y., Ando, H. (2014): Effects of slag silicate fertilizer on silicon content of rice plants grown in paddy fields on the Shounai Plain, Yamagata, Japan, *Soil Science and Plant Nutrition* 60(5), 708-721
- Marxen, A., Klotzbuecher, T., Schmidt, A., Vetterlein, D., Jahn, R., 2014: Factors determining silicon uptake by rice in Southeast-Asian paddy soils. 20th World Congress of Soil Science, Jeju
- Raimonet, M., Andrieux-Loyer, F., Ragueneau, O., Michaud, E., Kerouel, R., Philippon, X., Nonent, M., Mémery, L., 2013: Strong gradient of benthic biogeochemical processes along a macrotidal temperate estuary: focus on P and Si cycles. *Biogeochemistry* 115, 399-417
- Robberecht, H., Van Dyck, K., Bosscher, D., Van Cauwenbergh, R., 2008: Silicon in Foods: Content and Bioavailability. *Int. J Food Properties* 11, 638-645
- Sager, M., Werteker, M., 2010: Zur Elementverteilung in Mahlfractionen von Weizen an zwei niederösterreichischen Standorten. *Ernährung/Nutrition* 34 (9), 357-367

- Sager, M., 2010B: Über die Elementzusammensetzung von in Österreich erhältlichen Fertiggerichten und Wurstwaren. *Ernährung/Nutrition* 34 (2), 57-64
- Sager, M., 2011A: Microwave- assisted digestion of organic materials with $\text{KClO}_3/\text{HNO}_3$ for the analysis of trace metals and non-metals. *Analytical Chemistry- an Indian Journal* 10 (2), 101-108
- Sager, M., 2011B: Occurrence and Analysis of Selected Non-metals in Food and Agricultural Products (B, Si, Ge, P, S, I; As, Se). *Essays on Agriculture and Environment*, Eva Maleviti and Costas Stathopoulos eds., ATINER, 111-127
- Sager, M., 2012: Chocolate and Cocoa Products as A Source of Essential Elements in Nutrition. *J. Nutr. Food Sci.* 2, 123
- Sager, M., Hobegger, M., 2013: Elementgehalte in Rohmilch aus drei Regionen Niederösterreichs (Contents of elements in raw milk from three regions in Lower Austria) *Ernährung/Nutrition* 37 (7/8), 277-290
- Sager, M., 2014: Element- und Spurenelementgehalte von Äpfeln (Element and Trace Element Content of Apples). *Journal für Ernährungsmedizin* Oktober 2014, 8-12.
- Sager, M., 2014B: Ein vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung mobiler Bodenfraktionen - am Beispiel an Böden aus Apfelkulturen. 126. VDLUFA Kongress Stuttgart-Hohenheim
- Sager, M., Spornberger A., 2015: Gehalte an Haupt- und Spurenelemente in Früchten und Blättern von Äpfeln in Abhängigkeit verschiedener Unterlagen. *Mitteilungen Klosterneuburg* 65, 250-272
- Sager, M., 2016B: Element- und Spurenelementgehalte in handelsüblichen Milchprodukten in Österreich - Element and trace element contents in Austrian commercial dairy products; *Journal für Ernährungsmedizin (jem)*; 16 (1), 12
- Sager, M., 2016C: A simplified extraction schema to for the analytical characterization of apple orchard soils. *Journal of Soils and Sediments*, 16(4), 1193-1202
- Sager, M., 2017: Main and Trace Element Contents of Tomatoes Grown in Austria. *Journal of Food Science and Engineering* 7(5), 239-248
- Tessenow, U., 1966: Untersuchungen über den Kieselsäurehaushalt der Binnengewässer. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 32(1), 1-136
- Valkovic, V. 1983: Trace elements in coal, CRC Press, Boca Raton, Florida

- Yadav, R.L., Yadav, D.V., Shukla, S.K., 2009: Improving yield and quality of sugarcane through secondary and micronutrients. *Indian Journal of Fertilizers* 5(4), 99-105
- Yanai, J., Taniguchi, H., Nakao, A., 2016: Evaluation of available silicon content and its determining factors of agricultural soils in Japan. *Soil Science and Plant Nutrition* 62 (5-6), 511-518

Tab. 1: Silizium und andere Nichtmetalle in selektiven Oberbodenextrakten von Apfelkulturen (Sager2014B), mg/kg

	0,16M Hac		0,1M Oxalat		KClO₃		Gesamt (HF-HNO₃-HClO₄)	
	Median	Bereich	Median	Bereich	Median	Bereich	Median	Bereich
As	0,26	<0,2-1,20	2,5	1,3-5,1	12,6	10,6-16,4	12,0	3,70-17,8
B	1,16	0,37-3,25	1,18	0,12-2,39	15,3	10,4-29,3	Flüchtig	
P	28,3	5,6-80,9	326	118-566	821	449-1598	769	419-1540
S	15,2	6,7-30,3	31,9	21,1-80,3	296	144-487	226	97-373
Si	75,2	25,3-114	224	106-457	1192	589-1372	Flüchtig	

Tab. 2: Silizium in Pflanzen und pflanzlichen Lebensmitteln

	Median/Bereich 'mg/kg TS	Median/Bereich 'mg/kg TS	Anzahl
Heu	2591/2204 - 3927	2352/2017-3594	37
Grassilage		2433/1655-3778	22
Maissilage		2135/1879-2613	15
Apfelblätter (Ende Mai)*	161/94-231		46
Apfelblätter (Mitte August)*	380/236-602		45
Weizenmehl	10,9/5,9-31,5		22
Weizenkleie	183/142-213		6
Reis	11,2/4,7-69,7		11
Österr. Mischbrot	17,1/12,2-23,7	10,7/7,7-14,5	18
Soja-„Milch“		17,5/7,3-29,5	4
Tomaten (Zinshof)	33,0/22,7-57,6	2,00/1,58-2,75	12
Tomaten (Schönbrunn)**	9,6/7,5-12,7	0,64/0,54-0,83	13
Äpfel	5,5/0,8-14,4	0,90/0,14-2,41	101
Milchschokolade		25,6/6,9-46,2	18
Bitterschokolade		58,3/35,8-69,1	10
Edelbitterschokolade		65,1/27,3-99,9	14
Fertigmenüs Teigwaren/Reis		9,2/5,5-51,7	14

*Gleiche Pflanzen und Standort (Klosterneuburg), gleiches Jahr (2011)

**Tomaten mit und ohne Kerne nicht unterschiedlich!

Tab. 3: Silizium in tierischen Lebensmitteln

	Median/Bereich mg/kg TS	Median/Bereich mg/kg FS	Anzahl
Rohmilch NÖ	7,97/0,23-20,69	1,07/0,03-2,48	101
Vollmilch	7,08/4,7-16,5	1,15/0,81-2,02	18
Rahm	3,33/3,13-4,61	0,76/0,64-0,91	6
Kakaomilch	9,2/6,2-17,5	1,67/1,11-3,36	4
Ziegenmilch/-joghurt	5,7/1,8-11,6	1,08/0,27-1,72	7
Schafjoghurt	15,1/5,6-22,3	3,24/1,00-5,17	6
Fertigmenüs Fleischspeisen		10,0/2,1-69,1	11
			Sager, Hobegger 2013
			Sager 2016 B
			Sager 2016 B
			Sager 2016 B
			Sager 2016 B
			Sager 2016 B
			Sager 2010 B

Einfluss der Silagebereitung eines Mais-Stangenbohnen-Gemisches auf den Phasingehalt

U. Wyss¹, A. Enggist², D. Brugger³

¹Agroscope, Gruppe Wiederkäuer, Posieux, ²Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg, Gränichen, ³Lehrstuhl für Tierernährung, Wissenschaftszentrum für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technische Universität München, Freising

1 Einleitung

Der Anbau von einem Mais-Stangenbohnen-Gemisch könnte eine Alternative zum konventionellen Silomaisanbau sein. Die Bohnen (*Phaseolus vulgaris*) nutzen die Maispflanzen als Stütze und sollen den Proteingehalt in der Maissilage steigern. Die gesamte Bohnenpflanze hat mit rund 14 % Protein einen doppelt so hohen Proteingehalt wie der Mais. Zudem gehören die Bohnen zu den Leguminosen und haben somit die Fähigkeit, mit Knöllchenbakterien Stickstoff zu fixieren. Dieser Stickstoff steht dem Mais oder später der Folgekultur zur Verfügung. Im Weiteren wachsen die Bohnen schneller als der Mais, dadurch wird das Unkraut besser unterdrückt und das Erosionsrisiko kann gesenkt werden.

Die Samen und Hülsen der Bohnen enthalten jedoch hohe Gehalte an Phasinen, welche im rohen Zustand giftig sind. Nach Brugger et al. (2018) schwanken die Phasingehalte in den Bohnen je nach Sorte sehr stark. Es ist bekannt, dass die Bohnen durch eine Hitzebehandlung bzw. durch das Kochen ihre Giftigkeit verlieren.

In Deutschland wurden in den letzten Jahren bereits verschiedene Untersuchungen mit einem Mais-Stangenbohnen-Gemisch durchgeführt. Dabei konnten bei der Verfütterung an Milchkühe keine negativen Auswirkungen auf die Leistung der Tiere festgestellt werden (Kälber et al., 2017). Dies konnte auch in weiteren, bisher noch nicht veröffentlichten Betrachtungen mit hochleistenden Holstein-Friesian Kühen bestätigt werden (Brugger 2018, persönliche Mitteilung). In vitro Untersuchungen mittels Hohenheimer Gastest zeigten, dass die Phasine bei der ruminalen, bakteriellen Proteolyse mit hoher Effizienz abgebaut wurden und keinerlei Korrelation zwischen dem Phasingehalt und der Gasbildung in vitro besteht (Brugger et al., 2018). Um zu untersuchen, ob die Phasine

bereits bei der Silagebereitung abgebaut werden, wurden 2016 und 2017 die folgend beschriebenen Versuche durchgeführt.

2 Material und Methoden

In Oberentfelden Kanton Aargau, Schweiz (420 m ü.M.), prüfte das Landwirtschaftliche Zentrum Liebegg 2016 und 2017 in Tastversuchen den Anbau von einem Silomais-Stangenbohnen-Gemisch. Dabei wurden 2016 unterschiedliche Saatzeitpunkte der Bohnen und unterschiedliche Saatechniken (Breitsaat und Einzelkornsaat) mit dem konventionellen Silomaisanbau (Sorte Gottardo) verglichen (Tab. 1). 2016 wurde die Bohnensorte Anellino Giallo (gelbes Posthörnli) verwendet. Neben Ertragsbestimmungen wurde im Herbst 2016 das Siliergut der verschiedenen Verfahren am 30. September gehäckselt und in Siloballen und auch Laborsilos einsiliert. Beim Einsilieren und in den Silagen wurden Proben zur Bestimmung der Inhaltsstoffe gezogen. Die Proben in den Silagen wurden nach einer Silierdauer von 104 Tagen gezogen. Zusätzlich wurden in den Silagen auch verschiedene Gärparameter bestimmt. Zur Bestimmung der Phasine wurden die Proben vorgängig gefriergetrocknet. Die Phasinanalytik erfolgte nach Bolduan et al. (2016).

Tab. 1: Versuchsvarianten 2016

Variante	Saatechnik	Saadichte Mais	Saadichte Bohnen	Saat-Zeit- punkt
V1	Einzelkorn- saat	7.5	-	
V2	Breitsaat	7.5	7.5	gleichzeitig
V3	Einzelkorn- saat	7.5	7.5	gleichzeitig
V4	Breitsaat	7.5	7.5	später
V5	Einzelkorn- saat	7.5	7.5	später

Saadichte: Körner pro m²

Gleichzeitig: 10. Mai 2016; später: 7. Juni 2016

Im Jahr 2017 wurden bei den Bohnen unterschiedliche Saaddichten und bei allen Varianten zwei Düngungsstufen getestet (Tab. 2). Das Saatgut wurde vor der Saat im jeweiligen Verhältnis miteinander vermischt und anschließend mit einer herkömmlichen Einzelkornsämaschine ausgesät. Beim Mais wurde die Sorte Benedictio und bei den Bohnen WAV 512 verwendet. Diese Sorte weist nach den Untersuchungen von Brugger et al. (2018) einen wesentlich tieferen Phasingehalt auf. Die Silageballen mit den verschiedenen Mais-Bohnen-Varianten wurden wiederum im Freien gelagert. Zusätzlich wurden von den Mischungen noch Bohnen separat geerntet, die in Laborsilos einsiliert wurden. 2017 wurde neben den reinen Bohnen nur noch Material der Variante 18 in Laborsilos einsiliert. Aufgrund der Ergebnisse zwischen den Ballen und Laborsilos von 2016 wurde die Hälfte der Silos bei Raumtemperatur ($\varnothing 20,2\text{ °C} \pm 0,5$) und die andere Hälfte bei Aussentemperatur ($\varnothing 10,7\text{ °C} \pm 7,5$) gelagert. Die Ernte erfolgte am 21. September 2017 und die Silageproben wurden nach einer Silierdauer von 82 Tagen gezogen.

Tab.2: Versuchsvarianten 2017

Variante	Saaddichte Mais	Saaddichte Bohnen	N-Düngung
V11	10	-	101 kg/ha
V12	10	-	74 kg/ha
V13	7.5	5.0	101 kg/ha
V14	7.5	5.0	74 kg/ha
V15	7.5	6.0	101 kg/ha
V16	7.5	6.0	74 kg/ha
V17	7.5	7.5	101 kg/ha
V18	7.5	7.5	74 kg/ha

Saaddichte: Körner pro m², Saatzeitpunkt 11. Mai 2017

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ernte im Jahr 2016 mit einem 6-reihigen-Maishäcksler erwies sich bei den Varianten, bei denen der Mais als Breitsaat gesät wurde, als schwierig. Die Ranken der Bohnen bildeten ein dichtes Netz, dadurch gab es beim Häcksler einige

Male Verstopfungen. Die Verfahren mit Einzelkornsaat konnten dagegen deutlich einfacher geerntet werden.

Die Erträge in den Verfahren mit dem Mais-Bohnen-Gemisch schwankten zwischen 136 und 164 dt Trockenmasse(TM)/ha und lagen niedriger als im Verfahren mit Silomais allein mit 192 dt TM/ha (Abb. 1). Die Erträge vom Mais-Bohnen-Gemisch waren zwischen 15 und 29% niedriger im Vergleich zum Silomais allein.

Beim Einsilieren wies der Mais einen TM-Gehalt von 42 % und die vier Gemische zwischen 36 und 39 % auf. Eine zusätzliche Probe von den reinen Bohnen, die von den Mischungen separat genommen wurde, gab einen TM-Gehalt von 28 %. Der Rohproteingehalt des Maises betrug 66 g/kg TM und derjenige der Bohnen 145 g/kg TM. Bei den vier Varianten mit dem Mais-Bohnen-Gemisch variierten die Rohproteingehalte zwischen 60 und 74 g/kg TM.

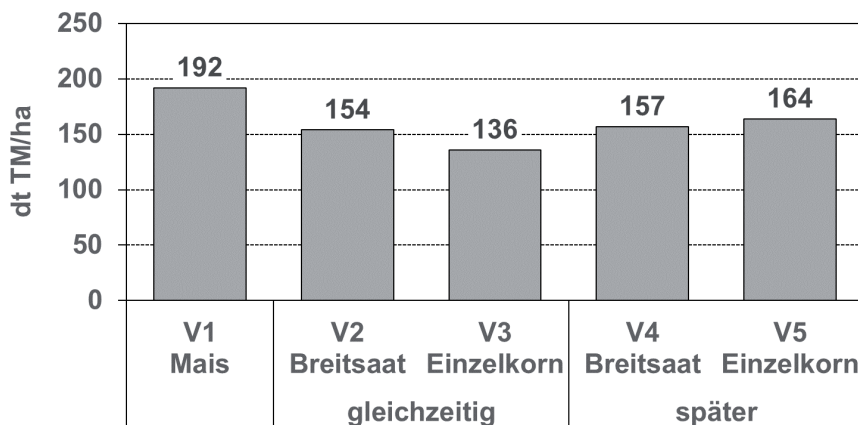


Abb. 1: Trockenmasse-Erträge der Varianten von 2016

Im zweiten Versuchsjahr variierten die TM-Erträge zwischen 153 und 195 dt/ha (Abb. 2). Wiederum waren die Erträge beim Mais-Bohnen-Gemisch zwischen 13 und 21 % geringer als im Verfahren mit Silomais allein. Bei den Varianten 15 und 16 beziehungsweise 17 und 18 konnte bei der reduzierten Düngung ein geringerer Ertrag festgestellt werden. Der Anteil der Bohnen am Gemisch betrug bezogen auf die TM zwischen 9 und 19%. Die höchsten Bohnenanteile wurden bei den Varianten 16 und 18 festgestellt, die auch die tiefsten TM-Erträge aufwiesen. Der Mais wies beim Einsilieren einen TM-Gehalt von 40 %, die Mais-Bohnen-Gemische zwischen 38 und 42 % und die Bohnen allein 22 % auf. Der Rohproteingehalt

des Mais betrug 54 g/kg TM und derjenige der Bohnen 154 g/kg TM. Die Mais-Bohnen-Gemische hatten Rohproteingehalte zwischen 58 und 74 g/kg TM. Dies bedeutet zwischen 7 und 36% höher im Vergleich zum Mais.

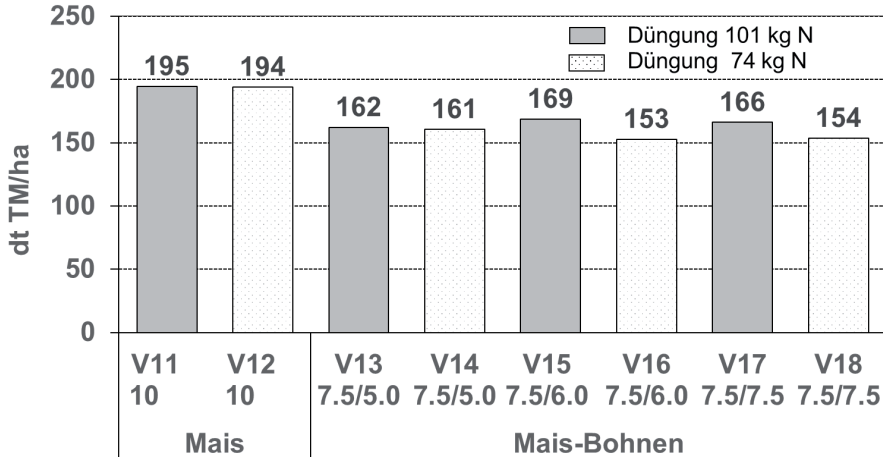


Abb.2: TM-Erträge der Varianten von 2016

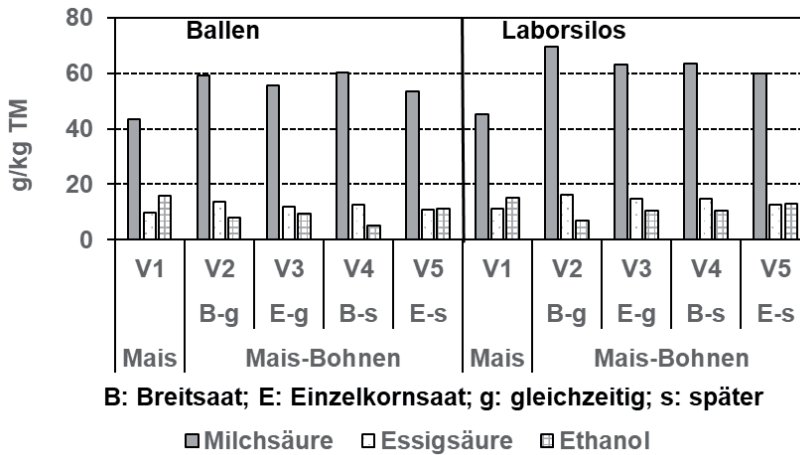


Abb.3: Gärparameter der Silagen vom Versuchsjahr 2016

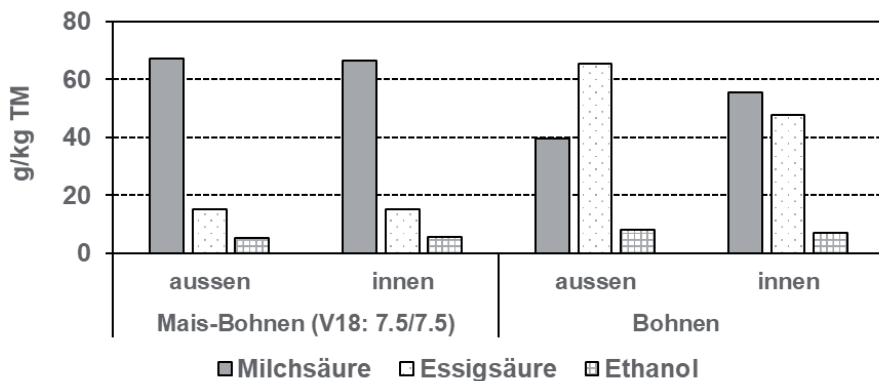
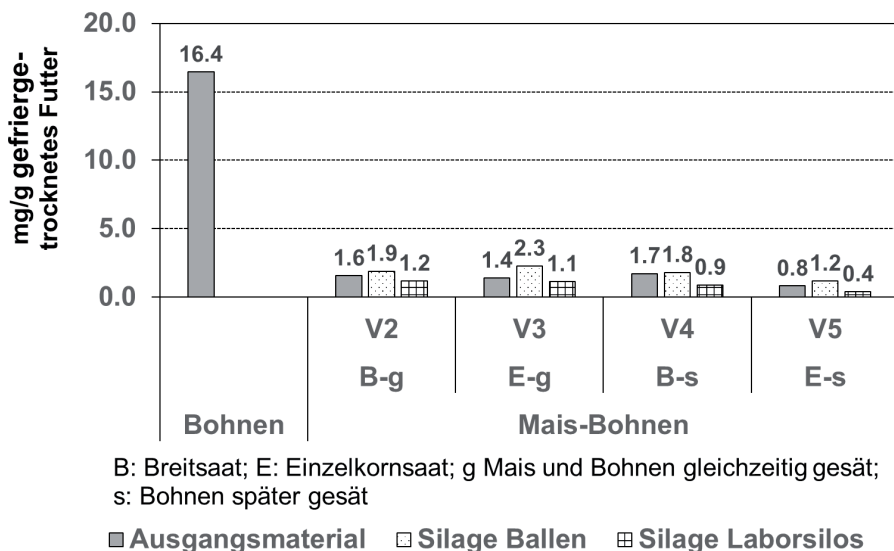


Abb. 4: Gärparameter der Silagen aus den Laborsilos vom Versuchsjahr 2017 bei unterschiedlichen Lagerungstempertaturen (aussen und innen)

Sowohl 2016 als auch 2017 wiesen die Silagen eine gute Gärqualität auf. Butter-säure konnte nur in Spuren nachgewiesen werden. Die Gärparameter vom Ver-suchsjahr 2016 sind aus Abbildung 3 ersichtlich. Der pH-Wert betrug im Durch-schnitt 4,0.



B: Breitsaat; E: Einzelkornsaat; g Mais und Bohnen gleichzeitig gesät; s: Bohnen später gesät

■ Ausgangsmaterial □ Silage Ballen ▣ Silage Laborsilos

Abb. 5: Phasingehalte im Ausgangsmaterial und den Silagen vom Versuchs-jahr 2016

In den reinen Bohnensilagen vom Versuchsjahr 2017 wurde weniger Milch-, dafür mehr Essigsäure gebildet (Abb. 4). Der pH-Wert betrug 4,8. Zwischen den bei Raumtemperatur beziehungsweise Außentemperatur gelagerten Laborsilos gab es keine Unterschiede hinsichtlich der Gärsäuren.

Die Bohnen der Sorte Anellino Giallo wiesen einen Phasingehalt von 16 mg/g gefriergetrocknetes Futter auf. Die Silierung in den Ballen beziehungsweise in den Laborsilos hatte unterschiedliche Auswirkungen auf den Phasingehalt, obwohl die Gärparameter sehr ähnlich waren.

In den Siloballen waren die Phasingehalte durchschnittlich 30 % höher und in den Laborsilos 35 % tiefer als im Futter vor dem Einsilieren (Abb. 5).

Die im zweiten Versuchsjahr verwendete Bohnensorte WAV 512 wies mit 0,94 mg/g gefriergetrocknetes Futter einen wesentlich geringeren Phasingehalt auf im Vergleich zur Sorte Anellino Giallo, die im ersten Jahr verwendet wurde.

In den Varianten mit dem Mais-Bohnen-Gemisch waren in den Ballensilagen die Phasingehalte nur leicht tiefer beziehungsweise höher als im Ausgangsmaterial (Abb. 6). Dies deckt sich mit den Untersuchungen von 2016.

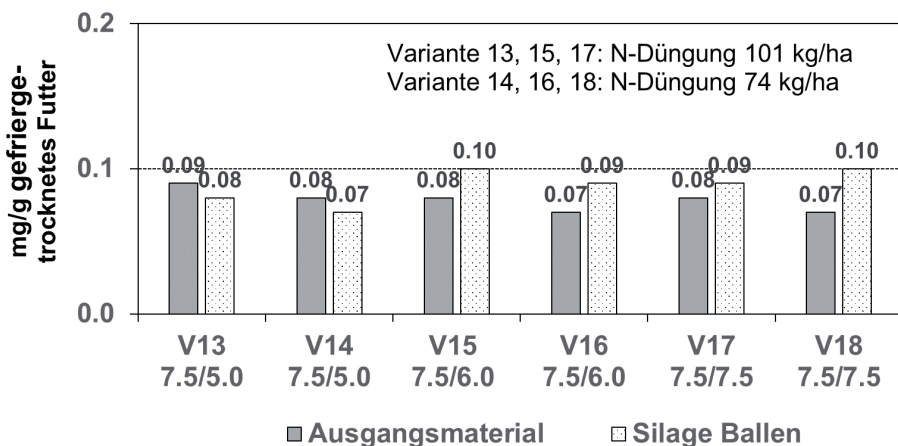


Abb. 6: Phasingehalte im Ausgangsmaterial und den Ballensilagen vom Versuchsjahr 2017

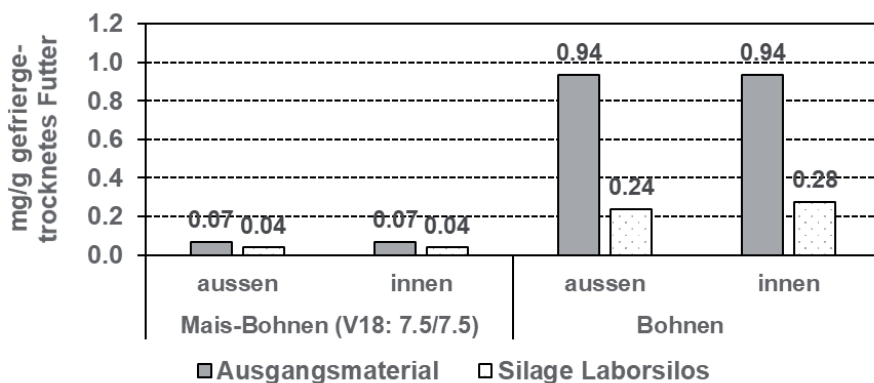


Abb. 7: Phasingehalte im Ausgangsmaterial und den Laborsilagen bei unterschiedlicher Lagerungstemperatur vom Versuchsjahr 2017

In den Laborsilagen konnte wiederum eine stärkere Abnahme des Phasingehaltes als in den Ballen festgestellt werden. Die unterschiedliche Lagerungstemperatur hatte hingegen keinen Einfluss auf die Abnahme (Abb. 7).

4 Folgerungen

- Durch den Anbau eines Mais-Bohnen-Gemischs sanken die TM-Erträge in den Jahren 2016 und 2017 zwischen den verschiedenen Varianten um 13 bis 29% im Vergleich zum reinen Maisanbau.
- Die Rohproteingehalte waren bis zu 36 % höher im Vergleich zum reinen Maisanbau.
- Der Phasingehalt in den Bohnen ist stark von der Sorte abhängig (2016: Anellino Giallo; 2017: WAV 512).
- Bei der Silierung unter Praxisbedingungen sank der Phasingehalt nur leicht bzw. war sogar erhöht.
- In den Laborsilos nahm der Phasingehalt durch die Silierung ab. Die Gründe sind noch nicht bekannt, es könnte aber mit den klimatischen Bedingungen zusammenhängen.
- Für die Verfütterung des Mais-Bohnen-Gemisches an Milchvieh wird empfohlen, Bohnensorten mit tiefen Phasingehalten zu verwenden.

5 Literaturangaben

- Bolduan, C., Stäbler, R., Buffler, M., Windisch, W., 2016: Untersuchungen zum Gehalt von aktiven Lektinen in Gartenbohnen mittels ELISA. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA), editor. 71 ALVA Jahrestagung 2016. Klagenfurth (Austria).
- Brugger, D., Hobmeier, T., Buffler, M., Bolduan, C., Windisch, W., 2018: Zum ruminalen Abbau von Phasinen aus Stangenbohnen (*Phaseolus vulgaris*) sowie deren Einfluss auf die Gasbildung *in vitro*. VDLUFA-Schriftenreihe 75/2018. VDLUFA-Verlag, Darmstadt. p. 381-388.
- Kälber, T., Aulrich, K., Barth, K., Böhm, H., Bussemas, R., Fischer, J., Höinghaus, K., Weissmann, F., 2017. Mais-Stangenbohnen-Silage als Futtermittel für Milchkühe und Mastschweine. 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau in Freising-Weihenstephan, 100-103.

Aminosäureprofile von zugekauftem Alleinfutter für Schweine

K.-H. Grünewald¹, A. Heinze², S. Schwick³

¹Verein Futtermitteltest (VFT), Bad Sassendorf, ²Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena, ³DLG Koordinierungsstelle, Groß-Umstadt

1 Einleitung

Eine erfolgreiche Schweine(fleisch)produktion setzt die Aufzucht frohwüchsiger Ferkel und hohe Tageszunahmen in der Mast voraus. Dabei ist einerseits die Abdeckung des hohen Aminosäurebedarfs, v. a. in der Ferkelaufzucht, andererseits die Absenkung der Proteingehalte im Futter (Begrenzung Säurebindungsvermögen, Reduzierung Nährstoffüberschüsse) wichtig.

Bisher wurden deshalb die limitierend wirkenden, essenziellen Aminosäuren (AS) Lysin, Methionin und Threonin, im Ferkelfutter ggf. auch Tryptophan, seit kurzem von einigen Mischfutterproduzenten auch Valin dem Fertigfutter zugesetzt, um den Rohproteingehalt begrenzen zu können. Bei der aktuell diskutierten weiteren Reduzierung der Proteingehalte im Futter (im Hinblick auf die Stoffstrombilanz/ Nährstoffbilanz) können noch andere essentielle Aminosäuren limitierend werden. Dies müsste im Hinblick auf eine gute Leistung (Zunahmen) und auch N-Effizienz bei der Optimierung berücksichtigt werden.

Für die Einschätzung, inwieweit die Versorgungsempfehlungen essenzieller AS bei den handelsüblichen Schweinefuttermischungen abgedeckt werden, wurde ergänzend zu einer Erhebung bei Ferkelfutter im Vorjahr eine aktuelle Erhebung des „Status quo“ bei Alleinfuttern für Schweine (Ferkel, Mast Schweine, Sauen) durchgeführt. Die Daten sollen helfen, die Versorgung mit essenziellen AS bei weiter reduzierten Rohproteingehalten einzuschätzen.

2 Material und Methoden

Für die im Rahmen des Warentests des VFT geprüften Ferkelfutter liegen die Analysen von vier AS (Lysin, Methionin+Cystin, Threonin), für Mast- und Sauenfutter meist nur von einer AS (Lysin) vor. Eine Stichprobe (n=176) der im

Warentest des VFT im 2. Halbjahr 2017 untersuchten Alleinfutter (AF) wurde ergänzend auf weitere essentielle AS untersucht. Damit stehen nun Daten für insgesamt elf AS zur Verfügung (essentielle AS: Lysin, Methionin, Threonin, Tryptophan, Histidin, Isoleucin, Leucin, Phenylalanin, Valin, semiessenziell: Cystin, Tyrosin). Bei einem Teil der Futter (n=37) wurde als Methioninquelle Methionin-Hydroxy-Analog (MHA) verwendet. Da dies bei der Methioninanalyse nicht erfasst wird, war für MHA eine separate Analyse notwendig, Die Analyse der AS erfolgte nach den amtlichen Methoden (EU, 2009), MHA nach VDLUFA-Methode 4.11.4 (VDLUFA, 1993).

3 Ergebnisse

3.1 Charakterisierung der ausgewerteten Futter

Die in die Auswertung einbezogenen Futter für Ferkel, Mastschweine und Sauen umfassen verschiedene Einsatzbereiche. Um möglichst Futter für den gleichgerichteten Einsatzzweck vergleichen zu können und um bei der Bewertung die ermittelten AS-Gehalte mit zutreffenden Anforderungen vergleichen zu können, wurden die Futter entsprechend DLG bzw. VFT-Systematik aufgeteilt: **Ferkelfutter** mit Einsatzbeginn ab 8, ab 12, ab 16 und ab 20 kg Lebendmasse (LM); **Mastfutter** mit Einsatzbeginn nach LM in 10 kg Schritten, **Sauenfutter** für Jungsauen, niedertragende, tragende und säugende Sauen. Bei Mastfutter wurden zur Darstellung je zwei 10 kg-Abschnitte zusammengefasst: Anfangs-, Mittel-, Endmast. Bei Sauenfutter wurden die Futter für Jungsauen, nieder- und hochtragende Sauen zusammenfassend als „Tragefutter“ dargestellt.

In Tabelle 1 sind zur Charakterisierung der in die Auswertung einbezogenen Futtermittel Mittelwerte und Spannen der Energie- und Nährstoffgehalte aufgeführt. Die gezeigten konzipierten Gehalte an Energie, Rohprotein und Lysin variierten zwischen aber auch innerhalb der Futtertypen z. T. deutlich: z. B. von 10,3 bis 15,6 MJ ME/kg, 120-200 g Rohprotein/kg bzw. 5,2-16 g Lysin/kg Futter.

3.2 Analysenbefunde der Aminosäuren und AS-Relationen

Die deklarierten Nährstoffgehalte wurden größtenteils eingehalten. Einige relevante Abweichungen gab es bei Energie, Lysin und Methionin. Geringere Energiegehalte sind zwar im Hinblick auf die Energieversorgung unbefriedigend, für die AS-Versorgung aber nicht nachteilig zu bewerten. Dagegen führen geringere

AS-Gehalte bei einer vorher abgestimmten Optimierung zu einem nicht ausgewogenen AS-Energie-Verhältnis und können den Proteinansatz begrenzen.

In Tabelle 1 sind die analysierten Gehalte an Energie und AS dargestellt. Die Energie- und Nährstoffgehalte variierten zwischen und innerhalb der Futter ähnlich wie die deklarierten Werte. Die größte Spanne wiesen die Starterfutter (Einsatzbeginn 8 kg LM) auf. Die Gehalte an Lysin, Met+Cys sowie Thr waren je nach Einsatzbereich des Futters entsprechend der geringeren Anforderungen abgestuft, für nachrangige nicht zugesetzte AS trat dies nicht gerichtet auf.

Tab. 1: Analysierte Gehalte an ME und Aminosäuren in MJ ME/kg bzw. g/kg: Mittelwert (MW), Standardabweichung (s), Spanne (min / max-Werte)

Einsatzbereich		ME MJ/kg	Lys	M+C ¹	Thr	Trp	His g/kg	Ile	Leu	P+T ²	Val
Fab 8 kg	MW	13,8	12,5	7,2	8,2	2,5	4,0	6,4	11,9	13,0	7,6
	s	0,62	1,50	0,97	0,82	0,44	0,47	0,78	1,42	1,80	0,86
	min	12,7	7,8	6,0	7,0	1,8	2,7	5,1	9,5	8,6	6,0
	max	15,4	16,4	9,7	10,6	3,5	4,9	8,0	15,2	17,5	9,4
Fab 20 kg	MW	13,2	12,5	6,6	7,5	2,3	4,3	6,6	11,9	13,3	7,6
	s	0,47	1,47	0,47	0,54	0,15	0,55	0,39	0,87	1,27	0,91
	min	12,3	10,6	5,8	6,9	2,0	3,2	6,1	10,8	11,5	6,1
	max	13,9	15,5	7,2	8,5	2,4	4,8	7,2	13,1	15,0	8,5
AM	MW	13,1	10,4	5,9	6,3	2,2	3,9	5,8	10,8	11,9	7,1
	s	0,30	1,04	0,64	0,61	0,41	0,32	0,66	1,27	1,26	0,62
	min	12,5	8,5	3,7	5,5	1,8	3,4	4,1	5,8	10,1	5,8
	max	13,6	13,3	7,3	7,8	3,2	4,7	7,0	12,6	15,0	8,4
EM	MW	12,7	9,2	5,5	6,0	2,0	3,7	5,6	10,4	11,0	7,0
	s	0,30	0,83	0,46	0,37	0,19	0,46	0,74	1,29	0,28	0,75
	min	12,2	8,3	5,1	5,4	1,6	3,3	4,8	8,8	9,6	5,9
	max	13,1	10,0	6,4	6,3	2,1	4,5	6,7	12,8	12,8	8,2
TS	MW	11,9	7,0	4,9	5,1	1,9	3,4	4,9	9,2	10,2	6,4
	s	0,40	0,97	0,50	0,71	0,29	0,42	0,64	1,03	1,26	0,65
	min	10,9	4,5	4,1	4,0	1,2	2,6	3,5	7,4	8,6	5,2
	max	12,9	8,9	6,2	8,1	2,9	4,5	6,4	10,9	13,1	7,5
LS	MW	12,9	9,8	5,9	6,4	2,5	4,2	6,4	11,7	12,7	7,5
	s	0,32	0,72	0,49	0,44	0,89	0,38	0,65	0,96	1,24	0,64
	min	11,8	8,6	4,9	5,4	1,7	3,7	5,0	9,9	9,2	5,6
	max	13,5	11,4	6,6	7,6	6,6	5,4	8,0	14,4	15,2	8,6

¹ Methionin + Cystin inkl. MHA, ² Phenylalanin + Tyrosin, F = Ferkelfutter, AM, MM, EM = Anfangs-, Mittel-, Endmastfutter, TS = Tragefutter, LS = Laktationsfutter

Die Bewertung der AS-Gehalte erfolgte nach den Versorgungsempfehlungen der GfE gestaffelt nach Einsatzbeginn und Einsatzbereich. Aus den Anforderungen für die Energie- und für die Lysin-Versorgung wurde das empfohlene Lysin : Energie-Verhältnis als Vorgabe gesetzt, siehe Tabelle 2. Für die weiteren essenziellen AS wurden die für die jeweiligen Einsatzbereiche empfohlenen Relationen zum Lysin nach GfE 2006 unterstellt und die Soll-Werte je MJ ME ermittelt. Für diese erfolgte ein Vergleich mit den Analysewerten.

Tab.2: Empfehlungen zur Aminosäureversorgung von Schweinen: Lysin-Niveau und AS-Relation zu Lysin = 100, nach GfE 2006

Ferkel	8kg	12kg	16kg	20kg	25kg			
Lys(g/MJME)	1,0	0,95	0,90	0,85	0,81			
Mastschweine	25kg	35kg	45kg	55kg	65kg	75kg	85kg	
Lys(g/MJME)	0,83	0,75	0,74	0,72	0,70	0,65	0,60	
Sauen	niedertragend		hochtragend		säugend			
Lys(g/MJME)	0,45		0,50		0,70			
	Met+Cys	Thr	Trp	His	Ile	Leu	Phe+Tyr	Val
Ferkel	50	60	17	40	49	100	90	62
Mast*	51	60	16	44	49	105	88	65
TS**	63	67	19	45	50	102	96	67
LS**	59	65	20	41	56	113	109	70

* Mast > 30 kg LM: His 0,42-0,47 im Mastverlauf ansteigend, ** TS = tragende Sauen: 2. Trächtigkeit, incl. niedertragend; LS = Säug. Sauen: LM-Verlust 10 kg, Wurfwuchs 2 kg/d

Durch Bezug der analysierten Gehalte der nachrangigen Aminosäuren auf den Lysingehalt wird das realisierte AS-Muster ermittelt. Tabelle 3 weist den Mittelwert und die Spanne der AS-Relationen für einige Futtertypen aus. Die Häufigkeit der Einhaltung bzw. Unterschreitung der empfohlenen AS-Relationen ist für die Ferkel-, Mast- und Sauenfutter in Abbildung 1 dargestellt.

Tab.3: Verhältnis der ermittelten Gehalte der Aminosäuren zu Lysin (Lysin=100); Mittelwert (MW), Spanne (Sp., min/max-Werte)

Typ		M+C ¹	Thr	Trp	His	Ile	Leu	P+T ²	Val
Empfehlung		50	60	17	40	49	100	90	62
Fab	MW	58	66	20	33	52	96	105	61
8 kg	Sp.	46-110	55-100	13-28	24-53	39-80	78-149	75-168	49-97
Fab	MW	53	60	18	34	53	95	107	61
20 kg	Sp.	43-62	45-66	15-23	24-43	46-68	82-118	94-142	46-80
Empfehlung		51	60	16	44	49	105	88	65
AM	MW	58	61	22	38	56	104	116	68
	Sp.	37-75	45-74	15-30	27-51	41-71	56-129	81-153	53-86
EM	MW	60	65	21	41	61	114	120	76
	Sp.	54-65	62-69	19-25	33-48	48-74	88-131	96-154	59-89
Empfehlung		63/59	67/65	19/20	45/41	50/56	102/113	96/109	67/70
TS	MW	71	73	28	50	71	133	148	93
	Sp.	55-102	59-142	21-45	39-71	52-91	102-189	117-213	73-131
LS	MW	60	65	25	43	65	119	129	77
	Sp.	51-72	56-75	18-67	36-52	52-82	102-140	107-154	58-92

¹ Methionin+Cystin incl. MHA, ² Phenylalanin+Tyrosin

F = Ferkelfutter; AM, MM, EM = Anfangs-, Mittel-, Endmastfutter;

TS = Tragefutter, LS = Säugefutter

Üblicherweise ist Lysin die erstlimitierende AS. Im Mittel passen die AS-Relationen bei den meisten AS gut zu den Empfehlungen oder überschreiten diese. Es zeigen sich jedoch für alle AS bei einem Teil der Futter auch Unterschreitungen (Mindestwerte < Empfehlung). Besonders bei His weist ein großer Teil der Futter ein geringeres Verhältnis zu Lys auf, hier liegen die Relationen auch im Mittel unter den Empfehlungen (nur 33 bzw. 38-41 statt 40 bzw. 44 % des Lys-Gehaltes bei Ferkel- und Mastfutter). Besonders auffällig ist dies für den 1. Abschnitt

der Aufzucht und Mast. Bei Sauenfutter werden dagegen die Empfehlungen für His im Mittel erreicht.

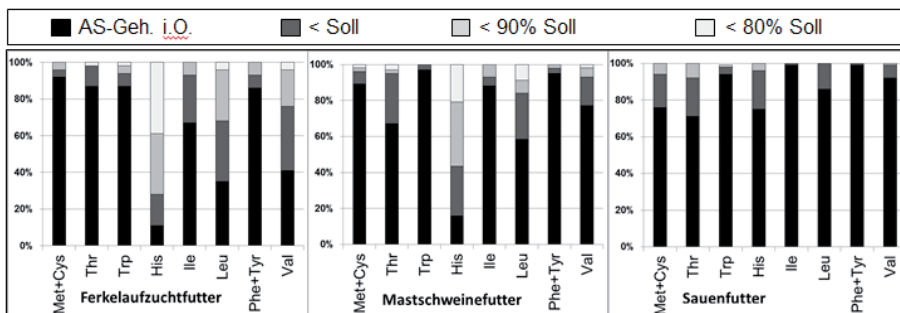


Abb. 1: Häufigkeit der Einhaltung der bzw. Abweichung von empfohlenen AS-Relationen bei einzelnen Aminosäuren, in v. H.

Knappe AS-Verhältnisse können durch hohe Lys-Zulagen, deutlich reduzierte Proteingehalte und geringere native Gehalte der betreffenden AS (natürliche Schwankungen der einzelnen Komponenten) bedingt sein. Die reinen AS-Relationen sollten aber nicht überbewertet werden, da diese Werte durch rel. hohe Lysingehalte gedrückt werden. Für eine weitergehende Bewertung eignen sich dann eher aufgenommene Mengen an AS je Tag oder der Bezug auf die Energie (Zuteilung nach bzw. Anpassung der Futteraufnahme an den Energiegehalt).

3.3 Soll-Ist-Vergleich der AS-Gehalte im Futter

Im Hinblick auf eine zutreffende Bewertung der AS-Versorgung für die einzelnen AS sind die unterschiedlichen Energiegehalte der Futter sowie die unterschiedlichen Anforderungen für den jeweiligen Einsatzbereich zu berücksichtigen (Tab. 2). Beim Vergleich der auf die Energie bezogenen AS-Gehalte mit den SOLL-Werten kann eine vom „Lysin-Status“ unabhängige Beurteilung der AS-Gehalte im Futter erfolgen. Dies ist in Tabelle 4 zusammenfassend dargestellt.

Beim Futter für junge Ferkel werden die Soll-Werte für sechs Aminosäuren sogar im Mittel nicht erreicht. Bei Lysin werden im Schnitt 91 % des Solls erreicht (57-106 %), bei His im Mittel nur 73 % (52-89 %), Bei den anderen Aminosäuren sind nur teilweise zu niedrige Gehalte festzustellen. Im Futter für ältere Ferkel werden die Soll-Werte besser getroffen, nur bei His wird der Soll-Wert im Mittel mit 95 % nicht ganz erreicht. Beim Mastfutter ist die Erfüllung der Empfehlungen

auch für das erste Futter (Anfangsmast) etwas schwächer, im Mittel werden bis auf His aber die Sollwerte erreicht. Bei Säugefuttern liegen nur die niedrigsten Werte unterhalb des Solls, beim Tragefutter ist nur Lysin (2x) knapp.

Tab. 4: Erfüllung der Soll-Werte (Empfehlungen) bei einzelnen Aminosäuren in % (Mittelwert und Spanne)

		Lys	M+C ¹	Thr	Trp	His	Ile	Leu	P+T ²	Val
	MW	96	108	102	110	80	102	92	112	95
Ferkel	min	57	91	87	77	52	77	73	73	72
	max	139	137	120	144	108	131	118	149	122
	MW	103	117	105	140	90	121	103	135	110
Mast	min	83	75	89	109	73	87	57	96	88
	max	123	145	129	200	117	217	139	178	144
	MW	115	124	121	157	124	151	138	160	145
Sauen	min	86	91	91	91	98	98	96	102	88
	max	151	161	235	357	172	217	184	235	195

¹ Methionin+Cystin incl. MHA, ² Phenylalanin+Tyrosin

Um den Anteil der Futter mit Unterschreitung der erforderlichen AS-Gehalte besser einschätzen zu können, ist die Anzahl der Futter mit Unterschreitung der Anforderungen (nominell, um > 10 % und um > 20 %) in Abbildung 2 grafisch dargestellt.

Aus den Detailergebnissen zeigt sich, dass vor allem zahlreiche Futter für junge Ferkel (1. Abschnitt ab 8 kg LM) bei mehreren AS knapp ausgestattet sind. Abgesehen von rein nominellen Unterschreitungen (und solchen um < 10 %) fallen beim Ferkelfutter v. a. die AS His, Leu, Val, Lys, auch Trp und Ile auf. 97 % der Ferkelfutter ab 8 kg lagen deutlich unter dem His-Soll-Wert, beim Futter für ältere Ferkel waren dies noch 38 %, für alle Ferkelfutter zwei Drittel. Bei Mastfutter war die Hälfte mit deutlich zu wenig His, selten waren Leu, Met+Cys, Thr und Val knapp. Im Sauenfutter wurden die Anforderungen gut erreicht. Da die Zulagen an AS nicht angegeben werden müssen, ist eine Einschätzung der Anzahl der zugesetzten AS und der Höhe der Zulage nicht möglich. Ggf. besteht sowohl bei den schon üblicherweise supplementierten AS Lys, (Met,) Thr als auch den AS

Trp (teurer) und Val (neu) durch höhere oder erstmalige Zulagen noch die Möglichkeit, die Anforderungen abzudecken. Bei Berücksichtigung der AS-Relationen laut GfE ist der His-Gehalt bei vielen Futtern deutlich zu niedrig und wäre vor allen anderen AS limitierend.

Die Empfehlungen des NRC (NRC, 2012) sehen für His deutlich geringere Werte vor (His : Lys = 35 : 100). Würde diese Empfehlung berücksichtigt, wären allerdings immer noch 80 % (statt 97 %) der Futter für junge Ferkel mit deutlich zu wenig His ausgestattet. Futter für ältere Ferkel und Anfangsmastfutter wären aber nur noch im Einzelfall bei His knapp. Da in der Praxis gute Leistungen erreicht werden, die His-Empfehlungen der GfE bei Ferkel- und Mastfutter in der Regel aber nicht erreicht werden konnten, sollten im Hinblick auf die unterschiedlichen Empfehlungen seitens GfE und NRC diese hinterfragt werden.

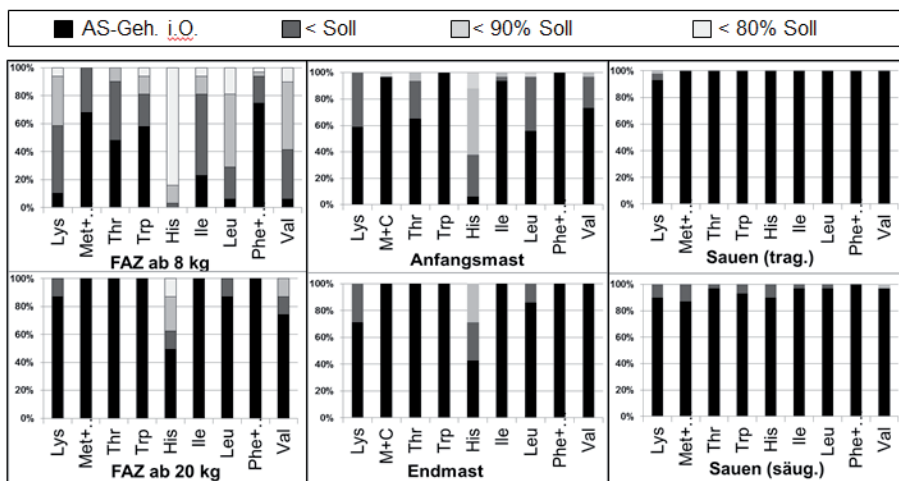


Abb. 2: Häufigkeit der Einhaltung der bzw. Abweichung von den Soll-Werten einzelner AS für Ferkel-, Mastschweine- und Sauenfutter, in v. H.

Bei sehr energiereichen Futtermischungen wird durch deutliche Ergänzung von mehreren essenziellen AS (Lys, Met, Thr, Trp, Val) der Proteingehalt sehr niedrig gehalten, so dass weitere nachrangige nicht zugesetzte essenzielle AS limitierend wirken können. Die Auswertung zeigt für Ferkelfutter Anteile von Lys im Rohprotein von 4,5-8,7 % (im Mittel 7,2 %), somit liegen z. T. deutliche Lysinulagen vor. Insbesondere Futter mit deutlicher Unterschreitung der gewünschten AS-Verhältnisse zu Lys liegen im Bereich über 8 % Lys im Rohprotein. Dann könnten nicht zugelegte essenzielle oder auch nichtessenzielle AS limitierend

wirken. Htoo nennt 7,4 % Lys im Rohprotein als Grenze, um die Limitierung durch nichtessenzielle AS zu vermeiden (Htoo, 2017). Von einzelnen Anfangsmastfuttern abgesehen sind im Mast- und Sauenfutter mit durchschnittlich 6,3 bzw. 5,3% geringere Lysingehalte im Rohprotein zu finden, was damit unproblematisch sein dürfte.

4 Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen einer Sonderuntersuchung wurden vom VFT 176 AF für Schweine auf alle essenziellen AS untersucht. Die analysierten AS-Werte wurden in Relation zu Lysin dargestellt. Bei den meisten AS wird im Mittel das geforderte Verhältnis zu Lysin erreicht, bei Histidin im Mittel dagegen nicht.

Zur Beurteilung der AS-Versorgung wird für den jeweiligen Einsatzbereich der einzelnen Futter das entsprechend empfohlene Lysin-Niveau und die empfohlene Relation der nachrangigen AS berücksichtigt. Die Anforderungen wurden je nach Einsatzbereich bei den AS unterschiedlich gut erfüllt. Bei Ferkelfutter waren die AS His, Leu, Val, Lys oft auffällig knapp. Im Mastfutter war His, selten auch Leu, Met+Cys, Thr und Val knapp. Im Sauenfutter wurden die Anforderungen guterreicht.

Ein ähnliches Ergebnis wurde bei einer AS-Analyse von Ferkelfutter aus dem Jahr 2016 ermittelt (Grünewald und Heinze 2017).

Bei der Futteroptimierung für Aufzucht und Anfangsmast sollten alle essenziellen AS berücksichtigt werden. Eine weitere Proteinreduzierung bedingt v. a. bei Ferkelfutter den Zusatz weiterer AS. Allerdings sind nicht nur die Gehalte weiterer AS, sondern auch die Zusätze der erstlimitierenden AS zu beachten, da auch Lysin und Thr im Ferkelfutter teils deutlich zu niedrig waren.

Die Anforderungen an His sind im Hinblick auf die unterschiedlichen Empfehlungen seitens GfE und NRC zu prüfen.

5 Literaturangaben

DLG, 2008: Empfehlungen zur Sauen- und Ferkelfütterung, DLG-Information 1/2008, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.

- EU, 2009: Verordnung (EG) Nr. 152/2009, III. F: Bestimmung des Gehaltes an Aminosäuren (außer Tryptophan), G: Bestimmung des Tryptophangehaltes. Amtsblatt der Europäischen Union, L 54 vom 26.02.2009.
- GfE, 2006: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 10. Schweine, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Grünewald, K.-H., A. Heinze, 2017: Aminosäureprofile von Ferkelaufzuchtfut-
ter. In 14. Tagung Schweine- und Geflügelernährung 21.-23.11.2017,
Lutherstadt Wittenberg.
- NRC (National Research Council), 2012: Nutrient Requirements of Swine, S.
211, The National Academies Press Washigton, D.C.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsan-
stalten (VDLUFA), 1993: Bd. III. Methode 4.11.4 Bestimmung von DL-2_
Hydroxy-4-Methyl-Mercapto-Buttersäure / nach Hydrolyse (Gesamt
MHAR). VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Htoo, J., 2017: Möglichkeiten des Einsatzes von Niedrig-Protein-Rationen mit
supplementierten Aminosäuren bei Schweinen in der Starter-, grower-
und finisherphase. AMINONews Nr. 1, Mai 2017.

Danksagung

Die Prüfung von Mischfutter durch den Verein Futtermitteltest e. V. wird dan-
kenswerter Weise insbesondere durch Zuschüsse des Bundesministeriums für
Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert.

Schätzung der ruminalen Freisetzung von Slow-Release Harnstoff im pansensaftbasierten in vitro-System Hohenheimer Futterwerttest

C. Böttger, A. Fröhlingsdorf, K.-H. Südekum

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften,
Bonn

1 Hintergrund

Harnstoff wird in der Landwirtschaft zum einen als Düngemittel, zum anderen als Futtermittelzusatzstoff für Wiederkäuer verwendet. Ziel ist in beiden Fällen die Bereitstellung von Stickstoff (N), dessen Gehalt in reinem Harnstoff 47 % beträgt. Grundlage der Nutzung als Futtermittelzusatzstoff ist die Fähigkeit von Mikroorganismen im Pansen, aus Nicht-Protein-Stickstoff-Verbindungen Aminosäuren und somit Protein zu synthetisieren. Einsatzgebiet ist eine gezielte N-Ergänzung in energiereichen Rationen für Wiederkäuer. Harnstoff und seine Derivate bilden eine Funktionsgruppe in der Kategorie der „ernährungsphysiologischen Zusatzstoffe“ (VO (EG) Nr. 1831/2003), der Einsatz von Harnstoffprodukten ist in VO (EU) Nr. 839/2012 geregelt.

Reiner Harnstoff weist eine schnelle Löslichkeit im Pansen auf, wodurch es zur Freisetzung hoher Mengen an Ammoniak-(NH₃)-N in kurzer Zeit kommt. Dies bedingt zum einen eine ineffiziente Nutzung von N durch die Pansenmikroben, zum anderen sind jedoch auch Gesundheitsbelastungen des Tieres möglich. Zur Vermeidung dieser Problematik wird Harnstoff auch in sogenannten Slow-Release Urea (SRU)-Produkten vermarktet und eingesetzt. Diese Produkte basieren meist auf einem Fettcoating und zielen auf eine verzögerte Freisetzung von Harnstoff (und letztendlich NH₃-N) im Pansen, die im Idealfall den N-Bedarf der Pansenmikroben optimal unterstützt. Unerwünschte Szenarien wären dagegen sowohl eine zu schnelle als auch eine zu langsame und somit unvollständige Freisetzung (Taylor-Edwards et al., 2009).

Der vorliegende Beitrag behandelt die Möglichkeit, die tatsächliche Freisetzung im Pansen von Harnstoff aus SRU-Produkten überprüfen zu können. Konkret wurde der Frage nachgegangen, ob sich Ausmaß und Geschwindigkeit der Freisetzung von N aus Harnstoffprodukten durch Erfassung von NH₃-N im pan-

sensaftbasierten in vitro-System Hohenheimer Futterwerttest (HFT; Menke und Steingass, 1988) schätzen lassen.

2 Material und Methoden

Bestandteil der Untersuchungen waren zwölf Harnstoffprodukte, darunter ein nicht geschützter Harnstoff, zehn SRU-Produkte sowie eine Diharnstoffverbindung (Düngeharnstoff, gezielt langsame Freisetzung). Letztere lag pulverförmig vor, alle weiteren Proben waren als Prills mit einem variablen Durchmesser von 1,5 bis 2,5 mm konfektioniert. Der N-Gehalt der untersuchten Produkte wurde nach Kjeldahl ermittelt (Methode 4.1.1; VDLUFA, 2012).

Es wurden je 15 ± 5 mg Harnstoffprodukt (3 Prills) in 100-mL Kolbenprober (entsprechend drei Prills) eingewogen und bei 39 °C in 30 mL eines Pansensaft-Puffergemisches im System HFT inkubiert. Die Inkubation erfolgte in mehreren Läufen, die jeweils zusätzlich Blindproben (nur Pansensaft-Puffergemisch) enthielten. Durchführung und Vorbereitung des HFT richtete sich nach Methode 25.1 des VDLUFA-Methodenbuches Bd. III (VDLUFA, 2012). Analog zu Fragestellungen zum Proteinwert wurde die Zusammensetzung der Pufferlösung leicht modifiziert (Edmunds et al., 2012; Steingaß und Südekum, 2013).

Je Zeitpunkt und Probe wurden drei bis sieben Kolbenprober, aufgeteilt auf mindestens zwei Läufe, inkubiert. Nach 2, 4, 6, 8, 12, 16 und 24 Stunden erfolgte die Entnahme einzelner Kolbenprober. Das Inkubationsmedium wurde durch anschließende Wasserdampfdestillation (Vapodest® 50s carousel, Gerhardt, Königswinter) auf den Gehalt an $\text{NH}_3\text{-N}$ untersucht.

Anhand folgender Formel wurde die prozentuale N-Freisetzung für jeden Zeitpunkt berechnet:

$$\text{N-Freisetzung} = (\text{NH}_3\text{-N}_{\text{PROBE}} - \text{NH}_3\text{-N}_{\text{BLINDWERT}}) / \text{N}_{\text{EINWAAGE}} \cdot 100$$

Anschließend erfolgte die Anpassung eines exponentiellen Modells über nichtlineare Regression (SAS 9.4, PROC NLIN; SAS, 2011):

$$\text{N-Freisetzung} = B \cdot (1 - e(-c \cdot t))$$

wobei

N-Freisetzung = Freisetzung als $\text{NH}_3\text{-N}$ (% der N-Einwaage),

B = Maximale Freisetzung, d. h. Plateau (% der N-Einwaage),

c = Fraktionale Freisetzungsrate ($\cdot \text{h}^{-1}$) und

t = Zeit (h).

3 Ergebnisse

Der N-Gehalt des nicht geschützten Harnstoffs entsprach dem von reinem Harnstoff, wohingegen die SRU-Produkte einen etwa 50 g/kg Trockenmasse niedrigeren und das Diharnstoffprodukt den niedrigsten N-Gehalt aufwiesen (Tab. 1).

Tab. 1: Analysierte N-Gehalte der untersuchten Harnstoffprodukte

Harnstoffprodukt	N-Gehalt (g/kg Trockenmasse)
Nicht geschützter Harnstoff	470
Diharnstoffprodukt	323
SRU-Produkte (n = 10)	418 (Mittelwert, Spanne 406-429)

SRU, Slow-Release Urea

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der nichtlinearen Regression dargestellt. Die geschätzte maximale Freisetzung war am höchsten für nicht geschützten Harnstoff und am niedrigsten für das Diharnstoffprodukt, während B für die SRU-Produkte zwischen diesen Werten lag. Das Diharnstoffprodukt wies auch für Parameter c den niedrigsten Schätzwert auf. Eine grafische Darstellung der prozentualen N-Freisetzung im Zeitverlauf findet sich in Abbildung 1 für nicht geschützten Harnstoff, das Diharnstoffprodukt sowie exemplarisch für zwei SRU-Produkte. Es zeigte sich eine bei den SRU-Produkten deutlich stärker ausgeprägte Variation zwischen den Einzelbeobachtungen je Zeitpunkt. Der mittels nichtlinearer Regression geschätzte Verlauf unterschied sich deutlich zwischen den verschiedenen Harnstoffprodukten.

Tab. 2: In vitro-Freisetzungskinetik von N aus Harnstoffprodukten, beschrieben durch Parameter B (maximale Freisetzung) und c (fraktionale Freisetzungsrates) eines exponentiellen Modells

Harnstoffprodukt	B (%)	c (\bullet h ⁻¹)
Nicht geschützter Harnstoff	93	0,65
Diharnstoffprodukt	26	0,09
SRU-Produkte (n = 10)	52-91	0,12-0,74
Standardfehler	4,2-12,9	0,031-0,464

SRU, Slow-Release Urea; B, Maximale Freisetzung als Anteil der N-Einwaage; c, fraktionale Freisetzungsrates

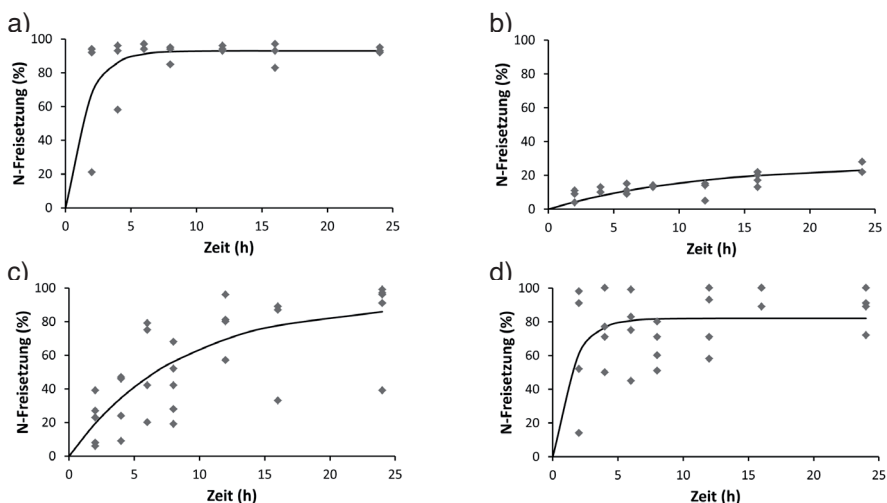


Abb. 1: Exemplarische grafische Darstellung der in vitro ermittelten prozentualen N-Freisetzung aus a) nicht geschütztem Harnstoff, b) Diharnstoffprodukt sowie c) und d) zwei SRU-Produkten. Einzelbeobachtungen und mittels nichtlinearer Regression geschätzter Verlauf.

4 Diskussion

Sowohl durch die grafische Darstellung als auch durch die zum Teil großen Standardfehler in der Schätzung der die Regressionsgleichung beschreibenden Parameter wurde eine erhebliche Variation der prozentualen Freisetzung innerhalb einzelner Produkte ersichtlich.

Auf der anderen Seite zeigte sich bei wiederholter Inkubation eine Variation nicht nur innerhalb sondern auch zwischen den einzelnen Produkten, eine Differenzierung ist also möglich. Zudem erscheinen die Ergebnisse plausibel: Ausmaß und Geschwindigkeit der Freisetzung waren für nicht geschützten Harnstoff und Diharnstoffprodukt besonders hoch bzw. niedrig.

In Vorversuchen wurden 100 ± 5 mg Harnstoffprodukt je Kolbenprober inkubiert, was jedoch zu einer Überfrachtung des Systems mit $\text{NH}_3\text{-N}$ und in der Folge zum unerwünschten Anstieg des pH-Werts auf bis zu 8 führte. Dies kann durch die daraufhin erfolgte Festlegung der Einwaage auf 15 mg als Kombination aus drei Prills verhindert werden. Allerdings stellt dieses Vorgehen einen Widerspruch zur Einwaage möglichst repräsentativer und homogener Proben dar. Die untersuchte Fragestellung kann jedoch nur mit der Inkubation intakter Prills untersucht werden, was ein Vermahlen des Produkts zur Homogenisierung ausschließt.

Die Standardabweichung der Einwaage lag bei < 2 mg. Es wurde untersucht, ob möglicherweise variierende N-Gehalte der Prills unterschiedliche N-Mengen in gewichtsmäßig identischen Einwaagen bedingen. Hierzu wurden 15 ± 5 mg jedes Harnstoffprodukts (entsprechend drei Prills) in zehnfacher Wiederholung einer N-Bestimmung nach Dumas unterzogen (Methode 4.1.2; VDLUFA, 2012; FP328, Leco 8.1, Leco, Mönchengladbach). Die ermittelte prozentuale Standardabweichung im N-Gehalt betrug maximal 13 % bei einem der untersuchten Produkte und unter 6 % für alle weiteren Produkte. Dies lässt den Schluss zu, dass die Einwaagemethodik zwar zur Variation beiträgt, aber nicht alleinige Ursache ist.

Abstufungen zwischen 15 und 100 mg Einwaage wurden in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht, eventuell ist eine leichte Steigerung beispielsweise auf etwa 20 mg (entsprechend vier Prills) möglich. In diesem Zusammenhang ist bei zukünftiger Nutzung des überprüften Ansatzes die in der Pufferlösung vorgenommene Reduktion der Konzentration an NaHCO_3 zugunsten von NH_4HCO_3 (Edmunds et al., 2012) zu überdenken, da hierdurch die Ausgangskonzentration von $\text{NH}_3\text{-N}$ im Inkubationsmedium bereits erhöht wird.

Weitere mögliche Ansätze zur Prüfung höherer Einwaagemengen und Erzielen einer damit potenziell einhergehenden verringerten Variation sind die Nutzung eines alternativen in vitro-Systems mit höheren Volumina oder die Zugabe eines energieliefernden Substrats, welches den Einbau des freiwerdenden $\text{NH}_3\text{-N}$ in

Mikrobenprotein ermöglicht. Laut einer aktuellen Studie ist auch die Nutzung einer durch freigesetztes NH_3 hervorgerufenen Reduktion der Gasbildung im HFT als Indikator für die Freisetzungsrates von $\text{NH}_3\text{-N}$ aus Harnstoff denkbar (Spanghero et al., 2018).

Zusammenfassend sprechen folgende Punkte für eine Beibehaltung (oder nur geringe Steigerung) der Einwaagemenge in zukünftigen Untersuchungen: Die mathematische Schätzung des Verlaufs der Freisetzung war trotz hoher Streuung möglich. Die übliche Einsatzmenge von Futterharnstoff liegt in der Größenordnung von etwa 50 bis 100 g pro Tier und Tag, was eine starke Relativierung der beobachteten Variation bedeutet.

5 Schlussfolgerungen

Die Einwaage von im HFT untersuchten Harnstoffprodukten sollte ca. 15 mg je Kolbenprober betragen um einen Anstieg des pH-Wertes im Inkubationsmedium zu vermeiden.

Die Darstellung der N-Freisetzung im Zeitverlauf lässt sich durch Anwendung einer nichtlinearen Regression beschreiben und ermöglicht die Differenzierung zwischen verschiedenen Harnstoffprodukten.

Die zum Teil sehr große Variation in der N-Freisetzung aus SRU-Produkten zu einem bestimmten Zeitpunkt ist bedingt durch die systembedingt geringe Anzahl von inkubierten Prills und deren individuelles Freisetzungsverhalten. Die Variation wird in größer dimensionierten in vitro-Systemen und bei üblichen Einsatzmengen im Pansen voraussichtlich geringer ausfallen.

6 Literaturangaben

Edmunds, B., Südekum, K.-H., Spiekens, H., Schuster, M., Schwarz, F. J., 2012: Estimating utilisable crude protein at the duodenum, a precursor to metabolisable protein for ruminants, from forages using a modified gas test. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175, 106-113.

- Menke, K. H., Steingass, H., 1988: Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* 28, 7-55.
- SAS, 2011: User's Guide: Statistics Version 9.3. SAS Institute, Inc, Cary, NC, USA.
- Spanghero, M., Nikulina, A., Mason, F., 2018: Use of an in vitro gas production procedure to evaluate rumen slow-release urea products. *Anim. Feed Sci. Technol.* 237, 19-26.
- Steingass, H., Südekum, K.-H., 2013: Proteinbewertung beim Wiederkäuer – Grundlagen, Analytische Entwicklungen und Perspektiven. *Übers. Tierernährg.* 41, 51-73.
- Taylor-Edwards, C. C., Hibbard, G., Kitts, S. E., McLeod, K. R., Axe, D. E., Vanzant, E. S., Kristensen, N. B., Harmon, D. L., 2009: Effects of slow-release urea on ruminal digesta characteristics and growth performance in beef steers. *J. Anim. Sci.* 87, 200-208.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Untersuchungen zur Milchwahnstoffbestimmung mit MIR-Spektroskopie im Vergleich zu Referenzverfahren

T. Jilg¹, T. Engelhard², C. Koch³, M. Pries⁴

¹LAZBW Aulendorf, ²ZTT Iden, ³LVA Hofgut Neumühle, Münchweiler, ⁴LWK NRW, Kleve

1 Einleitung

Die Milchwahnstoffkonzentration wird im Rahmen der Milchleistungsprüfung und in den Tankproben, die Grundlage für die Milchgeldabrechnung ist, untersucht. Im Monatsbericht werden Milchwahnstoff und Milcheiweiß zur Beurteilung der Proteinversorgung und Energieversorgung herangezogen. Weiter ist Milchwahnstoff ein Faktor für die Berechnung der N-Ausscheidungen nach Bannink and Hindle (2003), Spiekers und Obermaier (2007). Dieses Verfahren wird alternativ zu Tabellenwerten (DLG 2014) für die Nährstoffbilanzierung nach der Düngerverordnung von einigen Bundesländern anerkannt.

2 Material und Methoden

In drei Landeskontrollverbänden (LKV RP, LKV NRW, LKV ST) und einem Milchprüfing (MPR BW) wurden Harnstoffanalysen mit MIR-Spektrometrie (MIRS) vergleichend mit Referenzmethoden untersucht. In drei Einrichtungen wurde mit FOSS-Geräten analysiert. Als Referenzverfahren wurde bei drei Einrichtungen der Autoanalyser (SKALAR) mit kontinuierlicher Durchflussanalyse nach der DLQ-Richtlinie 1.13 eingesetzt. In der vierten Einrichtung (MPR BW) wurde mit einem Bentley-Gerät analysiert und als Referenzverfahren das System ChemSpec (Bentley) nach der DLQ-Richtlinie eingesetzt. In die Auswertung flossen 9 311 Milchproben, bei denen Harnstoff mit MIR und mit der Referenzmethoden (RM) untersucht wurde. Im Rahmen der Datenaufbereitung wurden alle Ergebnisse < 20 mg/ml und > 600 mg/ml verworfen, dies waren 11 Datensätze. Außerdem wurden 1 116 Datensätze aus dem großen Pool des LKV RP wegen auffälligen Autoanalyser-Werten verworfen. Zur Auswertung kamen 9311 Datensätze (Tab. 1.).

Für die Auswertung wurden die Prozeduren PROC REG und PROC CORR des Statistikpakets SAS 9.4 verwendet.

Tab. 1: Beschreibung der Daten

Labor	LKV NRW ¹		LKV RP ³		LKV ST ⁴		MPR BW ²		alle Daten	
RM	Autoanalyser				ChemSpe					
Methode	RM	MIRS	RM	MIRS	RM	MIRS	RM	MIRS	RM	MIRS
Anzahl	851		6140		1825		495		9311	9311
Mittelwert	210	196	211	184	225	224	238	246	215	196
Std.Abw.	66	70	44	51	48	48	38	44	47	55
Min	71	25	21	50	85	82	130	130	21	25
Max	448	402	417	411	375	387	380	420	448	420
VK, (%)	31	36	21	27	21	22	16	18	22	28
R ²	0,71		0,55		0,60		0,38		0,57	

¹NRW Nordrhein-Westfalen, ²BW Baden-Württemberg, ³RP Rhein-land- Pfalz, ⁴ST Sachsen-Anhalt, VK=Variationskoeffizient, R²= Bestimmtheitsmaß

In einem weiteren überregionalen Vergleich wurden Milchwahnhstoff in 521 Milchproben der LVA Neumühle (RP) mit dem Autoanalyser in RP und mit MIR-Spektrometrie in RP, NRW und BW untersucht.

3 Ergebnisse in den Laboren

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Regressionsanalyse dargestellt. Die Bestimmtheitsmaße lagen zwischen 0,38 (MPR) und 0,71 (NRW). Das Bestimmtheitsmaß zwischen Ergebnissen mit Referenzmethoden und MIRS lag bei 0,57 (n=9311).

Tab.2: Ergebnisse der Regressionsanalyse

Labor	Referenzmethode (X)	MIRS (Y)	R ²
LKVNRW	Autoanalyser	$Y=8,52+0,895 \cdot X$	0,71
MPRBW	Chemspec	$Y=77,27+0,710 \cdot X$	0,38
LKV RP	Autoanalyser	$Y=4,245+0,852 \cdot X$	0,55
LKV ST	Autoanalyser	$Y=48,767+0,776 \cdot X$	0,60
Alle Daten		$Y=6,565+0,882 \cdot X$	0,57

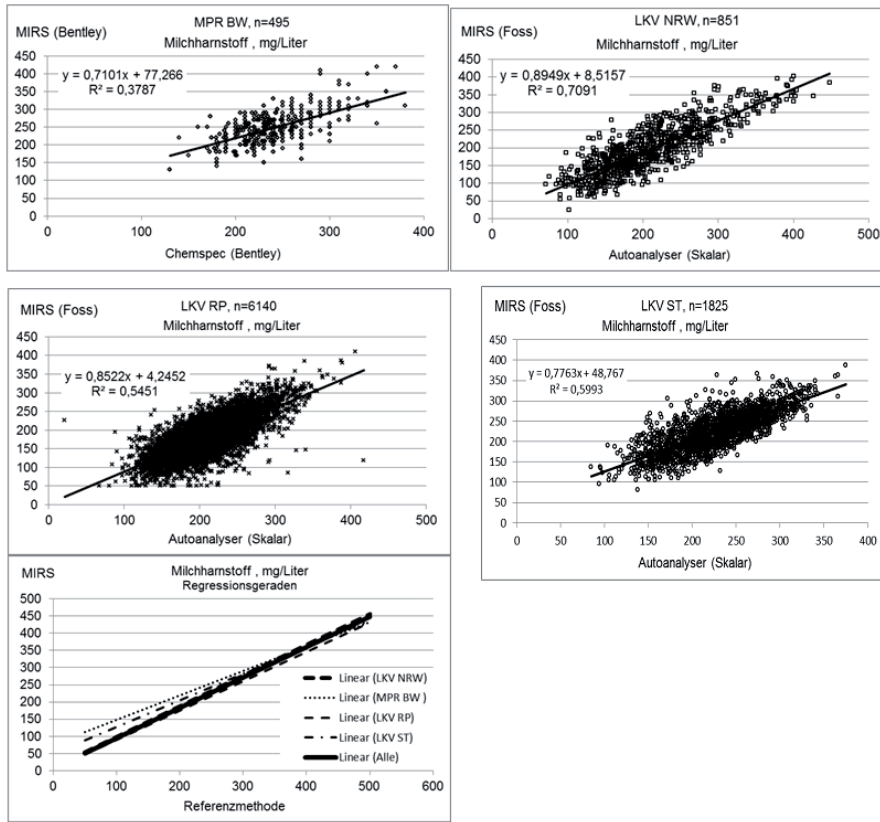


Abb. 1: Beziehung zwischen Milchharnstoff gemessen mit der Referenzmethode im Vergleich zu den mit MIRS ermittelten Werten in 4 Laboren

In Abbildung 1 sind die Werte und die Regressionsgeraden graphisch dargestellt. Die Ergebnisse von LKV NRW und LKV RP liegen am nächsten bei der Regression aller Daten. Es ist aber auch zu sehen, dass die gemessenen Werte erheblich von den Schätzwerten der Regressionsgeraden abweichen. Deswegen ergeben sich die niedrigen Bestimmtheitsmaße. Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalyse. Die Korrelationen liegen je nach Labor zwischen 0,615 und 0,842. Für die gesamten Datensatz beträgt der Korrelationskoeffizient 0,755.

Tab. 3: Korrelationen zwischen MIRS und Referenzmethode

Labor	r	p-Wert
LKVN RW	0,842	<.0001
MPRBW	0,615	<.0001
LKV RP	0,738	<.0001
LKV ST	0,775	<.0001
alle Daten	0,755	<.0001

4 Ergebnisse der überregionalen Auswertung

Die Ergebnisse der überregionalen Auswertung sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: Korrelationen zwischen Autoanalyser in RP und MIRS in regionalen Laboren

	MIRS			
	LKV NRW	MPRBW	LKV RP1	LKV RP2
Autoanalyser RP	0,76	0,71	0,82	0,81

Die Korrelationen liegen zwischen 0,71 und 0,82 und somit in der gleichen Größenordnung wie innerhalb der Labore. Die graphische Darstellung der Regressionsanalysen wird in Abbildung 2 gezeigt. Die Bestimmtheitsmaße liegen zwischen 0,50 und 0,67. Auch diese Auswertung zeigt, dass der Zusammenhang zwischen den mit der Referenzmethode und mit MIRS-Analytik ermittelten Ergebnissen nicht sehr hoch ist.

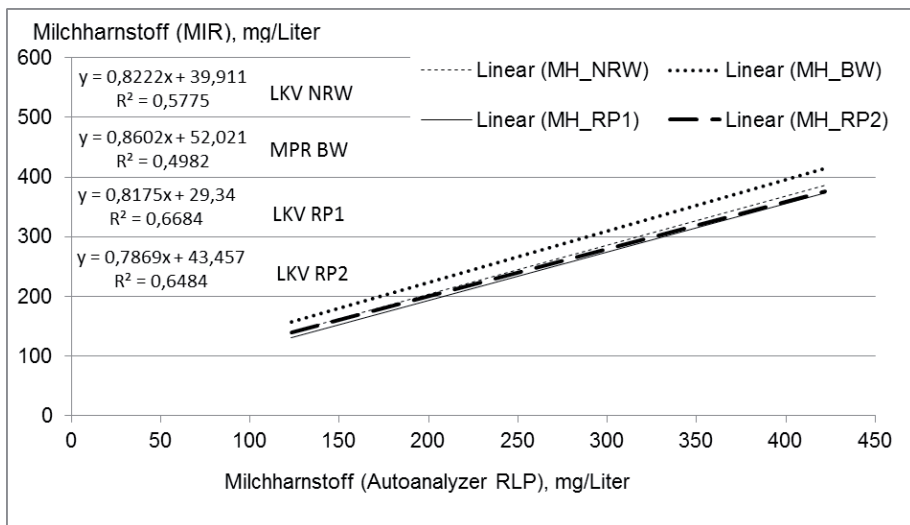


Abb. 2: Lineare Regression zwischen Referenzmethode (Autoanalyser) und MIRS-Analysen an Laboren in Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg.

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

In einer Untersuchung von Richardt und Scholz (2016) wurden ähnliche Ergebnisse erzielt.

Tab. 5: Bestimmtheitsmaß zwischen Referenzmethode und MIRS zur Milchnharnstoffbestimmung in Abhängigkeit von der Proteinversorgung der Kühe bei 2 Geräten (Richardt u. Scholz, 2016)

	Gerät CF1	Gerät CF3
alle Daten	0,861	0,849
XP-Versorgung niedrig	0,475	0,555
XP-Versorgung normal	0,482	0,513

Bei Korrelationen zwischen Referenzmethoden und MIRS-Verfahren von 0,60 bis 0,85 ist eine Einschätzung der Rohproteinversorgung der Einzelkuh nicht möglich. MIRS-Messungen können zur Fütterungskontrolle auf Herden- und Gruppenniveau unter Berücksichtigung anderer Parameter herangezogen werden. Die Verwendung des Milchnharnstoffgehaltes zur Schätzung von N-Aus-

scheidungen kann nur bei Verwendung der Referenzmethode erfolgen. Bei Fütterungsversuchen sollte stets mit Referenzmethoden gearbeitet werden.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse ist eine Weiterentwicklung der Kalibriergleichungen für die MIRS-Messung des Milchwahnstoffgehaltes in Zusammenarbeit mit den Herstellern zu fordern.

6 Literaturangaben

Bannink, A., Hindle, V.A., 2003: Prediction of N intake and N-excretion by dairy cows from milk data (in dutch). Report 030008567, Animal Sciences Group Lelystad.

Richardt, W. Scholz, H. 2016: Untersuchungen zur Messgenauigkeit der Milchwahnstoffbestimmung und Konsequenzen für die Interpretation der Proteinversorgung von Milchrindern. Forum angewandte Forschung, 12./13.04.2016, Fulda.

Spiekers, H., Obermaier, A. 2007: Milchwahnstoffgehalt und N-Ausscheidung. SuB Heft 4-5/07, III4-III9.

Untersuchungen zur Futteraufnahme und Zuwachsleistung in der Aufzucht von Fresserkälbern der Rassen Braunvieh und Fleckvieh bei variierender Höhe des Angebots an Milchaustauscher

T. Ettle¹, A. Obermaier¹, M. Heim²

¹LfL Bayern, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, ²LfL Bayern, Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur

1 Einleitung

Auf Grund der relativ großen Bedeutung der Rasse Braunvieh in der Milchviehhaltung in Bayern stehen neben Fleckviehkälbern auch männliche Braunviehkälber für die Mast zur Verfügung. Neuere vergleichende Untersuchungen zur Wachstumsleistung und zur notwendigen Mastintensität im spezialisierten Bereich der Aufzucht von Fresserkälbern im Gewichtsbereich von 80-200 kg liegen jedoch nicht vor. Deshalb wurde an der LfL Bayern eine Reihe von 3 entsprechenden Fütterungsversuchen durchgeführt, die zum Teil bereits an anderer Stelle beschrieben sind (Ettle et al., 2017, 2018). In dem vorliegend dargestellten Versuch wurde die Energie- und Nährstoffversorgung über unterschiedliche Einsatzmengen an Milchaustauscher (MAT) variiert.

2 Material und Methoden

Der Fütterungsversuch wurde an der Versuchsstation Karolinenfeld der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) mit 74 männlichen Kälbern der Rassen Braunvieh und Fleckvieh über einen Zeitraum von insgesamt 14 Wochen hinweg durchgeführt. Zu Versuchsbeginn hatten die 37 Braunviehkälber ein Gewicht von 77 ± 9 kg bei einem Alter von 39 ± 8 Tagen. Die 37 Fleckviehkälber hatten ein mittleres Gewicht von 83 ± 4 kg bei einem Alter von 46 ± 7 Tagen. Die Kälber wurden unter Berücksichtigung von Rasse, Lebendmasse und Alter gleichmäßig auf zwei Versuchsgruppen mit je 37 Tieren aufgeteilt. Ein Teil der Tiere (42 Kälber) war in zwei Tiefstreubuchten in einem Warmstall untergebracht, die übrigen Tiere (32 Kälber) in zwei Tiefstreubuchten in einem Aussenklimastall. Die Aufstallung erfolgte buchtenweise getrennt nach Rasse.

Während der Tränkephase wurde eine Trocken-TMR auf Basis Kraftfutter (55,7 %), Heu (30 %) und Melasse (14,3 %) verfüttert. In der Phase nach dem Absetzen wurde eine TMR mit Maissilage (durchschnittlich 63,6 %), Kraftfutter (30,8 %), Heu (3,7 %) und Melasse (1,9 %) verfüttert. Diese Ration wurde wöchentlich angepasst und orientierte sich an den Vorgaben der Gruber Tabellen in der Rindermast für Zuwachsraten von 1300 g/Tag (LfL, 2015).

Tab. 1: Zusammensetzung (%) der Kraftfuttermischungen während der Tränkephase und nach dem Absetzen

	Tränkeperiode	Nach dem Absetzen
	Zusammensetzung, %	
Gerste	31,7	4,0
Körnermais	20,0	23,0
Rapsextraktionsschrot	24,0	46,0
Trockenschnitzel	20,0	20,0
Sojaöl	0,5	2,5
Mineralfutter/Viehsalz	3,8	4,5

Tab. 2: Rohrnährstoff- und Energiegehalte der eingesetzten Futtermittel

	TM	XA	XP	XL	XF	aNDFom	ME
	g/kg			g/kg TM			MJ/kg TM
Maissilage	437	22	67	38	187	362	11,5
Heu	885	52	131	16	320	605	9,13
Kraftfutter, Tränkeperiode	894	81	165	33	97	268	12,8
Kraftfutter, nach dem Absetzen	900	111	227	62	113	254	12,3
Milchaustauscher	966	68	231	175	5	nd	16,5

Die Menge an verabreichter Tränke war für die beiden Versuchsgruppen gleich. Durch eine unterschiedliche MAT-Konzentration von 140 g MAT/Liter Wasser und 160 g MAT/Liter Wasser ergab sich für die Gruppen 140 und 160 g MAT/l ein Gesamtangebot von rund 30 und 35 kg MAT-Pulver je Tier. Es wurde ein Milchaustauscher mit 50 % Magermilchpulveranteil eingesetzt.

An Mischproben der Maissilagen sowie an den Einzelproben der Kraftfuttermischungen und des MAT wurden nach den Methoden des VDLUFA (2012) die Gehalte an Rohasche (XA, Methode 8.1), Rohfett (XL; 5.1.1), Rohprotein (XP; 4.1.1), Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung (aNDFom; 6.5.1) und Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung (ADFom; 6.5.2) ermittelt. Aus den Analysenwerten wurden die Energiegehalte nach den derzeit gültigen Vorgaben (GfE, 2008; DLG, 2011) errechnet. Aus den Rohnährstoff- und Energiegehalten der Einzelkomponenten (Tab. 2) und der Zusammensetzung der TMR wurden die Rohnährstoff- und Energiegehalte der TMR ermittelt. Die Futteraufnahme wurde täglich je Futtergruppe erfasst, die Aufnahme an MAT wurde automatisch am Tränkeautomaten erfasst. Die Lebendmasse der Tiere wurde alle 2 Wochen festgestellt und daraus die Tageszunahmen errechnet.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Version 9.3, SAS Institut, Cary, NC, USA; Varianzanalyse, Mittelwertsvergleich). Es konnten Daten von 73 Tieren ausgewertet werden, da ein Fleckviehkalb einen Nabelbruch erlitt. In den Tabellen sind die Gruppenmittelwerte und die zugehörigen Standardabweichungen dargestellt. Signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Gruppen sind mit unterschiedlichen Hochbuchstaben (SNK-Test) gekennzeichnet.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die zugeteilte Tränkemenge wurde in beiden Versuchsgruppen nicht ganz abgerufen, so dass sich für die Gruppen 140 g MAT/l und 160 g MAT/l eine Gesamt-MAT-Aufnahme von rund 29 und 33 kg/Tier ergibt. Zwischen den Rassen ergaben sich kaum Unterschiede im Tränkeabruf. Die Braunviehkälber nahmen im Durchschnitt 30,9 kg MAT-Pulver auf, die Fleckviehkälber 31,4 kg. Aus der Praxis ist häufig von Saugschwäche bei jungen weiblichen Braunviehkälbern zu hören. In Übereinstimmung mit weiteren Untersuchungen (Ettle et al., 2017; 2018) lässt sich dies durch vorliegende Messungen in der Fresseraufzucht nicht bestätigen.

Die Gesamtfutteraufnahme und damit die Aufnahme an TMR lag dagegen sowohl in der Tränkeperiode als auch nach dem Absetzen bei den Fleckviehkälbern etwas höher als bei den Braunviehkälbern (Tab. 3). Über den gesamten

Versuchszeitraum betrachtet ergibt sich ein Unterschied zwischen den Rassen von knapp 0,2 kg TM/Tier und Tag. Daraus ergibt sich für die Fleckviehkälber auch eine höhere Energie- und Nährstoffaufnahme.

Tab.3: Mittlere tägliche Futter-, Rohprotein- und Energieaufnahme in den Versuchsabschnitten

	Rasse	
	Braunvieh	Fleckvieh
Tränkeperiode		
TM-Aufnahme (kg/Tag)	1,53	1,68
MAT-Aufnahme (kg TM/Tag)	0,67/0,76*	0,66/0,78*
XP-Aufnahme, g/Tag	288	312
ME-Aufnahme, MJ/Tag	21,2	23,0
Nach Absetzen		
TM-Aufnahme (kg/Tag)	3,99	4,21
XP-Aufnahme, g/Tag	578	609
ME-Aufnahme, MJ/Tag	46,8	49,3
Gesamt		
TM-Aufnahme (kg/Tag)	2,94	3,13
XP-Aufnahme, g/Tag	454	482
ME-Aufnahme, MJ/Tag	35,8	38,0

* Gruppen 140 g MAT/l / 160 g MAT/l

Zum Absetzen betragen die Gewichte der Braunviehkälber durchschnittlich 119 kg, die der Fleckviehkälber 128 kg (Tab. 4). Die täglichen Zunahmen unterschieden sich während der Tränkephase mit 70 g/Tag leicht zwischen den Rassen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Braunviehkälber von Versuchsbeginn an leichter und auch etwa 1 Woche jünger waren, als die Fleckviehkälber, womit sich bezogen auf das Körpergewicht auch die Unterschiede in der Futteraufnahme egalalisieren. Zum Versuchsende hatten die Braunviehkälber ein mittleres Gewicht von 198 kg, die Fleckviehkälber von 208 kg. Die täglichen Zunahmen lagen nach dem Absetzen bei 1410 und 1421 g/Tag. Die sehr geringe Differenzierung zwischen den Rassen ist dabei auf den leichten Wachstumsein-

bruch der Fleckviehtiere in der Gruppe 160 g MAT/l zurückzuführen. Bei Fleckvieh wurden damit die in früheren Untersuchungen erreichten Zuwachsraten von über 1300 g/Tag im Durchschnitt nicht ganz erreicht. Für Braunvieh bestätigt sich in der Aufzucht von Fresserkälbern das Potential für tägliche Zunahmen von deutlich über 1200 g/Tier und Tag (Ettle et al., 2017, 2018). Der Futteraufwand betrug bei Braunvieh und Fleckvieh 2,4 und 2,5 kg TM/kg Zuwachs, d. h. die Unterschiede zwischen den Rassen liegen im Schwankungsbereich und sind zu vernachlässigen. Das gleiche gilt für den Aufwand an Energie, der für Braunvieh und Fleckvieh 29 und 30 MJ ME/kg Zuwachs betrug. Andererseits unterstreichen diese Zahlen, dass das Potential der Rasse Braunvieh in der Aufzucht von Fresserkälbern dem der Rasse Fleckvieh nicht nachsteht. Wie in früheren Untersuchungen wurden dabei keine größeren Schwierigkeiten (Tränke- und Futteraufnahme, Krankheitsanfälligkeit) bei der Aufzucht von Fresserkälbern der Rasse Braunvieh im Vergleich zu Fleckvieh festgestellt. Entsprechende Bedenken, die häufig in der Praxis geäußert werden, können somit nicht bestätigt werden. Insgesamt wird für die Frage der Rassenwahl der Erfolg in der späteren Ausmast entscheidend sein.

Der Einfluss der MAT-Konzentration der Tränke auf die täglichen Zunahmen war insgesamt gering, was sich auch durch die relativ geringen Unterschiede in der gesamten MAT-Aufnahme zwischen den Gruppen erklären lässt. Darüber hinaus lag die gesamte MAT-Aufnahme bereits in der Gruppe 140 g MAT/l vergleichsweise hoch. Insgesamt bestätigt sich damit eine Reihe von Versuchsergebnissen (Ettle et al., 2009, 2007) nach denen die MAT-Aufwandmenge 25 kg/Tier nicht übersteigen sollte.

Auf Grundlage der Internet-Deckungsbeiträge der LfL (LfL, 2018) wurde eine ökonomische Bewertung der Daten im Rassenvergleich vorgenommen. Als Bezugszeitraum für die Preise und Kosten wurde der Durchschnitt der Jahre 2013-2015 verwendet, um die Vergleichbarkeit mit einem ähnlichen Versuch (Ettle et al., 2018) zu gewährleisten. In der Fütterung sind die variablen Kosten für Maissilage im dreijährigen Schnitt ohne Prämien kalkuliert; bei den anderen Komponenten liegen die LfL-Preisstatistik bzw. Angaben des Landhandels zu Grunde (Tab. 5). Tabelle 6 fasst die Leistungen und variablen Kosten im Deckungsbeitrag zusammen. Der mit Abstand größte Kostenfaktor ist der Tierzukauf (Einstellwert). Die Werte stammen aus der Kälberpreisstatistik des Landesverbands Bayerischer Rinderzüchter; für das Braunvieh ergibt sich hier ein Vorteil von 260 €/Tier. Dies übertrifft den Mehrerlös, den der Fleckviehfresser

beim Verkauf erzielt, leicht. Bei der Marktleistung wird in Anlehnung an die LKV-Ergebnisse der Fresserzeugung für beide Rassen ein Verlustausgleich von 1,3 % in Ansatz gebracht. Die Futterkosten sind bei beiden Varianten praktisch gleich.

Tab. 4: Entwicklung der Lebendmasse und der täglichen Zunahmen

	Versuchsgruppe			
	Braunvieh		Fleckvieh	
	140g MAT/l	160g MAT/l	140g MAT/l	160g MAT/l
Lebendmasse (kg)				
Beginn	77±9 ^b	77±9 ^b	84±4 ^a	83±4 ^{ab}
Absetzen	119±13 ^b	120±13 ^{ab}	129±11 ^a	128±8 ^a
Ende	197±22	200±19	210±18	205±15
Tägliche Zunahmen (g)				
Tränkeperiode	988±136	1021±187	1070±195	1079±163
Nach Absetzen	1392±173	1428±173	1457±174	1384±175
Gesamt	1219±137	1253±149	1291±162	1253±143

Tab. 5: Futterverbrauch und Futterkosten (Ø der Jahre 2013-2015, brutto)

Futtermittel	Verbrauch (dt Frischmasse/Tier)		Kosten (€/dt Frischmasse)
	Braunvieh	Fleckvieh	
Maissilage	2,41	2,54	3,60 ¹⁾
Heu	0,25	0,28	10,13 ²⁾
Milchaustauscher (50% MMP)	0,31	0,31	217,32 ²⁾
Melasse	0,12	0,14	35,31 ²⁾
Krafftutter 1	0,22	0,26	21,77 ³⁾
Krafftutter 2	1,13	1,19	26,07 ³⁾
Mineralfutter	0,04	0,04	40,75 ²⁾

¹⁾ Variable Kosten lt. LfL-Internet-DB, ohne Prämien

²⁾ Preis lt. LfL-Statistik bzw. Agrarhandel

³⁾ Preis lt. LfL-Statistik, eigene Berechnungen

Tab. 6: Deckungsbeitrag¹⁾

(€/Tier)	Rasse	
	Braunvieh	Fleckvieh
Marktleistung ²⁾	599	850
Düngerwert	7	7
Summe Leistungen	606	857
Einstellwert	237	497
Milchaustauscher	67	67
Kraffutter	34	37
Melasse, Mineralfutter	6	7
Einstreu	8	8
Sonstige variable Kosten ³⁾	57	57
Summe Variable Kosten	409	673
Deckungsbeitrag I	197	184
Variable Grobfutterkosten	11	12
Deckungsbeitrag II	186	172
Deckungsbeitrag II (€/Jahr) ⁴⁾	624	578
Deckungsbeitrag II (€/Futtertag)	1,90	1,76

¹⁾nach LfL-Internet-DB, Ø 2013-2015, brutto;²⁾ abzüglich 1,3% Verluste;³⁾ Tierarzt, Wasser, Energie, Maschinenkosten Stall, Gebühren;⁴⁾ Belegung 90%

Beim Deckungsbeitrag II (nach Grobfutter) ergibt sich für Braunvieh im Vergleich zum Fleckvieh unter den getroffenen Annahmen ein Vorteil von 15 €/Tier was etwas höher liegt als die bei Ettlé et al. (2018) ermittelten 5 €. Die Unterschiede zwischen den Versuchen ergeben sich in erster Linie durch die Unterschiede in den Einstallgewichten und damit dem Zukaufspreis.

4 Fazit

In vorliegender Untersuchung wurde die Zuwachsleistung in der Fresseraufzucht mit Braunvieh und Fleckvieh bei Einsatz variierender MAT-Aufwandmengen verglichen. Bei insgesamt hohen MAT-Aufwandmengen zeigten sich nur geringe Unterschiede in der Leistung nach unterschiedlicher Versorgung mit MAT. Insgesamt bestätigt sich damit eine Reihe von Versuchsergebnissen nach

denen die MAT-Aufwandmenge 25 kg/Tier nicht übersteigen sollte. Braunviehkälber erbrachten mit über 1200 g täglichen Zunahmen sehr gute Leistungen, was die Ergebnisse früherer Versuche bestätigt. Die ökonomische Bewertung zeigte eine leichte Überlegenheit bei der Aufzucht von Fresserkälbern der Rasse Braunvieh im Vergleich zum Fleckvieh. Großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben bei beiden Rassen die Qualität und der Preis der Kälber, der Fressererlös und die Tierverluste. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren kann die Fresseraufzucht von Braunviehkälbern für den Landwirt eine sinnvolle Alternative zur Aufzucht von Fleckviehkälbern darstellen.

5 Literaturangaben

- DLG, 2011: Leitfaden zur Berechnung des Energiegehaltes bei Einzel- und Mischfuttermitteln für die Schweine- und Rinderfütterung.
- Ettle, T., Obermaier, A., Deutinger, A, Heim, M., 2018: Vergleichende Untersuchungen zur Futteraufnahme und Zuwachsleistung in der Aufzucht von Fresserkälbern der Rassen Braunvieh und Fleckvieh. Tagungsband 56. Jahrestagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung e.V. (BAT), 152-157.
- Ettle, T., Obermaier, A., Edelmann, P., 2017: Einfluss unterschiedlicher MAT-Konzentrationen (120 vs. 160 g/l) auf Futteraufnahme und Zuwachs von Fresserkälbern (FV und BV). Tagungsband Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 71-74.
- Ettle, T., Obermaier, A., Schuster, H., Spiekers, H., 2009: Untersuchungen zum Einsatz von Milchaustauscher in der Fresseraufzucht mit Fleckvieh. VDLUFA-Schriftenreihe 65/2009, 304-308.
- GfE, 2008: New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 17, 191-197.
- LfL, 2015: Gruber Tabellen zur Fütterung in der Rindermast. LfL-Information, 19. Auflage.
- LfL, 2018: Internet-Deckungsbeiträge der LfL Bayern. Online verfügbar: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/>.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Untersuchungen zur Futteraufnahme und zum Energieaufwand von Jungrindern der Rasse Fleckvieh und Holstein

L. Gruber¹, T. Ettle², F.J. Schwarz³, B. Fischer⁴, M. Pries⁵, T. Jilg⁶, C. Koch⁷, U. Meyer⁸, H.-J. Kunz⁹, M. Royer¹, A. Susenbeth¹⁰

¹Institut für Nutztierforschung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, ²Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, LfL Grub, Poing, ³Lehrstuhl für Tierernährung, TU München, Freising-Weihenstephan, ⁴LLFG Sachsen-Anhalt, Iden, ⁵LWK Nordrhein-Westfalen, Bad Sassendorf, ⁶FB Rindviehhaltung, LAZBW, Aulendorf, ⁷LVV, Hofgut Neumühle, Münichweiler, ⁸Institut für Tierernährung, FLI, Braunschweig, ⁹Institut für Tierzucht und Tierhaltung, CAU, Kiel, ¹⁰Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie, CAU, Kiel

1 Einleitung

In den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten wurde die Milchleistung sowohl bei Holstein als auch bei Fleckvieh kontinuierlich gesteigert (ADR, 2017; ZAR, 2017), was sowohl durch Verbesserung der Umwelt als auch durch züchterische Maßnahmen erreicht wurde. Die dadurch bedingte Veränderung des Genotyps in Richtung „Milchleistung“ hat – auf Grund der negativen genetischen Korrelation zwischen Milchleistung und Fleischleistung (Pirchner, 1979; Alps und Averdunk, 1984) – auch Auswirkungen auf die Körperzusammensetzung und damit auch auf die Zusammensetzung des täglichen Zuwachses bzw. dessen Energie- und Proteingehalt. Weiters führte die Züchtung auf höhere Milchleistung auch zu Tieren mit höherer Körpergröße und Körpermasse (Gruber und Ledinek, 2017), und zwar auf Grund der positiven genetischen Korrelation zwischen Milchleistung und Lebendmasse (Veerkamp, 1998). Dies führte weiters dazu, dass sich das physiologische Alter und damit die Körperzusammensetzung bei einer bestimmten Lebendmasse verändert hat und auch von höheren Mastendgewichten auszugehen ist.

Aus diesen Zusammenhängen ergibt sich, dass die „Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder“ (GfE, 1995) einer Überarbeitung und Anpassung an die geänderten genetischen Verhältnisse bedürfen. Diese Arbeiten werden in einer Arbeitsgruppe im Rahmen des Ausschusses für Bedarfsnormen der GfE durchgeführt. Dies hat leider weitreichende Aus-

wirkungen! Im vorliegenden Bericht wird die Futtermittelaufnahme und der Energieaufwand von Rindern der Rasse Fleckvieh und Holstein in der Aufzuchtphase auf der Basis von umfangreichen Daten aus neun Forschungseinrichtungen in Deutschland und Österreich dargestellt.

2 Material und Methoden

2.1 Herkunft der Daten

An der Untersuchung sind die in Tabelle 1 angeführten neun Forschungseinrichtungen beteiligt. Aus dem süddeutschen Raum (Grub, Weihenstephan, Aulendorf) kommen vor allem Daten zur Rasse „Fleckvieh“ und zum Geschlecht „männlich“, während aus dem nördlichen Raum – entsprechend den gegebenen Produktionsbedingungen – ausschließlich Ergebnisse zur Rasse „Holstein“ in den Datenpool fließen, vorwiegend „weiblichen“ Geschlechts (Neumühle, Iden, Braunschweig, Riswick, LWK SH). Zum Teil waren an einigen Instituten beide Rassen und/oder beide Geschlechter vertreten (z. B. Raumberg-Gumpenstein), was aus statistischer Sicht von Vorteil ist. Zum Zeitpunkt dieser vorläufigen Auswertung standen 711 Datensätze aus 32 verschiedenen Aufzuchtversuchen mit einer durchschnittlichen Versuchsdauer von 108 Tagen bei 1 700 Tieren zur Verfügung.

Tab. 1: Beteiligte Institute und Datenumfang – Verteilung von Rasse und Geschlecht

Institut ¹⁾ (Kurzbezeichnung)	Versuche	Daten- sätze	Tiere	Versuchs- tage	Rassen	Ge- schlecht
Gumpenstein	2	-	-	-	FV, HO	m, w
Grub	13	275	566	105	FV, (BS)	m, w
Weihenstephan	11	187	647	82	FV	m
Aulendorf	4	62	123	110	FV	m, w
Neumühle	3	-	-	-	HO	-
Iden	4	-	-	-	HO	w
Braunschweig	1	-	-	-	HO	w
Riswick	2	106	62	149	HO	m, w
LWKSH	2	81	319	94	HO	m, w
Summe/Mittelw.	42	711	1717	108	FV, HO	m, w

¹⁾Genaue Institutsbezeichnung siehe unter Autoren

2.2 Beschreibung des Datenmaterials und statistische Auswertung

Wesentliche Inhaltsstoffe der Futtermittel finden sich in Tabelle 2. Als Grundfutter wurden Heu und in den meisten Fällen Maissilage herangezogen, welche durchschnittliche Werte aufwiesen, allerdings mit großen Streuungsbereichen zwischen den Instituten bzw. Versuchen. Das Heu wies im Durchschnitt 13,5 % XP, 29,4 % XF, 55,1 % NDF sowie 9,4 MJ ME auf. Die entsprechenden Werte der Maissilage betragen 7,7 % XP, 19,3 % XF, 41,7 % NDF sowie 10,9 MJ ME. Der Proteingehalt des Kraftfutters zeigte auf Grund diverser Versuchsfragestellungen einen großen Streuungsbereich (3-44 % XP) bei einem Energiegehalt von $12,4 \pm 0,9$ MJ ME (alle Angaben pro kg TM).

Die Kriterien der Versuchstiere hinsichtlich Alter, Lebendmasse und Fütterung sind in Tabelle 3 angeführt. Im Durchschnitt standen die Tiere 13,7 Wochen im Aufzuchtversuch und wiesen eine Lebendmasse von 136 kg auf, mit einer Spannweite von 80 bis 219 kg. Die mittlere Futteraufnahme betrug 1,55 kg Grundfutter, 1,75 kg Kraftfutter und somit 3,30 kg Gesamtfutter (TM).

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Statgraphics (2014). Da in keinem der Forschungsinstitute Einrichtungen zur Erhebung der tierindividuellen Futteraufnahme vorhanden waren, wurden alle Daten pro Versuchsgruppe und Zeitintervall der Erhebung der Lebendmasse (meistens 1 Woche) gemittelt (Lebendmasse, Alter, Futter- und Nährstoffaufnahme). Die Daten wurden mit der Prozedur GLM als Meta-Analyse unter Ausschaltung des Einflusses von Institut und Versuch innerhalb Institut nach folgendem Modell ausgewertet (fixe Effekte in Großbuchstaben, Regression in Normalschrift):

$$y = \text{RASSE} + \text{GESCHLECHT} + \text{LEBENDMASSE} + \\ \text{INSTITUT} + \text{VERSUCH}(\text{INSTITUT}) + \\ \text{RASSE} \times \text{LEBENDMASSE} + \\ \text{GESCHLECHT} \times \text{LEBENDMASSE} + \\ \text{Lebendmassezunahme}^{1,2)} + \text{Kraftfutter}^{1)} + \text{ME}_{\text{Grundfutter}}^{1)}$$

¹⁾ Modell für Futteraufnahme, ²⁾ Modell für Energieaufwand

Tab. 2: Charakterisierung der Futtermittel (in der TM)

Futtermittel	Einheit	Mittelw	Stabw	Varkoeff	Min	Max
Heu						
Rohprotein	g	135	26	19,1	78	183
Rohfett	g	21	7	30,6	12	39
Rohfaser	g	294	30	10,2	240	348
NDF	g	551	49	8,9	458	635
ADF	g	328	30	9,2	272	385
ADL	g	35	5	13,0	27	42
Rohasche	g	67	20	30,1	40	114
ME	MJ	9,4	0,5	5,8	8,5	10,4
nXP	g	128	8	6,5	109	142
Maissilage						
Rohprotein	g	77	7	9,2	58	90
Rohfett	g	32	4	13,2	23	39
Rohfaser	g	193	18	9,6	141	234
NDF	g	417	33	8,0	329	498
ADF	g	215	18	8,3	170	262
ADL	g	21	3	13,5	13	27
Rohasche	g	34	6	17,7	21	49
ME	MJ	10,9	0,3	2,4	10,4	11,5
nXP	g	132	3	2,4	124	140
Kraftfutter						
Rohprotein	g	216	50	23,0	30	442
Rohfett	g	31	14	46,4	0	71
Rohfaser	g	65	50	76,7	0	465
NDF	g	207	90	43,7	0	833
ADF	g	90	56	62,3	0	466
ADL	g	24	21	87,5	0	102
Rohasche	g	71	34	47,5	35	259
ME	MJ	12,4	0,9	7,0	6,4	13,8
nXP	g	189	22	11,7	70	272
Milch						
Rohprotein	g	230	22	9,7	184	271
Rohfett	g	198	61	30,7	66	321
Rohfaser	g	4	3	93,4	0	11
NDF	g	–	–	–	–	–
ADF	g	–	–	–	–	–
ADL	g	–	–	–	–	–
Rohasche	g	76	13	17,6	54	100
ME	MJ	17,0	1,4	8,3	13,9	21,0
nXP	g	170	13	7,7	155	223

Tab. 3: Kriterien der Tiere zu Lebendmasse und Fütterung

Parameter	Einheit	Mittelw	Stabw	Varkoeff	Min	Max
Alter und Lebendmasse						
Versuchszeitraum	Wochen	13,7	4,4	32,3	3,9	28,0
Lebendmasse	kg	135,8	35,2	25,9	80,0	218,9
Lebendmasse-Zunahme	g/d	1133	229	20,2	449	1782
Futter- und Nährstoffaufnahme (pro Tag)						
Milch bzw. MAT (>0)	kg TM	0,62	0,17	27,2	0,11	0,98
Heu (>0)	kg TM	0,31	0,17	53,2	0,001	1,15
Maissilage (> 0)	kg TM	1,21	0,81	66,9	0,002	3,25
Grundfutter	kg TM	1,55	1,02	65,5	0,00	4,83
Kraffutter (inkl. Milch)	kg TM	1,75	0,46	26,4	0,65	3,33
Gesamtfutter	kg TM	3,28	1,26	38,3	0,77	6,24
Rohprotein	g XP	524	167	31,9	157	1201
Nutzbares Rohprotein	g nXP	526	191	36,4	131	1146
Energie	MJ ME	38,7	12,9	33,2	12,3	70,9
Nährstoffkonzentration des Grundfutters (in der TM)						
XF	g	235	34	14,4	147	331
NDF	g	466	48	10,4	361	607
ADF	g	260	36	13,8	187	354
ADL	g	27	5	18,9	14	42
Energie	MJ ME	10,3	0,5	5,2	8,5	11,4
XP	g	100	20	20,4	68	168
nXP	g	129	5	3,6	112	142
Nährstoffkonzentration des Kraffutters (in der TM, inkl. Milch)						
XF	g	62	29	46,4	7	118
NDF	g	187	74	39,8	9	366
ADF	g	84	42	50,5	4	195
ADL	g	25	18	73,8	1	90
Energie	MJ ME	13,1	1,3	9,9	11,3	20,2
XP	g	219	30	13,6	131	382
nXP	g	186	14	7,3	141	233
Nährstoffkonzentration der Gesamtration (in der TM)						
XF	g	127	40	31,4	22	215
NDF	g	289	79	27,4	38	412
ADF	g	148	46	31,1	20	248
ADL	g	24	10	40,7	3	41
Energie	MJ ME	12,2	1,2	10,1	10,5	19,1
XP	g	167	25	15,0	118	238
nXP	g	162	9	5,9	137	209
RNB	g	0,7	3,1	440	-4,5	12,3
XP/ME-Verhältnis	g/MJ	13,7	1,4	10,4	10,5	17,6

3 Ergebnisse

3.1 Futteraufnahme

Für die Futteraufnahme und den Energieaufwand wurde im Prinzip das gleiche statistische Modell verwendet (siehe Abschnitt 2.2), mit der Ausnahme, dass im Modell Futteraufnahme zusätzlich zur Lebendmasse-Zunahme (LMZ, kg/d) auch die Kraftfuttermenge (KF, kg TM/d) sowie die Energiekonzentration des Grundfutters (ME_{GF} , MJ/kg TM) als Regressionsvariable herangezogen wurden. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Übersicht 1 und Abbildung 1 dargestellt.

Der wichtigste Einflussfaktor ist die Lebendmasse bzw. das Alter der Tiere ($P < 0,001$), während sich Rasse ($P = 0,384$) und Geschlecht ($P = 0,036$) in deutlich geringerem Ausmaß auswirken. Hochsignifikant sind auch die Wechselwirkungen zwischen Lebendmasse und Rasse bzw. Geschlecht, d. h. der Effekt der Lebendmasse auf die Futteraufnahme ist abhängig von Rasse und Geschlecht der Tiere. Hochsignifikant ist auch die Wirkung des Kraftfutters, der Lebendmasse-Zunahme sowie der Energiekonzentration des Grundfutters (Abb. 1). Die Futteraufnahme errechnet sich nach diesem Modell aus dem Gesamtmittelwert (3,80 kg TM) plus dem jeweiligen Effekt von Rasse, Geschlecht bzw. Lebendmasse (zweite Zeile in der Übersicht 1):

z. B.: $\text{Futteraufn.}_{[FV, \text{weibl.}, 190 \text{ kg LM}]} = 3,80 - 0,03 + 0,05 + 1,12 = 4,94 \text{ kg TM}$

Übers. 1: Einfluss von Rasse, Geschlecht und Lebendmasse auf die Futteraufnahme von Aufzuchttrindern (kg TM/d)

LS-	Rasse		Geschlecht		Lebendmasse						
	FV	HO	M	W	90	110	130	150	170	190	210
Mean	3,77	3,83	3,75	3,86	2,05	2,61	3,42	4,06	4,48	4,93	5,08
Effekt	-0,03	0,03	-0,05	0,05	-1,75	-1,20	-0,39	0,25	0,68	1,12	1,27

Fleckvieh (männl. und weibl.)								Holstein (männl. und weibl.)							
90	110	130	150	170	190	210		90	110	130	150	170	190	210	
2,13	2,71	3,47	4,02	4,36	4,76	4,97		1,98	2,50	3,36	4,09	4,60	5,09	5,18	
-1,68	-1,09	-0,33	0,22	0,56	0,96	1,17		-1,82	-1,30	-0,44	0,29	0,80	1,28	1,38	
Männlich (FV und HO)								Weiblich (FV und HO)							
2,09	2,59	3,23	3,93	4,38	4,83	5,18		2,02	2,62	3,60	4,18	4,58	5,03	4,97	
-1,71	-1,21	-0,57	0,13	0,58	1,02	1,38		-1,79	-1,18	-0,20	0,38	0,78	1,22	1,17	

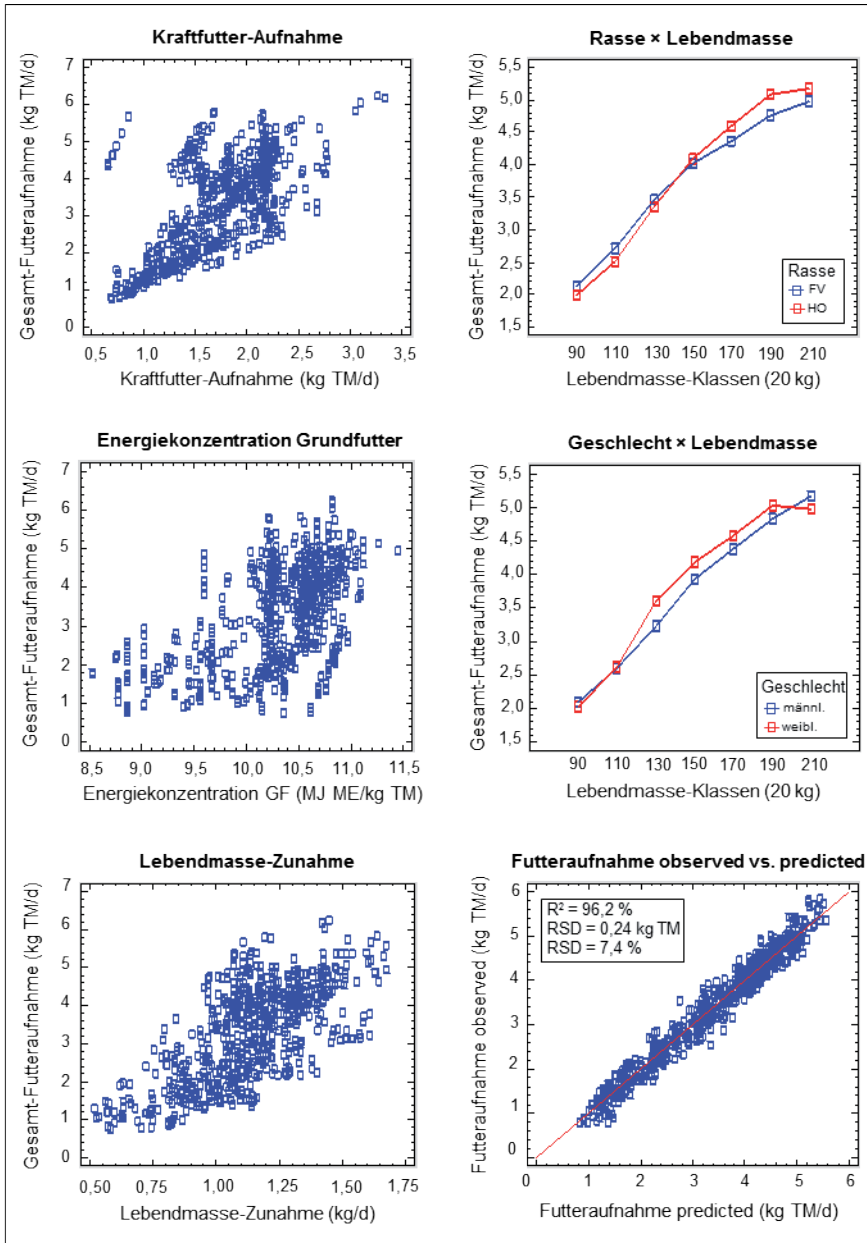


Abb. 1: Einflussfaktoren auf die Futteraufnahme von Aufzuchtrindern

3.2 Energieaufwand

Die Darstellung in Abbildung 2 zeigt, dass zwischen Lebendmasse und Futteraufnahme eine sehr enge Beziehung besteht (Abb. 1; siehe auch Abschnitt 3.1), dass jedoch aus der mit dem Futter aufgenommenen Energie sehr unterschiedliche Lebendmasse-Zunahmen erreicht werden (Abb. 2). Als mögliche Gründe dafür sind Unterschiede in folgenden Bereichen zu nennen:

- Wachstumspotenzial und Zusammensetzung des Zuwachses
- Verwertung der Nährstoffe und Erhaltungsbedarf

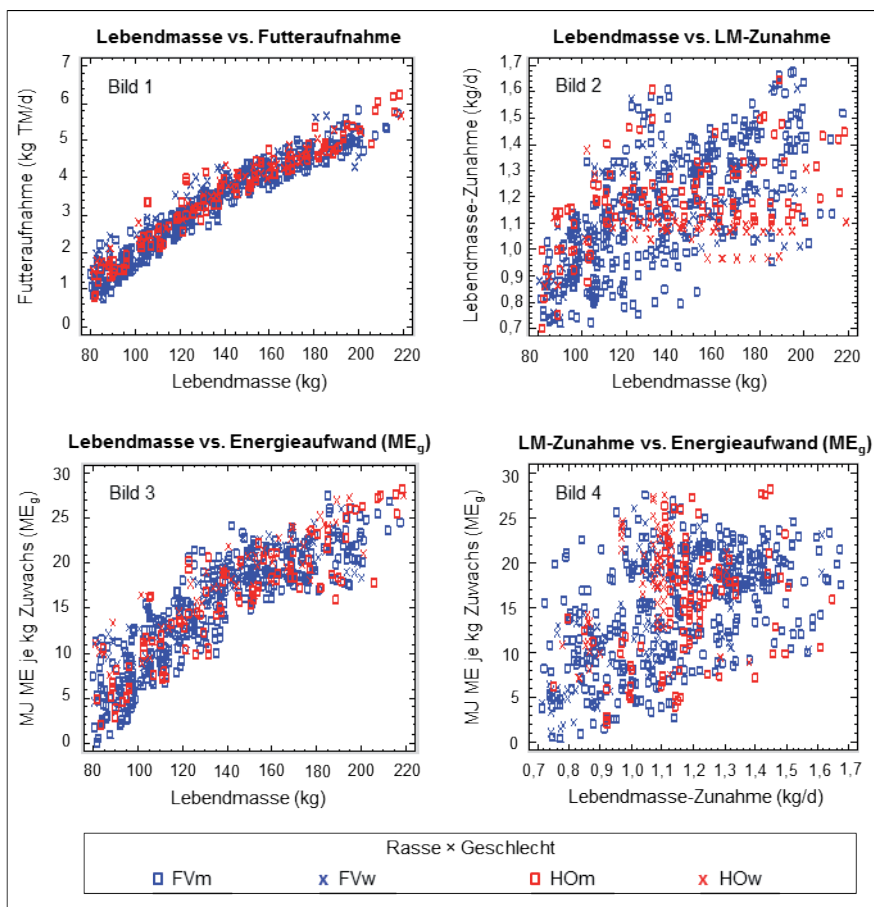


Abb. 2: Beziehungen zwischen Lebendmasse und Futteraufnahme, Lebendmasse-Zunahme sowie Energieaufwand und zwischen Lebendmasse-Zunahme und Energieaufwand

Entsprechend der engen Beziehung zwischen Lebendmasse und Futteraufnahme ist auch die Beziehung zwischen Lebendmasse und der für das Wachstum zur Verfügung stehenden Energie (ME_g), d. h. Gesamtenergie minus Erhaltungsbedarf, recht eng (Abb. 3). Dagegen ergibt die Gegenüberstellung Lebendmasse-Zunahme vs. Energieaufwand für das Wachstum (ME_g) ein sehr heterogenes Bild (Abb. 2, Bild 4). Als wesentliche Ursache dafür ist ein unterschiedlicher Energiegehalt im Zuwachs (Fleisch- bzw. Fettsatz) anzunehmen, der von folgenden Faktoren maßgeblich bestimmt wird:

- Physiologisches Alter
- Lebendmasse
- Ernährungsintensität und Haltungseinflüsse
- Genotyp und Geschlecht

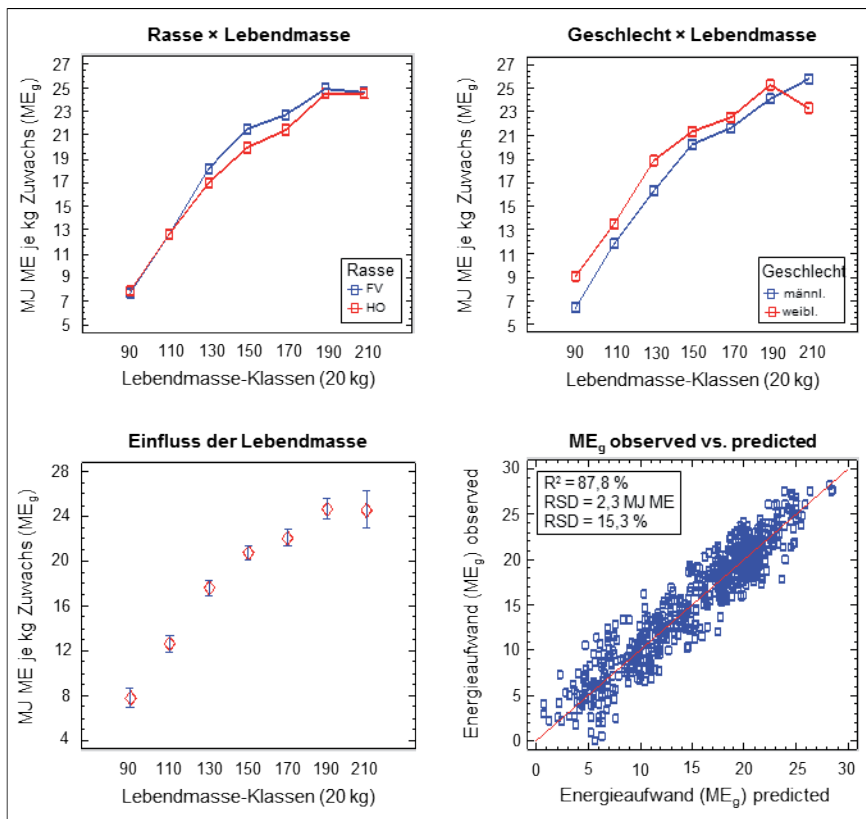


Abb. 3: Einfluss der Lebendmasse auf den Energieaufwand von Aufzuchttrindern in Abhängigkeit von Rasse und Geschlecht

Die Ergebnisse zur Schätzung des Energieaufwandes für das Wachstum (ME_g) sind in Übersicht 2 und Abbildung 3 angeführt. Wie auch bei der Futteraufnahme spielt die Lebendmasse für den Energieaufwand die wichtigste Rolle ($P < 0,001$), während der Einfluss des Geschlechtes geringer ($P = 0,023$) und jener der Rasse nicht signifikant ($P = 0,289$) ist. Es besteht eine signifikante Wechselwirkung zwischen Lebendmasse und Geschlecht ($P = 0,036$), nicht jedoch zwischen Lebendmasse und Rasse ($P = 0,162$). Eine wichtige Rolle für den Energieaufwand spielt weiters die Lebendmasse-Zunahme (nicht dargestellt). Mit dem vorliegenden Modell werden 87,8 % der Varianz des Energieaufwandes erklärt, der Schätzfehler beträgt 2,3 MJ ME bzw. 15,3 % (Abb. 3). Der Energieaufwand (und die Futteraufnahme) steigen im Bereich von 90 bis 150 kg LM wesentlich stärker an als von 150 bis 210 kg LM.

Der Energieaufwand errechnet sich aus dem Gesamtmittelwert (LSMean = 18,6 MJ ME) plus dem jeweiligen Effekt von Rasse, Geschlecht bzw. Lebendmasse (zweite Zeile in der Übersicht):

$$\text{z. B.: ME-Aufn.}_{[\text{HO, männl., 170 kg LM}]} = 18,6 - 0,3 - 0,6 + 3,5 = 21,2 \text{ MJ ME}$$

Übersicht 2: Einfluss von Rasse, Geschlecht und Lebendmasse auf den Energieaufwand für das Wachstum (ME_g) von Aufzuchttrindern (MJ ME/kg LMZ)

LS-	Rasse		Geschlecht		Lebendmasse									
	FV	HO	M	W	90	110	130	150	170	190	210			
Mean	18,9	18,3	18,0	19,1	7,8	12,7	17,6	20,8	22,1	24,7	24,6			
Effekt	0,3	-0,3	-0,6	0,6	-10,8	-5,9	-1,0	2,2	3,5	6,1	6,0			
	Fleckvieh							Holstein						
	90	110	130	150	170	190	210	90	110	130	150	170	190	210
	7,7	12,7	18,2	21,6	22,7	24,9	24,6	7,9	12,7	17,0	19,9	21,5	24,5	24,5
	-10,9	-5,9	-0,4	3,0	4,1	6,3	6,0	-10,7	-5,9	-1,6	1,4	2,9	5,9	5,9
	männlich							weiblich						
	6,4	11,8	16,3	20,2	21,6	24,1	25,8	9,1	13,5	18,9	21,3	22,6	25,3	23,4
	-12,1	-6,8	-2,3	1,6	3,0	5,5	7,2	-9,5	-5,1	0,3	2,7	4,0	6,7	4,8

4 Literaturangaben

- ADR (Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e. V.), 2017: Rinderproduktion in Deutschland 2017. Herausgeber: Bundesverband Rind und Schweine e. V. Adenauerallee 174, 53113 Bonn.
- Alps, H., Averdunk, G., 1984: Ein Beitrag zur Frage der Abhängigkeit von Merkmalen der Milchleistung und der Fleischleistung beim Fleckvieh. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 101, 350-358.
- Gruber, L., Ledinek, M., 2017: Effizienz der Milcherzeugung in Abhängigkeit von Genotyp und Lebendmasse. 44. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 05.-06. April 2017, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2017, 23-39.
- Pirchner, F., 1979: Genetischer Antagonismus bei Rindern. *Züchtungskunde* 51, 423-433.
- Veerkamp, R.F., 1998: Selection for economic efficiency of dairy cattle using information on live weight and feed intake: A review. *J. Dairy Sci.* 81, 1109-1119.
- ZAR (Zentrale Arbeitsgemeinschaft österreichischer Rinderzüchter), 2017: Die österreichische Rinderzucht 2017 (Jahresbericht), 117 S.

Verdaulichkeitsbestimmungen von Totalen Mischrationen mit Hammeln und Milchkühen

B. Bothe¹, L. Steevens², M. Pries¹, K.-H. Südekum³

¹Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Bad Sassendorf, ²Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve, ³Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, Bonn

1 Einleitung

Für die genaue Energiebestimmung in den Futtermitteln ist die Kenntnis der Verdaulichkeit der Nährstoffe unbedingte Voraussetzung. Standardgemäß werden Hammel zur Verdaulichkeitsmessung eingesetzt, gefüttert auf einem Ernährungsniveau (EN) entsprechend dem 1,1-fachen des energetischen Erhaltungsbedarfs (GfE 2001).

Die Bestimmung des Energiegehaltes einer Totalen Mischration (TMR) im Hammelversuch bei EN = 1,1 liefert gute Übereinstimmungen mit dem Energiewert aus der Kalkulation über den anteilmäßigen Energiegehalt der Einzelkomponenten sowie der Energieschätzung gemäß den Vorgaben der GfE (2004). Für eine niedrige Ernährungsintensität liegt ein in sich schlüssiges Energiebewertungssystem vor. Trotz der grundsätzlichen Kenntnis des Rückgangs der Verdaulichkeit bei höherer Futteraufnahme wird bei Rationsplanungen und Rationskalkulationen auch für hochleistende Milchkühe der bei Fütterung auf Ernährungsniveau bestimmte Energiewert verwandt und die geringere Verdaulichkeit indirekt durch einen Zuschlag beim Energiebedarf pro Kilogramm Milch berücksichtigt.

Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse aus 17 Verdaulichkeitsmessungen für Totale Mischrationen vorgestellt, die parallel an Schafen bei EN 1,1 und Kühen mit EN > 3,0 durchgeführt wurden. Damit soll zur Quantifizierung des Verdaulichkeitsrückgangs bei höherer Futteraufnahme beigetragen werden.

2 Material und Methoden

Die Messung der Verdaulichkeit erfolgte im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve, an dort erstellten TMR.

Verdaulichkeitsbestimmungen mit Milchkühen

Zur Messung der Verdaulichkeit bei den Kühen wurden je Versuch vier Tiere in Einzelhaltung in einem Boxenlaufstall mit planbefestigter Lauffläche, á 12 m² / Kuh, und Hochboxen gehalten. Die Mischrationen wurden zur freien Aufnahme vorgelegt, Futterreste quantitativ erfasst und aus der Differenz zur Vorlage die tägliche Futtermenge ermittelt. Nach einer dreitägigen Gewöhnung an das Haltungsverfahren wurde über fünf Tage der Kot tierindividuell nach jeder Absetzung gesammelt. Von der täglichen Kotmenge wurde nach Homogenisierung mittels Quirl eine Teilprobe von 5 % entnommen und eingefroren. Nach der Sammelperiode wurden diese Teilproben zusammengeführt, homogenisiert und eine Probe für die Untersuchung erstellt. Die Adaptionsfütterung für die TMR erfolgte über einen Zeitraum von mindestens 14 Tagen. Während dieser Zeit wurde die tierindividuelle Futtermenge über Einzeltrogverwiegung ermittelt. Während der Kotsammelphase wurde von der TMR-Vorlage täglich bzw. jeden zweiten Tag eine Probe entnommen und analysiert. Aus den fünf bzw. drei Einzelergebnissen wurde für die Verdaulichkeitsbestimmung eine Durchschnittsprobe berechnet. Trockenmasseaufnahme sowie die Milchmengen der Kühe wurden täglich tierindividuell erfasst. Zur Berechnung der Mengen an energiekorrigierter Milch (ECM) wurden die gemittelten Milchhaltsstoffe der wöchentlichen Milchkontrollen verwendet, die vor, während und nach der Kotsammelphase durchgeführt wurden.

Verdaulichkeitsbestimmungen mit Hammeln

Die Verdaulichkeitsmessungen am Hammel erfolgten gemäß den Vorgaben der GfE (1991). Nach einer zweiwöchigen Anfütterung wurden Kot und Futter über sieben Tage quantitativ erfasst. Die Futterportionen waren so bemessen, dass eine TM-Aufnahme von im Mittel 970 g pro Hammel und Tag gewährleistet war, leicht abweichend von den Empfehlungen der GfE, und eine Versorgung in Höhe des Erhaltungsbedarfs (EN = 1) erreicht wurde. Es wurden je Versuch vier Hammel eingesetzt.

Sämtliche Kot- und Futterproben wurden in der LUFANRW, Münster, analysiert. Dabei wurden nach den Methoden des VDLUFA (2012) die Gehalte an Feuchtigkeit (Methode 3.1), Rohfaser (XF, Methode 6.1.1), Zucker (XZ, 7.1.1), Stärke (XS, 7.2.1), Rohasche (XA, 8.1), Rohprotein (XP, 4.1.2), Rohfett (XL, 5.1.1), Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung (aND-Fom, 6.5.1), Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung (ADFom, 6.5.2), Enzym-lösbare organische Substanz (ELOS, 6.6.1) sowie an Gasbildung (Gb 25.1) ermittelt. Auf Basis der verdaulichen Rohnährstoffe wurden die Gehalte an ME und NEL nach Maßgabe der GfE (2001) kalkuliert. Unter Berücksichtigung der Gärsäuregehalte erfolgte eine Korrektur der Trockenmasse nach Vorgaben von Weißbach und Kuhla (1995).

Die statistische Auswertung wurde durchgeführt mit dem Statistikprogramm IBM® SPSS Statistics 21. Folgende Modelle wurden angewandt:

$$y = \mu + \text{ANTEIL M} + \text{ANTEIL KF} + e$$

$$y = \mu + \text{ANTEIL G} + \text{ANTEIL KF} + e$$

$$y = \mu + \text{LM} + \text{ECM} + \text{FATM} + \text{Kuh} + e$$

mit:

y = Beobachtungswert des jeweiligen Merkmals

μ = allgemeines Mittel

ANTEIL M = fixer Effekt Anteil Maissilage in der Ration (%)

ANTEIL KF = fixer Effekt Anteil Krafffutter in der Ration (%)

ANTEIL G = fixer Effekt Anteil Grassilage in der Ration (%)

LM = fixer Effekt der Lebendmasse (kg)

ECM = fixer Effekt der energiekorrigierten Milch (kg)

FATM = fixer Effekt der täglichen Futteraufnahme
(kg TM/Tier/Tag)

Kuh = zufälliger Effekt der Kuh

e = zufälliger Restfehler

3 Ergebnisse

Im Mittel aller Versuche war die Verdaulichkeit der Organischen Masse (OM) im Kuhversuch um 5,7 %-Punkte geringer als im Hammelversuch (Tab. 1). Je EN-Stufe war die Verdaulichkeit der OM um 1,9 %-Punkte vermindert. Hierdurch

verminderte sich der NEL-Gehalt je kg TM um 0,59 MJ insgesamt bzw. um 0,20 MJ je EN.

Tab.1: Differenzen der Verdaulichkeit der Organischen Masse (OM) und der Energiegehalte (Nettoenergie Laktation (NEL)) zwischen Hammeln und Milchkühen in 17 Versuchen

	Δ VQOM, %-Punkte	Δ VQOM je EN-Versorgung, %-Punkte	Δ NEL, MJ/ kg TM	Δ NEL, MJ/ kg TM je EN-Versorgung
Mittelwert	5,66*	1,89*	0,59*	0,20*
Standardabweichung	2,17	0,76	0,24	0,08
Minimum	0,36	0,12	0,01	0,00
Maximum	10,80	3,50	1,16	0,40

*signifikante Unterschiede bei Mittelwertvergleiche der einzelnen Rationen (T-Test; $p \leq 0,05$)

Da die Differenzen der Verdaulichkeit der OM zwischen einzelnen Versuchen stark schwankten, wurden die Rationen nach Anteil Mais- und Grassilage aufgeteilt. Verglichen wurden diese Maissilage-Kraftfutter- bzw. Grassilage-Kraftfutter-Aufteilungen jeweils innerhalb der EN 3,15-5,16; 3,15-3,99 und 4,00-5,16. Wurde der Anteil Maissilage und Kraftfutter im gesamten Modell betrachtet, so hatten weder die Maissilage noch das Kraftfutter in den meisten Fällen einen signifikanten Einfluss auf die Differenzen der Verdaulichkeit der OM. Lediglich bei dem hohen Ernährungsniveau (4,00-5,16) hatte der Kraftfutteranteil einen signifikanten Einfluss (Tab. 2). Wurden jedoch Mittelwertvergleiche innerhalb der Anteile durchgeführt, so ließ sich darstellen, dass mit steigendem Anteil Maissilage die Differenzen der Verdaulichkeit der OM größer wurden (Tab. 2). Diese Beobachtung trat für das niedrige Ernährungsniveau nicht zu.

Die Grassilage- und Kraftfutteranteile hatten auf die Differenz der Verdaulichkeit der OM ebenfalls in den meisten Fällen keinen signifikanten Einfluss. Wie bei der Prüfung des Maissilageanteils hatte auch hier der Kraftfutteranteil bei dem hohen Ernährungsniveau einen signifikanten Einfluss. Der Grassilageanteil beeinflusste signifikant die Differenz der OM bei Berücksichtigung des Ernährungsniveaus von 3,16-5,16. Wurden auch hier Mittelwertvergleiche durchgeführt, so ließ sich feststellen, dass die Differenzen der Verdaulichkeit der OM mit

Tab.2: Differenz der Verdaulichkeit der Organischen Substanz zwischen Hammeln und Milchkühen in Abhängigkeit der Maissilage-, Grassilage- und Krafftutteranteile in den Rationen

	EN: 3,15-5,16			EN: 3,15-3,99			EN: 4,00-5,16		
	Mittelwert	SE	p	Mittelwert	SE	p	Mittelwert	SE	p
Maissilage-Anteil (%)			0,079			0,555			0,176
≤30	5,01 ^a	0,44		5,76	0,63		3,30 ^a	0,78	
31-46	6,22 ^{ab}	0,52		4,99	1,19		6,19 ^b	0,46	
≥47	6,42 ^b	0,52		5,50	1,13		6,73 ^b	0,45	
Krafftutter-Anteil (%)			0,083			0,273			0,027
≤30	5,57	0,45		5,87	0,89		5,62 ^a	0,42	
31-40	6,62	0,46		4,58	0,85		7,61 ^b	0,55	
≥41	5,27	0,63		5,81	1,26		4,44 ^a	0,59	
Grassilage-Anteil (%)			0,048			0,933			0,256
≤29	6,16	0,47		5,33	1,07		6,23 ^a	0,40	
30-40	5,28	0,38		5,63	0,54		4,61 ^b	0,47	
≥41	4,49	0,79		4,49	0,86				
Krafftutter-Anteil (%)			0,344			0,651			0,011
≤30	5,57	0,45		5,87	0,90		5,62 ^a	0,42	
31-40	5,71	0,41		4,67	0,67		7,79 ^b	0,52	
≥41	5,27	0,63		5,81	1,27		4,44 ^a	0,59	

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, $p \leq 0,05$; SE = Standardfehler

steigendem Grassilageanteil kleiner wurden. Dieses galt wiederum nicht für das niedrige Ernährungsniveau (Tab.2).

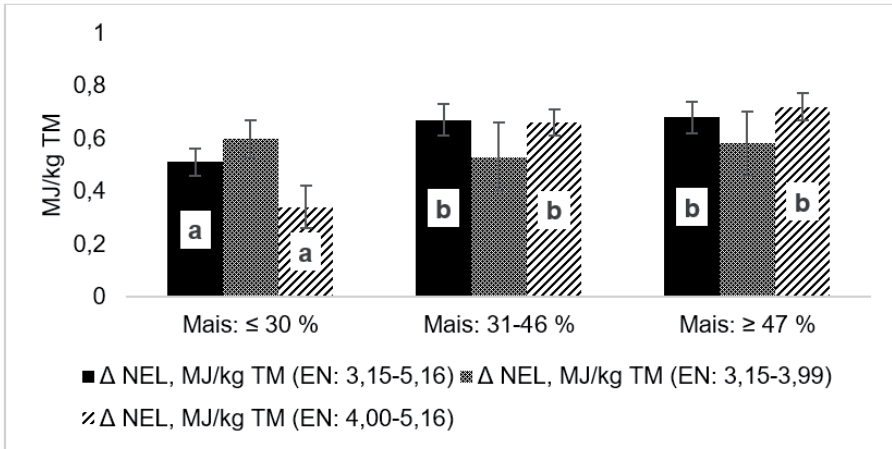


Abb. 1: Differenzen der Gehalte an Nettoenergie Laktation (NEL) zwischen Hammel- und Milchkuhversuch in Abhängigkeit vom Maissilageanteil in der Ration

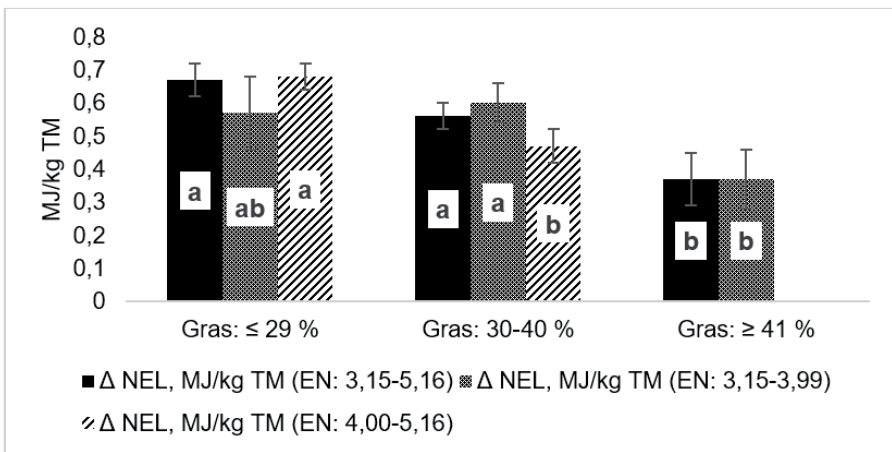


Abb. 2: Differenzen der Gehalte an Nettoenergie Laktation (NEL) zwischen Hammel- und Milchkuhversuchen in Abhängigkeit vom Grassilageanteil in der Ration

Bei Auswertung der Differenzen der Verdaulichkeit der OM je EN wurden keine neuen Erkenntnisse ermittelt. Die Betrachtung der Daten je Einheit EN wird somit nicht weiter dargestellt.

Die Differenzen der NEL-Gehalte wurden unter identischen Bedingungen wie die Differenzen der Verdaulichkeit der OM analysiert. Hier ergaben sich konsequenterweise die gleichen Ergebnisse wie bei der Verdaulichkeit der OM.

Mit zunehmenden Anteil Maissilage wurde die Differenz der NEL-Gehalte größer (Abb. 1) und mit zunehmendem Anteil Grassilage wurde die Differenz geringer (Abb. 2).

Die tierindividuellen Faktoren wurden erfasst und berücksichtigt durch die Lebendmasse, die ECM und die tägliche TM-Aufnahme der einzelnen Kühe. Keiner der Faktoren hatte einen signifikanten Einfluss auf die Differenzen der Verdaulichkeit der OM zwischen Hammeln und Milchkühen ($p=0,27-0,99$).

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Mit zunehmendem Anteil an Maissilage in der Ration erhöhte sich die Differenz der Verdaulichkeit der OM zwischen Hammeln und Milchkühen. Die Rationen mit einem hohem Maissilageanteil wurden von den Kühen schlechter verdaut, sodass auch der ermittelte Energiegehalt der TMR sank.

Wurde der Anteil an Grassilage in der Ration erhöht, so verringerte sich die Differenz der Verdaulichkeit der OM zwischen Hammeln und Milchkühen. Somit nahm auch der ermittelte Energiegehalt zu.

Da die tierindividuellen Einflussgrößen keine Bedeutung zu haben schienen, werden weitere Auswertungen bezogen auf die Faktoren des Futters bzw. der Ration durchgeführt. Vorrangig sollen die Nährstofffraktionen Neutral Detergenzien-Faser und Säure-Detergenzien-Faser analysiert werden.

Langfristiges Ziel ist es, eine zuverlässigere Beschreibung der Energieversorgung von Kühen mit hohem Ernährungsniveau auszuarbeiten.

5 Literaturangaben

GfE, 1991: Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern, J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr. 65, 229-234.

- GfE, 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder.
- GfE, 2004: Schätzung des Gehaltes an Umsetzbarer Energie in Mischrationen (TMR) für Wiederkäuer, Proc. Soc. Nutr. Physiol. (2004) 13, 195–198.
- Radke, M.; Hagemann, A.; Gabel, M.; Pieper, B.; Voigt, J.; Kuhla, S., 2003: Verdaulichkeitsdepression bei der Hochleistungskuh – Berücksichtigung bei der Rationsformulierung, Arch. Tierzucht 46, 115–121.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl. 1976, 8. Ergänzungslieferung 2012. VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- Weißbach, F; Kuhla, S., 1995: Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter, Übers. Tierernährg. 23, 189-214.

Untersuchungen zur Futteraufnahme tragender und säugender Mutterschafe um den Geburtszeitraum

S. Piepenbrink¹, C. Burau², T. Ravenschlag², K. Gerlach¹, K.-H. Südekum¹

¹Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, Bonn, ²Landwirtschaftskammer NRW, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve

1 Einleitung

Voraussetzung für eine gute Fruchtbarkeit und Säugeleistung bei Mutterschafen ist eine bedarfsgerechte Versorgung. Um diese realisieren zu können, sind Kenntnisse über das Futteraufnahmevermögen der Tiere notwendig. Die Entwicklungen der letzten Jahre zeigen veränderte Zuchtziele. Dadurch bedingt liegt der Schwerpunkt nicht mehr auf der Wollproduktion, sondern vermehrt auf der Produktion von Lammfleisch. Vor allem Fleischrassen wie das Deutsche Schwarzköpfige Fleischschaf weisen dabei eine hohe Lebendmasse (LM) auf. Folglich wird erwartet, dass die Tiere im Laufe der Jahre höhere Futteraufnahmen erzielen. Genaue Kenntnisse über die Futteraufnahmen heutiger Schaf-rassen oder Genotypen liegen dabei allerdings nur vereinzelt vor. Diese sind aber zwingend notwendig, um den Mutterschafen eine optimale Versorgung mit Nährstoffen, wie Energie und Rohprotein (XP) zu ermöglichen. Außerdem sind sie Voraussetzung für eine zukunftsfähige Schafhaltung. Vor diesem Hintergrund wurde im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick ein praktischer Fütterungsversuch mit Mutterschafen durchgeführt. Dieser diente als Folgeversuch zu einer im Jahr 2017 durchgeführten Fütterung einer Gesamtmischung (TMR). Der grundsätzliche Unterschied zwischen den Versuchen besteht darin, dass den Mutterschafen in diesem Jahr eine vereinfachte, praxisnähere Ration angeboten wurde.

2 Material und Methoden

Im Frühjahr 2018 wurde ein Fütterungsversuch mit tragenden und säugenden Mutterschafen durchgeführt. Beobachtet wurde die tägliche Trockenmasse (TM)-Aufnahme sowie die Wasseraufnahme. Dazu wurden 20 Mutter-

schafe der Rasse Deutsches Schwarzköpfiges Fleischschaf in Einzelboxen aufgestellt. Der Versuchszeitraum erstreckte sich über 14 Tage ante partum (a. p.) bis 28 Tage post partum (p. p.). Den Mutterschafen stand Grassilage zur ad-libitum Aufnahme zur Verfügung. Bei der Grassilage handelte es sich um einen ersten Schnitt aus dem Erntejahr 2017. Zusätzlich erhielten sie eine Konzentratfutter-Ergänzung in Höhe von 400 g/Tag (d) a. p. sowie 700 g/d p. p. Tabelle 1 zeigt die chemische Zusammensetzung der Rationskomponenten.

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung der Rationskomponenten

Futtermittel	TM (%)	XP (g/kg TM)	Energie (MJ ME/ kg TM)	aNDFom (g/kg TM)
Grassilage	41,6	140	10,5	456
Konzentratfutter	89,1	222	12,2	296

aNDFom: Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung, ME: umsetzbare Energie, TM: Trockenmasse, XP: Rohprotein

Im Vorfeld wurde mit einer mittleren täglichen TM-Aufnahme von knapp 3 kg (2,98 kg) kalkuliert. Die Fütterung der Mutterschafe erfolgte zweimal täglich, morgens und nachmittags. Dazu wurde die Grassilage täglich morgens von einem selbstfahrenden Futtermischwagen aus dem Silo entnommen und dem Schafstall vorgelegt. Fünfmal wöchentlich wurde der TM-Gehalt der Grassilage bestimmt. Zusätzlich wurden Sammelproben der Rationskomponenten chemisch analysiert. Die Gehalte an Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung (aNDFom) und XP der Grassilage wurden untersucht nach NIRS – LKS FMUAA 126. Nach VDLUFA (2012) wurden im Konzentratfutter die Gehalte an aNDFom (Methode 6.5.1) sowie XP (4.1.2) bestimmt.

Zusätzlich zur täglichen Erfassung der tierindividuellen TM- und Wasseraufnahme wurden die Mutterschafe wöchentlich an drei aufeinanderfolgenden Tagen gewogen. Von den Lämmern wurde das Geburtsgewicht erfasst. Anschließend wurde ihre LM einmal pro Woche ermittelt.

3 Ergebnisse

Zwei Wochen a. p., also in der Hochträchtigkeit, nahmen die Mutterschafe durchschnittlich 2,65 kg TM/d ($\pm 0,12$ kg) auf. Zur Lammung reduzierten die Tiere die tägliche TM-Aufnahme, sodass einen Tag a. p. die TM-Aufnahme bei 2,36 kg ($\pm 0,55$ kg) lag. Unmittelbar danach stieg die Aufnahme allerdings wieder an. Im Zeitraum 28 Tage p. p., also während der Laktation, erzielten die Mutterschafe im Mittel eine tägliche TM-Aufnahme in Höhe von 3,83 kg ($\pm 0,18$ kg). Den maximalen Wert von 5,41 kg TM erreichte ein Tier einmalig an seinem 25. Laktationstag. Abbildung 1 zeigt den Verlauf der mittleren TM-Aufnahme während des Versuchs.

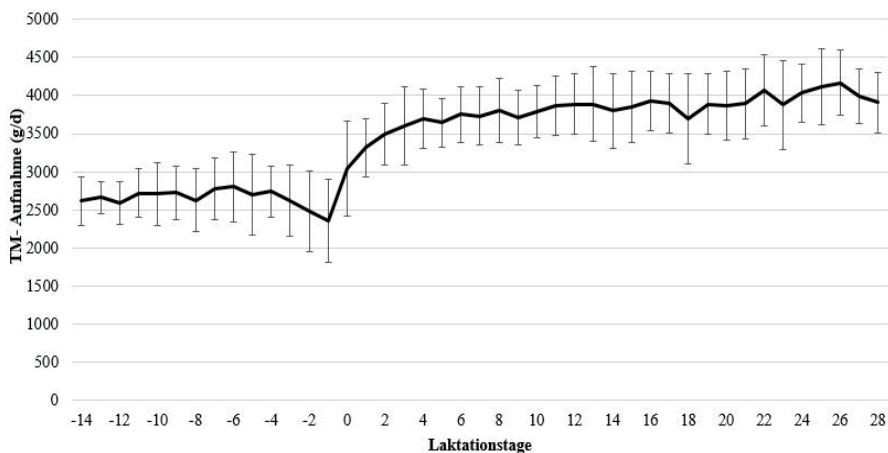


Abb. 1: Verlauf der mittleren Trockenmasse-(TM)-Aufnahme (\pm Standardabweichung) in g/d

Die tägliche Wasseraufnahme der Mutterschafe betrug im Zeitraum a. p. durchschnittlich 3,05 kg Wasser/d ($\pm 0,26$ kg). Auch hier konnte ein Rückgang zum Zeitpunkt der Geburt beobachtet werden, sodass der Durchschnittswert zwei Tage vor der Lammung bei 2,70 kg ($\pm 0,75$ kg) lag. Die Wasseraufnahme stieg p. p. stark an. Während der Laktation erzielten die Mutterschafe im Mittel 7,56 kg Wasser/d. Die maximale Aufnahme lag hier bei 14,16 kg Wasser. Diesen Wert erzielte ein Mutterschaf einmalig an seinem 20. Laktationstag. Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Wasseraufnahme während des Versuchs.

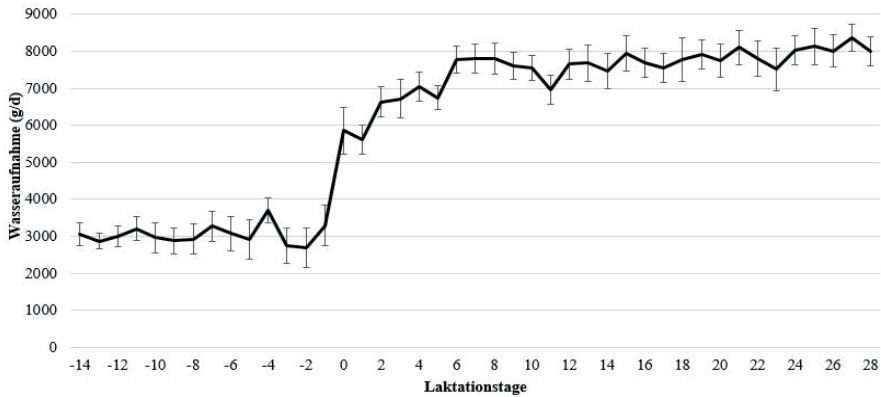


Abb. 2: Verlauf der mittleren Wasseraufnahme (\pm Standardabweichung) in g/d

Die Mutterschafe wiesen eine hohe LM auf. Eingestallt wurden die Tiere mit einem mittleren Gewicht von 117,0 kg (\pm 9,5 kg). Bis zur Geburt nahmen die Mutterschafe weiter an LM zu und erreichten in der Woche der Ablammung (Laktationswoche 0) ein mittleres Gewicht von 120,0 kg (\pm 10,5 kg). Unmittelbar nach der Lammung wiesen die Tiere eine geringere LM auf, sodass sie in der ersten Laktationswoche im Mittel 114,0 kg (\pm 10,6 kg) wogen. Während der vier beobachteten Laktationswochen verloren die Mutterschafe nicht deutlich an LM, sodass das mittlere Ausstallgewicht bei 113,5 kg (\pm 12,7 kg) lag. Abbildung 3 zeigt den Verlauf der LM der Mutterschafe.

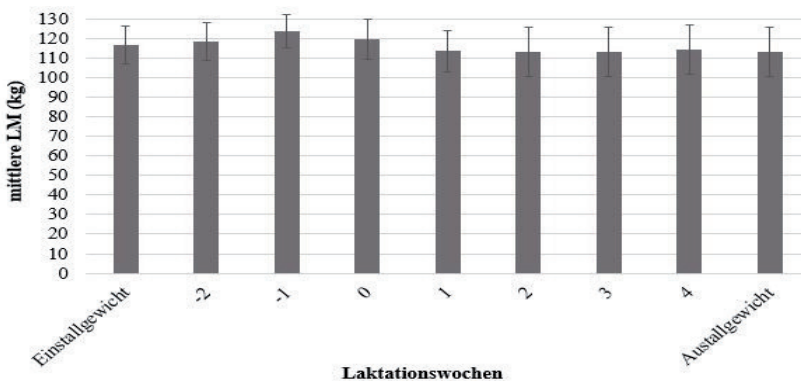


Abb. 3: Verlauf der mittleren Lebendmasse (LM) (\pm Standardabweichung) der Mutterschafe in kg

Am Tag der Ausstellung wurde die Körperkondition der Mutterschafe ermittelt. Diese lag bei durchschnittlich 4,4 Punkten auf der Body-Condition-Score (BCS)-Skala.

Im Versuch wurden 39 Lämmer geboren, von denen 36 während des gesamten Versuchs beobachtet wurden. Daraus ergeben sich im Mittel 1,8 Lämmer pro Mutterschaf. Die Lämmer wiesen ein mittleres Geburtsgewicht von 5,67 kg ($\pm 1,00$ kg) auf. Im Mittel über die vier Versuchswochen zeigten die Tiere eine tägliche Zunahme in Höhe von 341 g/d (± 12 g). Die maximale mittlere Tageszunahme wurde von den Lämmern in der zweiten Woche erzielt. In dieser Zeit lag die mittlere tägliche Zunahme bei 353 g/d (± 80 g). Abbildung 4 zeigt den LM-Verlauf der Lämmer

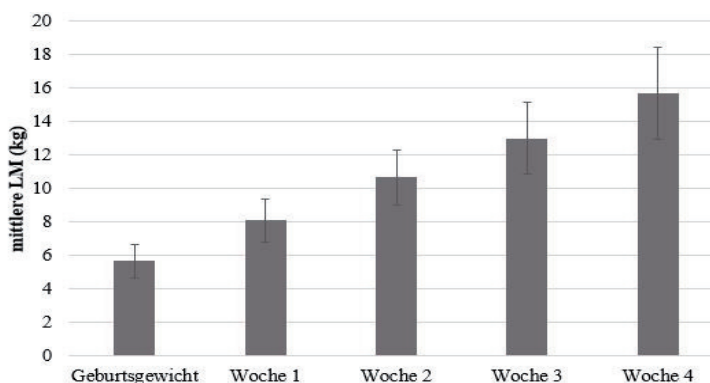


Abb. 4: Verlauf der mittleren Lebendmasse (LM) (\pm Standardabweichung) der Lämmer in kg

4 Diskussion

Die tägliche TM-Aufnahme der Mutterschafe lag während des gesamten Versuchs auf einem hohen Niveau. Die Beobachtungen zur Futtermittelaufnahme stimmen mit dem Vorläufer-Versuch aus dem Jahr 2017 überein. Hierbei zeigten Mutterschafe derselben Rasse eine ähnlich hohe TM-Aufnahme in Bereichen von 2,5 kg TM/d a. p. sowie 3,6 kg TM/d p. p. (Blechmann et al., 2017). Die Ergebnisse zeigen, dass die Mutterschafe trotz der – im Vergleich zur von Blechmann et al. (2017) verwendeten TMR – 'einfachen' Ration hohe Aufnahmen realisierten. Werden die Aufnahmen in Zusammenhang gesetzt mit den derzeitigen

Versorgungsempfehlungen, waren die Tiere überversorgt. In der Literatur sind dabei Angaben für die Energieaufnahme eines 100 kg schweren Mutterschafes mit zwei säugenden Lämmern in Höhe von 25,60 MJ ME/d zu finden (LfL, 2017). Während der Laktation erzielten die Tiere im Versuch durchschnittlich 41,21 MJ ME/d. Der Verlauf der TM-Aufnahme wird hingegen vielfach in der Literatur beschrieben. So zeigen verschiedene Untersuchungen, dass die Aufnahme trockenstehender Schafe in der Hochträchtigkeit geringer ist als die laktierender Tiere (Green et al., 1994; Avondo und Lutri, 2004; Forbes, 2007; Ringdorfer und Priller, 2013; Helander et al., 2014; Nadeau et al., 2016; Blechmann et al., 2017).

Der Verlauf der Wasseraufnahme stimmt ebenfalls mit den Ergebnissen von Blechmann et al. (2017) überein. Die Höhe der Aufnahmen differenziert sich minimal. So nahmen die Tiere im Vorläufer-Versuch 5,2 L/d a.p. auf, die Aufnahme wurde in der ersten Laktationswoche auf durchschnittlich 9,7 L/d gesteigert (Blechmann et al., 2017). Da die Wasseraufnahme von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird, ist eine mögliche Erklärung für die im Jahr 2017 höher liegende Aufnahme, dass die Mutterschafe am Tag des Versuchsbeginns 2018 geschoren wurden. Dadurch bedingt hatten die Tiere u. U. einen geringeren Wasserbedarf. Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass Mutterschafen, v. a. während der Laktation, jederzeit ausreichend frisches Wasser zur Verfügung stehen muss.

In der Literatur ist allgemein die Annahme zu finden, dass die Körperkondition sowie die LM der Mutterschafe entlang des Reproduktionszykluses schwanken. Dies bedeutet, dass die Tiere während des letzten Laktations-Abschnittes sowie während der Trockenstehperiode Körperreserven speichern und diese in den ersten Laktationsmonaten nutzen (Bocquier und Thériez, 1989; Cannas, 2004). Die Ergebnisse des Versuchs stimmen nur teilweise mit dieser Annahme überein. Die Mutterschafe zeigten über den gesamten Versuch eine hohe mittlere LM und verloren auch während der Laktation nicht deutlich an Gewicht. Diese Feststellung und die Beobachtung des hohen mittleren BCS-Wertes zum Ende des Versuchs lassen sich als deutliche Anzeichen für eine Überversorgung verstehen. Aufgrund der hohen TM-Aufnahme und der guten Energieversorgung mussten die Mutterschafe keine Körperreserven mobilisieren. Diese Beobachtung stimmt mit den Ergebnissen von Blechmann et al. (2017) überein. Auch hier zeigten die Mutterschafe keinen weiteren Verlust an LM während der Laktation (Blechmann et al., 2017).

Das Geburtsgewicht der Lämmer stimmt mit denen von Blechmann et al. (2017) überein, bei dem die Tiere eine mittlere LM zur Geburt von 5,30 kg aufwiesen. Die Tageszunahmen befanden sich im unteren Bereich. So werden für die Rasse Deutsches Schwatzköpfiges Fleischschaf tägliche Zunahmen in Höhe von 300 bis 400 g angegeben (Schafzuchtverbände Niedersachsen, 2018). Im Versuch wurden im Durchschnitt 341 g/d erreicht. Dies deutet darauf hin, dass die Mutterschafe ihre gute bis überdurchschnittliche Versorgung nicht in erster Linie über die Milch an die Lämmer weitergegeben haben, sondern diese überwiegend zum Erhalt und Aufbau der eigenen Körpersubstanz verwendet haben.

5 Literaturangaben

- Avondo, M.; Lutri, L., 2004: Feed intake. In: R. Bencini und G. Pulina (Eds.): Dairy Sheep Nutrition. CABI, Oxfordshire, UK: 65-77.
- Blechmann, M.; Ravensschlag, T.; Burau, C.; Pries, M.; Gerlach, K.; Südekum, K.-H., 2017: Untersuchungen zur Futteraufnahme tragender und säugender Mutterschafe um den Geburtszeitraum. VDLUFA-Schriftenreihe 74, 561-568, Kongressband 2017 Freising, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Bocquier, F.; Thériez, M., 1989: Sheep. In: R. Jarrige (Ed.): Ruminant Nutrition. Recommended Allowances and Feed Tables. INRA, Paris, France, 153-167.
- Cannas, A., 2004: Feeding of lactating ewes. In: R. Bencini und G. Pulina (Eds.): Dairy Sheep Nutrition. CABI, Oxfordshire, UK, 79-108.
- Forbes, J.M. 2007: Voluntary Food Intake and Diet Selection of Farm Animals. 2nd ed. CABI, Wallingford, UK. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/academiccompletetitles/home.action>.
- Green, D.A.; Brink, D.R.; Bauer, M.L., 1994: Characterization of feed intake and estradiol-17 β during gestation and lactation in twin-bearing ewes. Small Ruminant Res.13, 153-158.
- Helander, C.; Nørgaard, P.; Arnesson, A.; Nadeau, E., 2014: Effects of chopping grass silage and of mixing silage with concentrate on feed intake and performance in pregnant and lactating ewes and in growing lambs. Small Ruminant Res.116, 78-87.
- LfL, 2017: Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen. 42. Aufl. Kastner, Wolnzach.

Nadeau, E.; Arnesson, A.; Helander, C., 2016: Effects of grass silage feed value on feed intake and performance of pregnant and lactating ewes and their lambs. *Grass Forage Sci* 71, 448-457.

Ringdorfer, F.; Priller, H., 2013: Fütterung von Schafen und Lämmern. für die Qualitätslammerzeugung.: G&L Werbe und Verlags GmbH, Wien.

Schafzuchtverbände Niedersachsen (2018): Schwarzköpfiges Fleischschaf. Online verfügbar unter http://www.schafzucht-niedersachsen.de/Schafzucht-Verbaende-Niedersachsen/index.php?option=com_content&view=article&id=93&Itemid=703&lang=de, zuletzt geprüft am 29.08.2018.

Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Leistung sowie Gesundheits- und Fruchtbarkeitsparameter von Milchkühen

L. Gruber¹, J. Häusler¹, A. Haiger², G. Terler¹, A. Schauer¹, M. Royer¹, D. Eingang¹

¹Institut für Nutztierforschung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, ²Institut für Nutztierwissenschaften, Universität für Bodenkultur, Wien

1 Einleitung

Die Leistung der Milchkühe ist in den vergangenen Jahrzehnten weltweit kontinuierlich gestiegen, was sowohl auf züchterische Arbeit (Selektion und Kreuzung) als auch auf Verbesserung der Fütterung (Krafftutteranteil, Grobfutterqualität, Fütterungsmanagement etc.) sowie der Haltungsbedingungen (cow comfort, Laufstall, Stallklima) zurückzuführen ist. Nach einer Analyse der Daten von ICAR (International Committee for Animal Recording) durch Gruber und Ledinek (2017) betrug der Anstieg der Milchleistung pro Kuh in den Jahren 2001-2016 durchschnittlich 77 kg ECM pro Jahr, wobei zwischen den untersuchten 11 Ländern deutliche Unterschiede bestanden (z. B. +36 kg in Neuseeland, +120 kg in Israel). Durch die genomische Selektion erwartet man sich, das Leistungsniveau noch stärker und rascher erhöhen zu können (Hayes et al., 2009; Bennewitz, 2016). Die Notwendigkeit der Milchleistungssteigerung wird vor allem ökonomisch begründet, weil der Nährstoffaufwand pro kg Milch mit steigender Milchleistung abnimmt (Aufteilung des „unproduktiven“ Erhaltungsbedarfs auf eine größere Produktmenge). Auch bezüglich der Umweltwirkung der tierischen Produktion wird auf ähnliche Weise argumentiert, weil bei höheren Leistungen die Umweltbelastung pro Produkteinheit (z. B. Methan, Carbon footprint) geringer wird (Flachowsky, 2000). Die alleinige Betrachtung der Milchleistung zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung ist allerdings nicht ausreichend und zielführend, da zusätzlich zum Output auch der dazu erforderliche Input in Rechnung zu stellen ist (Thomet et al., 2002). Aus diesem Grund gewinnt die sog. Effizienz immer mehr an Interesse und Bedeutung. Darunter ist die Relation von Output zu Input (Effizienz = Output/Input) zu verstehen (Berry und Pryce, 2014).

Ein kritischer Aspekt steigender Milchleistungen liegt darin begründet, dass zwischen Milchleistung und anderen relevanten Parametern (Lebendmasse,

Mastleistung, Fitnessmerkmale etc.) vielfältige, zum Teil auch unerwünschte genetische Beziehungen bestehen, welche dem positiven Einfluss steigender Milchleistung auf Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung entgegenwirken. Besonders auf die intensive Stoffwechselbelastung der Kühe durch hohe Milchleistungen ist hier hinzuweisen (Hansen, 2000; Lucy, 2001; Heringstad et al., 2007; Martens, 2013, 2015, 2016). Trotz vieler Diskussionen bzw. Meinungsverschiedenheiten (Bello et al., 2012) über die Auswirkungen hoher Milchleistungen auf die unzureichende Energieversorgung und die damit in Zusammenhang stehenden Phänomene wie Immunstatus, Reproduktionsleistung, Stoffwechselsituation und Fitness zeigt sich in den vergangenen Jahrzehnten in vielen Ländern ein eindeutiger Rückgang der Nutzungsdauer der Milchkühe (Knaus, 2009). Dies kann als starker Hinweis auf die negativen Beziehungen zwischen Milchleistung und Fitness angesehen werden.

In dieser Arbeit werden vorläufige Ergebnisse zu Milchleistung sowie Gesundheit und Fruchtbarkeit von Milchkühen unterschiedlichen Genotyps bei verschiedenen Futterniveaus aus einem langfristigen Forschungsprojekt zur Beurteilung der Effizienz des gesamten Produktionssystems „Rinderhaltung“ dargestellt (d. h. Rinderaufzucht, Milcherzeugung und Rindermast).

2 Fragestellung und Methoden

2.1 Fragestellung und Versuchsdesign

Das Experiment wird seit dem Jahr 2012 nach einem zwei-faktoriellen Versuchsdesign (4 Genotypen × 4 Futterniveaus) am Institut für Nutztierforschung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein über die vollständige Lebensdauer der Milchkühe durchgeführt (N = 64). Kühe, die während der ersten 3 Laktationen ausfielen, wurden durch Kalbinnen ersetzt (gleicher Genotyp und gleiches Aufzuchtverfahren). Der Versuchsplan mit den untersuchten Genotypen und Futterniveaus ist in Tabelle 1 angeführt.

Genotypen: Fleckvieh Kombiniert (FV_{KO}), Holstein Hochleistung (HO_{HL}), Holstein Neuseeland (HO_{NZ}), Holstein Lebensleistung (HO_{LL})

Futterniveau: Vollweide (W₀), 0 % Kraftfutter (KF₀), 20 % Kraftfutter (KF₂₀), 40 % Kraftfutter (KF₄₀)

Tab. 1: Versuchsplan (4 Genotypen × 4 Futterniveaus, N=64)

		GENOTYPEN			
		Fleckvieh Kombiniert	Holstein Hoch-leis- tung	Holstein Neusee- land	Holstein Lebens- leistung
FUTTER- NIVEAUS	W0	FV_W0	HL_W0	NZ_W0	LL_W0
	KF0	FV_KF0	HL_KF0	NZ_KF0	LL_KF0
	KF20	FV_KF20	HL_KF20	NZ_KF20	LL_KF20
	KF40	FV_KF40	HL_KF40	NZ_KF40	LL_KF40

2.2 Fütterung

Die Tiere wurden *ad libitum* mit einer Grundfutter-Mischung gefüttert. Diese setzte sich aus 20 % Heu, 50 % Grassilage und 30 % Maissilage zusammen (auf TM-Basis). Das Kraftfutter wurde nach Versuchsplan über Transponder-Steuerung im Kraftfutter-Automaten angeboten. Das Kraftfutter bestand aus 30,4 % Gerste, 26,6 % Mais, 11,4 % Trockenschnitzel, 7,6 % Sojaschalen, 12,0 % Sojaextraktionsschrot und 12,0 % Rapsextraktionsschrot.

2.3 Erhebungen, Analysen und statistische Auswertung

Die Futteraufnahme und Milchleistung wurden täglich zu jeder Mahlzeit erhoben. Die Trockenmasse der Futtermittel wurde täglich durch Trocknung bei 105 °C bestimmt und die Milch ebenfalls täglich auf Fett, Eiweiß und Laktose untersucht. Die einzelnen Grundfutter (Heu, Grassilage, Maissilage), die Grundfuttermischung und das Kraftfutter wurden aus monatlichen Sammelproben analysiert. Von den Grundfuttermitteln wurde die Verdaulichkeit *in vivo* (mit Hammeln) von jedem Erntejahr ermittelt, vom Kraftfutter eine Sammelprobe aus dem ganzen Versuch. Von allen Proben wurden die Weender Nährstoffe (TM, XP, XL, XF, XA), die Van SOEST-Gerüstsubstanzen (NDF, ADF, ADL) sowie die Mengen- und Spurenelemente (Ca, P, Mg, K, Na sowie Mn, Zn, Cu) untersucht. Die Energie- und Proteinbewertung (NEL, nXP) erfolgte nach den Vorgaben der GfE (2001).

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SAS 9.4 unter Verwendung der Procedure Mixed. In das Modell gingen die fixen Effekte "Genotyp", "Futterniveau", "Laktationszahl", "Laktationsmonat", signifikante Wechselwirkungen sowie der zufällige Effekt "Tier" ein.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Milchleistung

Sowohl Genotyp als auch Futterniveau (Tab. 2) sowie die Interaktion Genotyp \times Futterniveau (Tab. 3) übten einen hochsignifikanten Einfluss auf Milchleistung und Gehalt an Milch Inhaltsstoffen aus. HO_{HL} wies die höchste Milchleistung auf (6 916 kg ECM) und HO_{LL} die niedrigste (5 219 kg ECM). Die Milchleistung von FV_{KO} (5 672 kg ECM) und HO_{NZ} (5 858 kg ECM) unterschied sich statistisch nicht signifikant. Der Milchfettgehalt von HO_{NZ} (4,76 %) lag signifikant höher als jener der anderen Genotypen. Demgegenüber wiesen HO_{HL} und HO_{LL} einen signifikant niedrigeren Milcheiweißgehalt auf als FV_{KO} und HO_{NZ} . Hochsignifikante Unterschiede bestanden auch bei der Lebendmasse sowie bei der sog. Lebendmasse-Effizienz. Die Genotypen mit der niedrigsten Lebendmasse waren HO_{NZ} (555 kg) und HO_{LL} (567 kg), gefolgt von HO_{HL} (613 kg) und FV_{KO} (679 kg). Hinsichtlich Lebendmasse-Effizienz unterschieden sich alle vier Genotypen signifikant. FV_{KO} wies – entsprechend der züchterischen Ausrichtung als kombinierte Zweinutzungsrasse – die geringste Lebendmasse-Effizienz auf, gefolgt von HO_{LL} , HO_{NZ} und HO_{HL} (42,4, 45,0, 51,3 bzw. 55,8 g ECM/kg LM^{0,75}). Die höhere Leistung und Effizienz von milchbetonten gegenüber kombinierten Genotypen ist vielfach belegt und von Gruber und Stegellner (2015) beschrieben sowie auch im Projekt Efficient Cow festgestellt worden (Ledinek et al., 2017).

Hinsichtlich der Auswirkungen des Futterniveaus zeigte sich ein signifikanter linearer Anstieg der Milchleistung mit steigendem Krafftutterniveau (5 140, 6 107, 7 087 kg ECM), ebenso erhöhte sich die Lebendmasse (573, 622, 644 kg) sowie die Lebendmasse-Effizienz (44,2, 49,5, 55,6 g ECM/kg LM^{0,75}) in den Gruppen KF_0 , KF_{20} bzw. KF_{40} . Die höchsten Gehalte an Milchfett und Milcheiweiß traten bei höchster Energieversorgung auf (KF_{40}). Bezüglich des Einflusses der Weide (W_0) traten im Vergleich zu KF_0 keine signifikanten Unterschiede auf, d. h. das frische Futter führte im Vergleich zum konservierten zu ähnlichen Ergebnissen (leichter tendenzieller Vorteil für die Weide). Der Einfluss der Kraftfuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen wurde von Gruber (2007) beschrieben, und zwar auf der Grundlage einer Meta-Analyse von Coulon und Remond (1991) und der zusammenfassenden Auswertung eigener Versuche am Institut für Nutztierforschung in Raumberg-Gumpenstein.

Als Schlussfolgerung aus diesen Arbeiten war abzuleiten, dass ein steigendes Energieangebot über Krafftutter zu einer abnehmenden Steigerung der Milch-

leistung führt. Die Ursache dafür liegt einerseits in der sog. Grundfuttermittelverdrängung. Zudem reduziert sich der tatsächliche Energiegehalt einer Ration gegenüber dem theoretischen, wenn das Futterniveau und/oder der Kraftfutteranteil ansteigen (sog. negative associative effects zwischen Grund- und Kraftfutter, INRA, 1989). Und schließlich kann zusätzlich zugeführte, über den Bedarf hinausgehende Energie nicht vollständig in Milchleistung umgesetzt werden, wenn das genetisch festgelegte Leistungspotenzial ausgeschöpft ist. Somit wird überschüssige Energie in verstärktem Maß als Körperansatz verwertet, was die Kraftfuttermittel-effizienz zusätzlich vermindert.

Dies ist deutlich an den Wechselwirkungen zwischen Genotyp und Futterniveau zu erkennen, die im vorliegenden Versuch hinsichtlich Milchleistung, Lebendmasse und Lebendmasse-Effizienz festgestellt wurden (Tab. 3). Die Milchleistung stieg bei den Tieren mit dem höchsten Leistungspotenzial mit zunehmendem Kraftfutterangebot in wesentlich höherem Ausmaß an als bei den übrigen Genotypen. Die niedrigste Kraftfutter-Effizienz wurde vom Genotyp HO_{LL} erzielt. Eine starke Wechselwirkung zwischen Futterniveau und den Holstein-Genotypen wurde auch hinsichtlich Lebendmasse gefunden. Während sich die drei Holstein-Linien bei niedrigem Kraftfutter-Niveau nur geringfügig unterschieden, wies HO_{HL} bei hohem Kraftfutter-Angebot ein wesentlich höheres Gewicht auf als die beiden anderen Holstein-Linien HO_{LL} und HO_{NZ} . Dies deutet darauf hin, dass die HO_{HL} -Tiere bei niedrigem Kraftfutter-Angebot in starkem Ausmaß Körpermasse mobilisiert und das ihrem Potenzial entsprechende Gewicht erst bei ausreichender Energieversorgung erzielt haben. Weiters läßt sich aus diesen Ergebnissen ableiten, dass die HO_{HL} -Tiere ihre Milchleistung in der Kraftfuttergruppe KF_0 bzw. W_0 zu einem höheren Ausmaß über die Mobilisation von Körperreserven erzeugt haben als die anderen Genotypen. Andererseits überstieg das hohe Energieangebot in Futterniveau KF_{40} das Milchleistungspotenzial der anderen Genotypen, besonders von HO_{LL} , aber auch von HO_{NZ} sowie FV_{KO} , was bei diesen Genotypen an besonders hohen Werten für BCS und Rückenfettdicke zu erkennen war (Daten hier nicht angeführt).

Tab. 2: Ergebnisse zu Milchleistung und Gesundheit/Fruchtbarkeit (Haupteffekte "Genotyp" und "Futterniveau")

Parameter (Einheit)	Genotyp				Futterniveau				RSD			P-Werte		
	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	W ₀	KF ₀	KF ₂₀	KF ₄₀		P _G	P _F	P _{G×F}		
Anzahl Laktationen	43	37	51	47	46	38	51	43	-	-	-	-		
Milchleistung														
Milchmenge (kg/Laktation)	5415 ^b	6679 ^c	5375 ^b	5097 ^a	5190 ^b	4930 ^a	5876 ^c	6571 ^d	375	<,001	<,001	<,001		
Milchmenge (kgECM/Laktation)	5672 ^b	6916 ^c	5858 ^b	5219 ^a	5331 ^a	5140 ^a	6107 ^b	7087 ^c	393	<,001	<,001	<,001		
Milchfett (%)	4,43 ^a	4,44 ^a	4,76 ^b	4,37 ^a	4,36 ^a	4,52 ^{ab}	4,44 ^{ab}	4,66 ^b	0,45	<,001	0,027	0,007		
Milcheiweiß (%)	3,39 ^b	3,19 ^a	3,45 ^b	3,20 ^a	3,25 ^a	3,16 ^a	3,38 ^b	3,44 ^b	0,21	<,001	<,001	0,262		
Lebendmasse (kg)	679 ^c	613 ^b	555 ^a	567 ^a	575 ^a	573 ^a	622 ^b	644 ^b	52	<,001	<,001	0,017		
ECM pro kg LM ^{0,75} (g)	42,4 ^a	55,8 ^d	51,3 ^c	45,0 ^b	45,3 ^a	44,2 ^a	49,5 ^b	55,6 ^c	3,9	<,001	<,001	<,001		
Gesundheit und Fruchtbarkeit														
Häufigkeit der Ausfälle (%)	21,7	31,0	20,1	19,7	16,8	26,2	18,5	31,0	39,5	0,605	0,300	0,173		
Anteil fruchtbarer Kühe (%)	88,4	82,5	91,0	88,7	89,6	87,7	92,2	81,2	29,6	0,493	0,157	0,101		
Besam.index (fruchtbar.Kühe)	2,05	2,25	1,90	2,01	1,96	2,22	2,14	1,90	1,21	0,489	0,393	0,532		
Non-Return-Rate 2:1	42,9	40,8	44,0	44,6	44,3	33,5	47,6	46,9	50,3	0,980	0,357	0,581		
Non-Return-Rate 3:2	61,3	46,7	53,1	49,8	57,6	52,5	47,4	53,5	50,9	0,685	0,859	0,883		
Zwischenkalbezeit (d)	371	383	380	370	381	380	377	367	44	0,614	0,596	0,926		
Rastzeit (d)	62	68	68	65	65	69	64	66	20	0,568	0,757	0,700		
Günstzeit (d)	98	118	103	104	105	119	102	98	52	0,430	0,298	0,974		
Erste Bes. biseff. Bes. (d)	37	51	35	43	41	50	41	33	50	0,586	0,542	0,910		

Tab. 3: Ergebnisse zu Milchleistung und Gesundheit/Fruchtbarkeit (Interaktion "Genotyp" x "Futterniveau")

	FV Kombiniert			HO Hochleistung			HO Neuseeland			HO Lebensleistung																
	W ₀	KF ₀	KF ₂₀	W ₀	KF ₀	KF ₂₀	W ₀	KF ₀	KF ₂₀	W ₀	KF ₀	KF ₂₀	W ₀	KF ₀	KF ₂₀	W ₀	KF ₀	KF ₂₀	W ₀	KF ₀	KF ₂₀	W ₀	KF ₀	KF ₂₀		
Anzahl/Lakt.	12	12	10	9	6	11	11	11	11	12	10	18	11	13	10	12	10	12	10	12	10	12	12	12	12	12
Milchleistung																										
Milch (kg/Laktation)	5 153	4 680	4 676	6 317	5 990	5 660	7 495	7 811	4 693	4 862	5 848	6 190	4 662	4 475	5 312	5 585										
ECM (kg/Laktation)	5 825	5 226	5 157	7 034	6 327	5 946	7 471	8 844	5 401	5 617	6 825	6 927	4 853	4 961	5 449	5 928										
Milchfett (%)	4,41	4,33	4,35	4,62	4,36	4,34	4,05	4,94	4,52	4,89	4,91	4,71	4,19	4,42	4,51	4,38										
Milchweiß (%)	3,30	3,21	3,58	3,50	3,11	3,08	3,15	3,44	3,41	3,30	3,57	3,56	3,20	3,05	3,27	3,29										
Lebendmasse (kg)	626	664	689	727	591	549	625	682	523	543	553	588	538	539	617	570										
ECM/kg LM ^{0,75} (g)	41,9	36,7	36,7	48,0	48,7	48,1	56,8	62,9	43,8	43,3	54,9	55,8	40,3	40,5	43,1	48,8										
Gesundheit und Fruchtbarkeit																										
Häuf. Ausfälle (%)	33,3	8,3	19,9	25,2	24,0	50,1	30,5	19,5	9,4	17,3	7,6	46,1	0,3	29,1	15,9	33,3										
Fruchtbarkeit Kühe (%)	80,3	89,1	93,1	91,1	84,3	77,8	82,2	85,7	93,3	100,0	99,7	70,8	100,0	83,5	93,6	77,3										
BI (fruchtbar.Kühe)	1,99	1,92	2,45	1,84	2,26	2,89	1,91	1,96	1,73	1,90	1,96	2,01	1,85	2,15	2,24	1,80										
NRR2:1	39,5	41,1	41,5	49,5	29,1	20,1	60,3	53,8	54,6	42,0	43,7	35,7	54,1	30,7	45,0	48,6										
NRR3:2	72,6	72,6	43,8	56,0	66,3	28,6	44,2	47,7	50,2	56,6	53,5	52,3	41,3	52,1	48,0	58,0										
ZKZ (d)	392	370	366	358	385	384	386	378	372	397	386	367	376	368	370	366										
Rastzeit (d)	60	67	62	60	66	73	67	64	65	73	68	65	67	61	59	73										
Günstzeit (d)	106	112	98	78	120	138	107	108	97	112	104	100	96	115	98	107										
1. biseff. Bes. (d)	49	45	36	19	55	60	42	45	33	38	36	35	29	56	52	34										

3.2 Gesundheit und Fruchtbarkeit

Die Kühe des Genotyps HO_{HL} hatten innerhalb der ersten 3 Laktationen mit 31 % deutlich höhere Ausfälle zu verzeichnen als die übrigen Genotypen (21,7, 31,0, 20,1, 19,7 %) und mit 82,5 % einen wesentlich geringeren Anteil fruchtbarer Kühe (88,4, 82,5, 91,0, 88,7 % bei den Genotypen FV_{KO}, HO_{HL}, HO_{NZ}, HO_{LL}). Diese Unterlegenheit des Genotyps HO_{HL} in der Fruchtbarkeit zieht sich durch alle einschlägigen Parameter, wie Besamungsindex, Non-Return-Rate, Zwischenkalbezeit etc. (Tab. 2). Die besten Fruchtbarkeitswerte erzielte HO_{LL}, gefolgt von HO_{NZ} und FV_{KO}.

Hinsichtlich Futterniveau fielen die meisten Tiere in den Kraftfuttergruppen KF₄₀ und KF₀ aus, wogegen die Ausfälle in den Gruppen KF₂₀ und W₀ deutlich seltener waren (16,8, 26,2, 18,5, 31,0 % in W₀, KF₀, KF₂₀, KF₄₀). Auch der Anteil fruchtbarer Kühe ist im Futterniveau KF₂₀ am höchsten (89,6, 87,7, 92,2, 81,2 %). In den weiteren Fruchtbarkeitsparametern schnitt das Futterniveau KF₀ am ungünstigsten ab, also die Gruppe mit der niedrigsten Energieversorgung.

Wie bei der Milchleistung zeigte sich auch bei den Ergebnissen zur Fruchtbarkeit eine deutliche Wechselwirkung zwischen Genotyp und Futterniveau (auf Grund starker Streuungen waren die Unterschiede der Fruchtbarkeitsparameter statistisch nicht abzusichern). Bei den (niederleistenden) Genotypen HO_{LL} und HO_{NZ} waren die Ausfälle im hohen Futterniveau KF₄₀ am höchsten. Im Mittel dieser beiden Genotypen machten die Ausfälle in den Futterniveaus W₀, KF₀, KF₂₀, KF₄₀ einen Anteil von 4,9, 23,2, 11,8, 39,7 % aus. Dies zeigt deutlich, dass diese Tiere das hohe Futterniveau mit 40 % KF nicht vertrugen, hohe Mengen an Fett ansetzten (Daten nicht gezeigt) und in der nächsten Laktation in Folge von Stoffwechselstörungen und Unfruchtbarkeit ausschieden. Im Futterniveau 0 % KF (KF₀) fielen 23 % dieser Genotypen aus, während bei mittlerem Kraftfutterniveau nur 12 % aus der Herde gingen. Hervorzuheben ist die geringe Ausfallsrate der Weide-Tiere. Demgegenüber ging die Ausfallsrate beim hochleistenden Genotyp HO_{HL} mit steigendem Kraftfutterangebot (d. h. Energieversorgung) zurück, was aus physiologischen Gründen üblicherweise erwartet wird (50, 31, 20 % in KF₀, KF₂₀, KF₄₀). Bei allen Holstein-Linien fielen bei den Weide-Gruppen (W₀) deutlich weniger Tiere aus als bei den entsprechenden KF₀-Gruppen, im Gegensatz zu Fleckvieh mit hohen Ausfällen auf der Weide. Hinsichtlich Kraftfutter reagierte FV_{KO} wie HO_{NZ} und HO_{LL}.

Die ausschließliche Betrachtung der Haupteffekte dieses Versuches für sich allein – und zwar sowohl der Effekt des Genotyps als auch des Futterniveaus – ergibt somit kein einheitliches Bild über die tatsächlichen Verhältnisse. Aus den Ergebnissen ist vielmehr der Schluss zu ziehen, dass hochleistende Tiere (HO_{HL}) energiereiche, kraftfutterbetonte Futterrationen benötigen, um gesund und leistungsstark zu bleiben, wohingegen kombinierte (FV_{KO}) und nicht auf Hochleistung gezüchtete milchbetonte Tiere (HO_{NZ} , HO_{LL}) an solchen Rationen erkranken, weil die überschüssige Energie und der damit verbundene Fettansatz zu schweren Stoffwechselerkrankungen bis hin zu Ausfällen in der Folgelaktation führt.

4 Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Sowohl Genotyp als auch Futterniveau wirkten sich auf die Milchleistung, den Gehalt an Milch Inhaltsstoffen, die Lebendmasse und die Lebendmasse-Effizienz hochsignifikant aus. Die Milchleistung in der Standardlaktation (305 Tage) betrug für die Genotypen FV_{KO} , HO_{HL} , HO_{NZ} und HO_{LL} 5 672, 6 916, 5 858 und 5 219 kg ECM, die Lebendmasse belief sich auf 679, 613, 555 und 567 kg. Dies ergibt eine Lebendmasse-Effizienz von 42,4, 55,8, 51,3 und 45,0 kg ECM pro kg metabolischer Lebendmasse ($LM^{0,75}$). Hinsichtlich Futterniveau betrug die Milchleistung 5 140, 6 107 und 7 087 kg ECM in KF_0 , KF_{20} und KF_{40} sowie 5 331 kg ECM in der Vollweide-Gruppe W_0 . Die Lebendmasse-Effizienz wurde durch Kraftfutter erhöht (44,2, 49,5 und 55,6 kg ECM pro kg $LM^{0,75}$). Es ist zu betonen, dass sich das Futterniveau (d. h. der Kraftfuttereinsatz) bei den einzelnen Genotypen sehr unterschiedlich auswirkte. HO_{HL} reagierte auf Kraftfutter mit einer wesentlich stärkeren Erhöhung der Milchleistung als die anderen Genotypen (signifikante Wechselwirkung).

Als Parameter für den Bereich Gesundheit/Fruchtbarkeit wurden die Behandlungen durch den Tierarzt, die Fruchtbarkeitskriterien wie Besamungsindex, Zwischenkalbezeit etc. und die Häufigkeit der Ausfälle herangezogen. Probleme der Fruchtbarkeit (Stillbrunst, Gebärmutterentzündungen, Nachgeburtsverhalten) und der Klauen waren die wichtigsten Gründe für Tierarzt-Behandlungen. Diese waren bei HO_{HL} (und in geringerem Ausmaß bei HO_{NZ}) am häufigsten. Hinsichtlich des Futterniveaus führte der höchste Kraftfutteranteil (KF_{40}) zu den häufigsten Tierarzt-Behandlungen wegen Problemen des Euters, der Klauen und des Stoffwechsels, nicht jedoch wegen Fruchtbarkeitsproble-

men, die in den Gruppen mit niedriger Energieversorgung (W_0 und KF_0) vorherrschten. Die Fruchtbarkeitslage (Anteil fruchtbarer Kühe, Besamungsindex, Zwischenkalbezeit etc.) war eindeutig bei HO_{HL} am ungünstigsten und am vorteilhaftesten bei HO_{NZ} und HO_{LL} . Im Durchschnitt der bisher vorliegenden drei Laktationen fielen bei HO_{HL} 31,0 % aller Kühe pro Laktation aus. Demgegenüber war der Anteil ausgefallener Kühe bei den anderen Genotypen mit durchschnittlich 20,5 % etwa gleich hoch und um ein Drittel geringer. Die Ursachen für die Ausfälle waren im vorliegenden Versuch zu 74 % Probleme der Fruchtbarkeit, zu 13 % Probleme der Eutergesundheit, zu 8 % Stoffwechselkrankheiten und zu 5 % sonstige Ursachen. Hinsichtlich des Einflusses des Faktors Futterniveau fielen die meisten Tiere (31,0 %) beim höchsten Kraftfutteranteil (KF_{40}) aus, gefolgt von Kraftfutterstufe KF_0 (26,2 %) und dem mittleren Kraftfutterniveau KF_{20} (18,5 %) sowie den Weide-Tieren (16,8 %). Wie auch bei der Milchleistung trat bei nahezu allen Kriterien des Komplexes Gesundheit/Fruchtbarkeit eine Interaktion Genotyp \times Futterniveau auf, die sich physiologisch besonders durch die Reaktion der Tiere auf den Grad der Energieversorgung herleiten lässt, die für die einzelnen Genotypen bei den gegebenen Futterniveaus sehr unterschiedlich ausfiel.

Die ausschließliche Betrachtung der Haupteffekte dieses Versuches für sich allein – und zwar sowohl der Effekt des Genotyps als auch des Futterniveaus – ergibt somit kein einheitliches Bild über die tatsächlichen Verhältnisse. Aus den Ergebnissen ist vielmehr der Schluss zu ziehen, dass hochleistende Tiere energiereiche, kraftfutterbetonte Futterrationen benötigen, um gesund und leistungsstark zu bleiben, wohingegen kombinierte und nicht auf Hochleistung gezüchtete milchbetonte Tiere an solchen Rationen erkranken, weil die überschüssige Energie und der damit verbundene Fettansatz zu schweren Stoffwechselerkrankungen bis hin zu Ausfällen in der Folgelaktation führt. Das bedeutet, dass das genetische Potenzial der Tiere und das Ernährungsniveau im Produktionssystem unbedingt auf einander abzustimmen sind.

5 Literaturangaben

Bello, N.M., Stevenson, J.S., Tempelman, R.J., 2012: Invited review: Milk production and reproductive performance – Modern interdisciplinary insights into an enduring axiom. *J. Dairy Sci.* 95, 5461-5475.

- Bennewitz, J., 2016: Potentiale und Herausforderungen der genomischen Selektion in der Tierzucht. 26. Hülseberger Gespräche 2016 "Die post-genomische Ära: Die Renaissance des Phänotyps", 10-14.
- Berry, D.P., Pryce, J.E., 2014: Feed efficiency in growing and mature animals. Proceedings of 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, Vancouver 2014.
- Coulon, J.B., Remond, B., 1991: Variations in milk output and milk protein content in response to the level of energy supply to the dairy cow: a review. *Livest. Prod. Sci.* 29, 31-47.
- Flachowsky, G., 2000: Nährstoffökonomische und ökologische Aspekte bei der Erzeugung von essbarem Eiweiß tierischer Herkunft bei unterschiedlichem Leistungsniveau der Nutztiere. *Landbauforschung Völknerode* 50, 38-49.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 135 S.
- Gruber, L., 2007: Einfluss der Krafftuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen. 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 19.-20. April 2007, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015, 35-51.
- Gruber, L., Stegfellner, M., 2015: Effizienz bei Milchkühen – Einfluss von Rasse, Laktationszahl und Laktationsstadium. 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 25.-26. März 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015, 23-40.
- Gruber, L., Ledinek, M., 2017: Effizienz der Milcherzeugung in Abhängigkeit von Genotyp und Lebendmasse. 44. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 05.-06. April 2017, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2017, 23-39.
- Hansen, L.B., 2000: Consequences of selection for milk yield from a geneticist's viewpoint. *J. Dairy Sci.* 83, 1145-1150.
- Hayes, B.J., Bowman, P.J., Chamberlain, A.J., Goddard, M.E., 2009: Invited review: Genomic selection in dairy cattle: Progress and challenges. *J. Dairy Sci.* 92, 433-443.
- Heringstad, B., Klemetsdal, G., Steine, T., 2007: Selection responses for disease resistance in two selection experiments with Norwegian Red cows. *J. Dairy Sci.* 90, 2419-2426.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: Ruminant Nutrition, Recommended Allowances and Feed Tables, 389 S.

- Knaus, W., 2009: Dairy cows trapped between performance demands and adaptability. *J. Sci. Food Agric.* 89, 1107-1114.
- Ledinek, M., Gruber, L., Steininger, F., Fürst-Waltl, B., Zottl, K., Royer, M., Krimberger, K., Mayerhofer, M., Egger-Danner, C., 2017: Futter- und Nährstoffeffizienz – was steckt dahinter? Tagungsband ZAR-Seminar "Der effizienten Kuh auf der Spur", 09.03.2017, Salzburg, 10-17.
- Lucy, M.C., 2001: Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *J. Dairy Sci.* 84, 1277-1293.
- Martens, H., 2013: Erkrankungen von Milchkühen in der frühen Laktationsphase – Risikofaktor negative Energiebilanz und Hyperketonämie. *Tierärztl. Umschau* 68, 463-476.
- Martens, H., 2015: Stoffwechselbelastung und Gesundheitsrisiken der Milchkühe in der frühen Laktation. *Tierärztl. Umschau* 70, 496-504.
- Martens, H., 2016: Leistung und Gesundheit von Milchkühen: Bedeutung von Genetik (Ursache) und Management (Wirkung). Ein Beitrag zur Diskussion. *Tierärztliche Praxis Großtiere* 4/2016, 1-6
- SAS Institute Inc., 2010: SAS/STAT 9.4 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC (USA), 8460 S.
- Thomet, P., Rätzer, H., Durgiai, B., 2002: Effizienz als Schlüssel für die wirtschaftliche Milchproduktion. *Agrarforschung* 9, 404-409.

Vergleich von Klee gras dominierten Rationen mit Maissilage reichen Rationen unter ökologischen Fütterungsbedingungen

A. Verhoeven¹, S. Hoppe¹, K. Hünting¹, S. Beintmann¹, M. Pries²

¹Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve, ²Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Bad Sassendorf

1 Einleitung

In der Milchviehfütterung unter ökologischen Bedingungen gelten Klee gras und Klee grassilagen als Hauptfuttergrundlage. In Grünlandregionen sind dies häufig die einzigen betriebseigenen Grobfutter, die mit zugekauftem, biozertifiziertem Milchleistungsfutter ergänzt werden. Auf Ackerbaustandorten ist vielfach auch in Biobetrieben Maissilage ein wichtiges Grobfuttermittel. Als Kraftfutter werden zusätzlich Getreide und Körnerleguminosen eingesetzt.

Die Praxis spaltet sich demnach in zwei Gruppen:

1. Grünlandregion: Grobfutter besteht aus Klee gras und Klee grassilagen; zur Leistungsfütterung werden biozertifizierte Milchleistungsfutter oder Einzelkomponenten wie Getreide oder Ackerbohnen eingesetzt.

2. Ackerbauregion: Grobfutter besteht aus Klee gras, Klee grassilagen und Maissilagen; zur Leistungsfütterung werden biozertifizierte Milchleistungsfutter oder betriebseigene Kraftfutterkomponenten wie Getreide oder Ackerbohnen eingesetzt.

Es stellt sich die Frage nach Unterschieden zwischen Klee grassilage und Maissilage dominierten Grobfuttermitteln. Welches System ist vorteilhafter?

2 Material und Methoden

Im Ökobetrieb des Versuchs- und Bildungszentrums Landwirtschaft Haus Riswick wurde während der Winter-Stall-Periode vom 22. November 2017 bis 13.

März 2018 ein Systemvergleich durchgeführt. Dabei wurde die Herde in zwei Gruppen mit jeweils 24 Kühen nach Laktationsnummer, Laktationstag, Lebendmasse und BCS eingeteilt. Der Färsenanteil betrug in beiden Gruppen 30 %. Während des gesamten Versuchs wurden in beiden Versuchsgruppen gleichermaßen Altmelker durch frischlaktierende Tiere ersetzt, um die jeweilige Gruppengröße konstant zu halten.

Versuchsgruppe 1: Mischration Gruppe Maissilage (MS):

TMR aus Maissilage, Kleegrassilage, Weizen und Ackerbohnen

Versuchsgruppe 2: Mischration Gruppe Kleegrassilage (KGS):

TMR aus Kleegrassilage, Weizen und Ackerbohnen

Der planbefestigte Offenfrontstall wurde in zwei identische Stallhälften geteilt. Die beiden Mischrationen wurden den Gruppen morgens mit dem Futtermischwagen vorgelegt. Futterreste wurden vor erneuter Futtervorlage gewogen und bei Berechnung der Futteraufnahme berücksichtigt.

Tab. 1: Zusammensetzung der Futterrationen, kg TM/Kuh/Tag

	MS-Gruppe	KGS-Gruppe
Maissilage	8,2	
Kleegrassilage	10,2	16,9
Ackerbohnen	3,9	0,9
Weizen	1,0	5,6
Mineralfutter	0,1	0,1
Futterkalk	0,1	

Die Futterrationen wurden auf Grundlage von Bohrstockanalysen mit dem Rationskalkulationsprogramm Rind 97 nach DLG-Empfehlungen (2001) energetisch vergleichbar berechnet. Die Maissilage-Gruppe erhielt auf Basis der Trockenmasse (TM) 10,2 kg Kleegrassilage, 8,2 kg Maissilage, knapp 4 kg Ackerbohnen, 1 kg Weizen sowie 100 g Mineralfutter und 100 g Futterkalk (Tab. 1). Insgesamt ergeben sich 18,4 kg TM Grobfutter und 4,9 kg Kraftfutter je Kuh und Tag. Die Kleegrassilage-Gruppe bekam knapp 17 kg Kleegrassi-

lage, 5,6 kg Weizen, knapp 1 kg Ackerbohnen sowie 110 g Mineralfutter; exakt 16,9 kg Grobfutter und 6,5 kg Krafftutter pro Tier und Tag. Beide Rationen waren bei einer Futtermittelaufnahme von etwa 23,5 kg TM auf eine Leistung von 33 kg Energie korrigierte Milch (ECM) ausgelegt und somit vergleichbar. Beide Futterrationen wiesen einen für Bio-Betriebe typisch hohen Grobfutteranteil von 70-80 % und einen moderaten Krafftutteranteil von 20-30 % auf.

Die Nährstoff- und Energiegehalte der Mischrationen beider Futtergruppen waren weitgehend vergleichbar (Tab. 2). Die Energiegehalte lagen mit 6,7 MJ NEL in der Kleeegrassilage-Gruppe und 6,8 MJ NEL in der Maissilage-Gruppe auf ähnlichem Niveau. Der Rohproteingehalt (XP) konnte mit 148 g/kg TM in der MS-Gruppe und 157 g/kg TM in der KGS-Gruppe vergleichbar eingestellt werden. Der Gehalt an nutzbarem Rohprotein (nXP) war mit 144 g/kg TM in beiden Versuchsgruppen identisch. Geringe Unterschiede ergaben sich beim Rohfasergehalt (XF): 176 g/kg TM in der MS-Gruppe und 173 g/kg TM in der KGS-Gruppe, was auf den höheren Krafftutteranteil der Kleeegrassilage betonten Ration zurückzuführen ist. Der höhere Kleeegrassilage-Anteil war auch verantwortlich für den vergleichsweise höheren Gehalt der ruminalen Stickstoffbilanz (RNB) von 2,0 g/kg TM im Vergleich zu 0,8 g RNB/kg TM der MS-Gruppe. Ebenso lag der Strukturwert mit 1,9 in der KGS-Gruppe erwartungsgemäß höher als in der MS-Gruppe mit 1,7. Unterschiede ergaben sich ebenso hinsichtlich der Stärkegehalte: Die Futterration der Versuchsgruppe mit Maissilage-Anteil enthielt 234 g Stärke (XS) und 39 g beständige Stärke (bXS), jeweils je kg Trockenmasse. Hingegen war die Ration der KGS-Gruppe mit 178 g XS und 28 g bXS je kg Trockenmasse ausgestattet.

Tab. 2: Nährstoff- und Energiegehalte der TMR je kg TM

Variante	NEL MJ	XP g	nXP g	RNB g	XF g	SW	XS g	bXS g
MS-Gruppe	6,8	148	144	0,8	176	1,7	234	39
KGS-Gruppe	6,7	157	144	2,0	173	1,9	178	28

Während des Versuchs wurden zwei Kleeegrassilagen eingesetzt:

- Kleegrassilage 1. Schnitt 2017 – Zeitraum November/Dezember 2017 bis zur 5./6. Versuchswoche
- Kleegrassilage 4. Schnitt 2017 – Zeitraum Januar – März 2018

Die Datenerhebung umfasste täglich die Futteraufnahmen (Grob- und Kraftfutter) aus den Mischrationen als Gruppenmittel sowie tierindividuelle Milchmengen. Wöchentlich wurden die Milchleistungsparameter inkl. Milchmenge und Milchinhaltsstoffe durch die Milchleistungsprüfung erhoben. Monatlich sind die Lebendmassen, der Body Condition Score (BCS) und die Rückenfettdicke erfasst worden.

Der Versuch wurde statistisch mit einem linearen, gemischten Wiederholbarkeitsmodell für tägliche Milchleistung und wöchentliche Merkmale der Milchleistung und Inhaltsstoffe ausgewertet. Folgendes Modell kam zur Anwendung:

$$y = \mu + \text{TAG} + \text{GRP} + \text{LNO} + f(\text{Itg}) + \text{Kuh} + e$$

mit:

y	= Beobachtungswert des jeweiligen Merkmals
μ	= allgemeines Mittel
TAG	= fixer Effekt des Beobachtungstages
GRP	= fixer Effekt der Behandlung (KGS, Mais)
LNO	= fixer Effekt der Laktationsnummer
f(Itg)	= Laktationskurve innerhalb Laktation Laktationskurve: $\text{Itg}/225 + (\text{Itg}/225)^2 + \ln(225/\text{Itg}) + (\ln(225/\text{Itg}))^2$
Kuh	= zufälliger Effekt der Kuh
e	= zufälliger Restfehler

3 Ergebnisse

Während der ersten zwei Versuchswochen lagen die Futteraufnahmen der KGS-Gruppe mit 18-20 kg TM je Kuh und Tag deutlich unter den Futteraufnahmewerten der MS-Gruppe, die mit durchschnittlich 23 kg TM/Kuh/Tag startete. Ab der dritten Versuchswoche waren die Futteraufnahmen über den gesamten Versuchszeitraum in beiden Gruppen vergleichbar (Abb. 1). Erkennbar ist der Wechsel der Kleegrassilage in beiden Versuchsgruppen ab der sechsten Versuchswoche am abnehmenden Kurvenverlauf der Futteraufnahmen beider Versuchsgruppen.

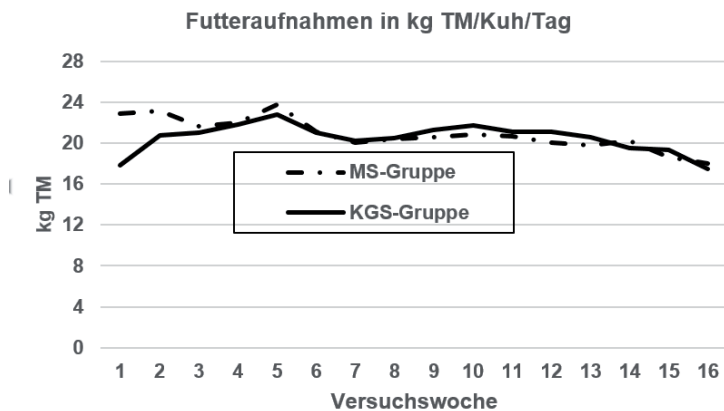


Abb. 1: Futteraufnahmen

Die natürliche Milchmenge lag in der MS-Gruppe im ersten Fütterungsabschnitt bis zur 6. Versuchswoche etwas über der Leistung der KGS-Gruppe. Der weitere Kurvenverlauf zeigt sich in beiden Gruppen vergleichbar (Abb. 2). Während der ersten 5-6 Versuchswochen lagen die ECM-Leistungsverläufe beider Futtergruppen auf kalkulierte Niveau von 32-33 kg je Tier und Tag recht nahe beieinander. Danach jedoch, mit Einsatz des 4. Schnittes Kleegrassilage 2017, stieg die ECM-Leistung in der KGS-Gruppe vergleichsweise stärker an und befand sich bei 32-34 kg ECM/Kuh täglich; die ECM-Leistung der MS-Gruppe fiel phasenweise etwas unter 30 kg ECM/Kuh/Tag ab.

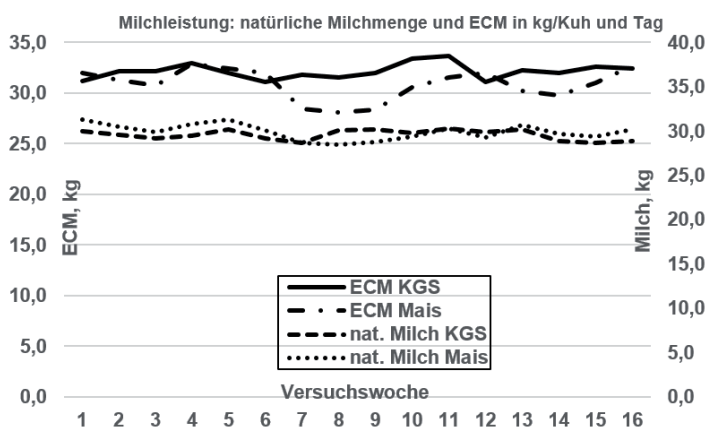


Abb. 2: Milchmenge und ECM

Abbildung 3 liefert die Begründung für den stabilen ECM-Verlauf der KGS-Gruppe: Die Milchinhaltstoffe lagen zwar in beiden Versuchsgruppen auf hohem Niveau, jedoch zeigten sich in der KGS-Gruppe sowohl die Milchproteinal als auch die Milchfettgehalte auf deutlich höherem Niveau über den gesamten Versuchszeitraum.

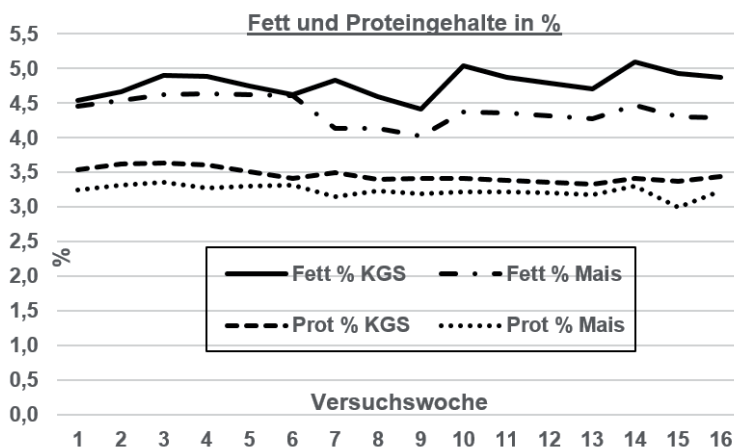


Abb. 3: Milchinhaltstoffe

Durchschnittliche Lebendmassewerte der Tiere beider Futtergruppen an fünf monatlichen Terminen im Vergleich zeigten ein Gewichtsspektrum von 680-720 kg Lebendmasse je Tier. Die Versuchstiere der MS-Gruppe wiesen in jedem Monat ein vergleichsweise höheres Gewicht von etwa 20 kg auf (Abb. 4).

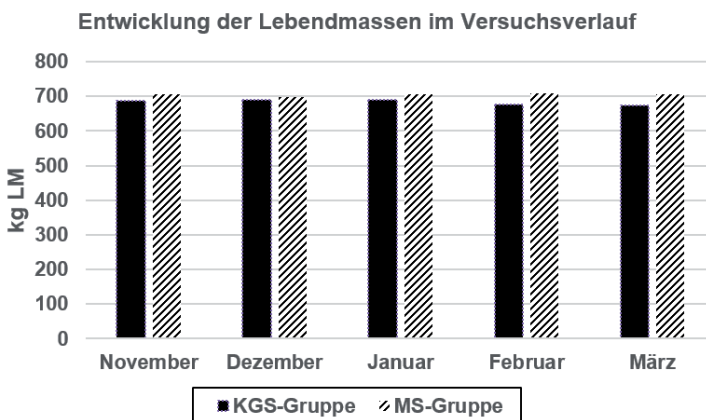


Abb. 4: Lebendmassen

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Milchleistungsparameter bis zum 375. Laktationstag. Die natürliche Milchmenge der Maissilage-Fütterung liegt mit 30,4 kg/Kuh/Tag über der Milchmenge der Kleeegrassilage-Fütterung mit 28,6 kg/Kuh/Tag. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Ebenso ist die ECM-Leistung der beiden Futtergruppen, die bei 31,3-31,5 kg je Kuh täglich liegt, nicht signifikant verschieden. Signifikante Unterschiede bestehen bei den Milchinhaltsstoffen. Sowohl Milchfett- als auch Milchproteingehalte sind bei den Kühen der KGS-Gruppe vergleichsweise höher. So beträgt der Milchfettgehalt in der KGS-Gruppe 4,83 % und in der MS-Gruppe 4,37 %, der Milchproteingehalt 3,51 % bei KGS-Fütterung sowie 3,20 % unter MS-Fütterungsbedingungen. Keine signifikanten Unterschiede bestehen beim Fett-Eiweiß-Quotient und beim Milchharnstoffgehalt. Die Milchezellgehalte beider Versuchsgruppen beschreiben eine eutergesunde Milchviehherde.

Tab. 3: Ergebnisse der statistischen Auswertung – Milchleistungsparameter (LSM; Auswertung bis zum 375. Laktationstag)

Parameter, Einheit	KGS		MS		p
	LSM	SE	LSM	SE	
Milchmenge, kg/K/T	28,6	1,00	30,4	1,08	0,2151
Fettgehalt, %	4,83 ^a	0,09	4,37 ^b	0,10	0,0003
Fettmenge, kg/Tag	1,37	0,05	1,33	0,06	0,5054
Eiweißgehalt, %	3,51 ^a	0,04	3,20 ^b	0,04	<0,0001
Eiweißmenge, kg/Tag	0,99	0,03	0,96	0,03	0,4359
Fett:Eiweiß-Quotient	1,38	0,02	1,37	0,03	0,8728
ECM, kg/Kuh/Tag	31,5	1,08	31,3	1,19	0,8909
Harnstoff, mg/kg	218	6,4	218	7,0	0,9415
Zellzahl, Anzahl in Tsd.	148	25,5	137	28,1	0,7512

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile, $p \leq 0,05$

LSM: LSQ-Mittelwerte, SE: Standardfehler, ECM: Energiekorrigierte Milchmenge

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Nährstoff- und Energiegehalte der Rationen beider Fütterungsregimes waren weitgehend vergleichbar. Die Futteraufnahmen beider Versuchsgruppen waren ab der dritten Fütterungswoche sehr ähnlich. Die Tiere der Maissilage reichen Ration wiesen im Versuchsverlauf eine etwas höhere Lebendmasse auf. Die Kleeegrassilage-Fütterung führte zu signifikant höheren Milchinhaltstoffen, woraus sich eine vergleichbare ECM-Leistung ergibt.

Unter ökologischen Fütterungsbedingungen führen gute Kleeegrassilagequalitäten mit angepasstem Leistungsfutterangebot zu ebenso hohen Milchleistungen wie Kleeegrassilage-Maissilage-Kombinationen mit entsprechender Kraftfutter-Ergänzung.

Qualitativ hochwertige Kleeegrassilagen als Basis hoher Grobfuttereffizienz erlauben moderate Kraftfuttergaben und sichern dennoch ein stabiles ECM-Niveau in Biobetrieben.

5 Literaturangaben

DLG, 2001: Empfehlungen zum Einsatz von Mischrationen bei Milchkühen, DLG-Information 1/2001, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.

Einfluss einer proteinreduzierten Fütterung hochleistender Milchkühe auf Leistungsparameter und Stickstoffausscheidungen

M. Pries¹, S. Hoppe², K.-H. Südekum³, M. Baum⁴, M. Bruinenberg⁵

¹Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Bad Sassendorf, ²Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve, ³Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften, Bonn, ⁴Agravis Futtermittel GmbH, Münster, ⁵Royal Agrifirm Group, Apeldoorn, Niederlande

1 Einleitung

Die Verminderung der Proteinzufuhr in der Fütterung bedeutet eine Reduzierung des Stickstoffs (N) im Produktionskreislauf. Dabei stellt sich die Frage, wie sich die Leistung der Tiere entwickelt und wie umfangreich die Verminderung der N-Mengen in den tierischen Exkrementen ist.

Ausgehend von den aktuell bestehenden Versorgungsempfehlungen für Milchkühe (GfE 2001) wurde im von der Rentenbank geförderten Projekt N-Reduk der Einfluss einer Absenkung der Proteinversorgung auf die tierischen Leistungen und die N-Ausscheidungen der Milchkühe untersucht. Zusätzlich stellt sich die Frage nach der Wirksamkeit der Zugabe pansenstabiler Aminosäuren.

2 Material und Methoden

Die Fütterungsversuche wurden von 2015 bis 2017 im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve, der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Gemäß Übersicht 1 wurden die einzelnen Versuche in drei aufeinander aufbauenden Abschnitten geplant. Im **1. Fütterungsversuch** wurde mit 2 x 48 Kühen gearbeitet, wobei frischmelke Kühe kontinuierlich nachgestallt wurden und Kühe mit höheren Laktationstagen ersetzen. Um eine Proteinunterversorgung im 1. Laktationsmonat zu vermeiden, wurden frischmelke Tiere im **2. Fütterungsversuch** zunächst für 28 Tage mit der Kontrollration versorgt und danach auf die drei Gruppen Kontrolle, Versuch

A und B mit je 24 Tieren aufgeteilt. Letztlich wurden im **3. Fütterungsversuch** 4 Gruppen à 24 Kühe getestet, so dass frischmelke Tiere sofort in die vorgesehenen Gruppen zugeteilt und in den proteinreduzierten Varianten in den ersten 28 Laktationstagen mit einem Proteinergänzer über Abrufstationen beigefüttert wurden.

Versuchsabschnitt	Kontrollgruppe	Versuchsgruppe A	Versuchsgruppe B	Versuchsgruppe C
Gleichfütterung	Kontrollration			
1. Fütterungsabschnitt	160g XP/kg TM	160 g XP/kg TM 160 g nXP/kg TM + Methioninzulage		
Gleichfütterung	Kontrollration			
2. Fütterungsabschnitt	160g XP/kg TM 160 g nXP/kg TM	140 g XP/kg TM 160 g nXP/kg TM	140 g XP/kg TM 160 g nXP/kg TM + Methioninzulage +Lysinulage	
Gleichfütterung	Kontrollration			
Gleichfütterung	Kontrollration			
3. Fütterungsabschnitt	160g XP/kg TM 160 g nXP/kg TM	140 g XP/kg TM 160 g nXP/kg TM + Methioninzulage +Lysinulage	140 g XP/kg TM 140 g nXP/kg TM 140 g nXP/kg TM	140 g XP/kg TM 140 g nXP/kg TM + Methioninzulage +Lysinulage

Abb. 1: Versuchsdesign

Die Tabelle 1 zeigt beispielhaft die Rationszusammensetzung für den 2. Fütterungsversuch. Der Krafffutteranteil lag in allen Futtergruppen bei etwa 36 % der Trockenmasse (TM). Die Rationskenngrößen können der Tabelle 2 ent-

nommen werden. Die gewünschte Differenzierung im Rohprotein-(XP)-Gehalt der Rationen wurde erreicht. Die Zugabe der Aminosäuren Lysin und Methionin wurde dabei so gewählt, dass sich eine Bedarfsdeckung von etwa 100 % auf Basis französischer Versorgungsempfehlungen ergab (Schuba und Südekum, 2012).

Tab. 1: Rationszusammensetzung im 2. Versuchsabschnitt

Komponenten	Kontrolle		Versuchsgr. A		Versuchsgr. B	
	160/160		140/160		140/160 AS	
	kg TM	% in TM	kg TM	% in TM	kg TM	% in TM
Grassilage 1. Schnitt	6,9	31,5	6,9	31,5	6,9	31,5
Maissilage	6,1	28,0	6,1	28,0	6,1	28,0
Stroh	0,6	2,7	0,6	2,7	0,6	2,7
Ausgleichskrafftutter	7,9	36,0	-	-	-	-
Ausgleichskrafftutter	-	-	7,9	36,0	-	-
Ausgleichskrafftutter*	-	-	-	-	7,9	36,0
Propylenglykol/ Glyzerin	0,4	1,8	0,4	1,8	0,4	1,8

40 g MetaSmart/Kuh+Tag → 14,1 g nutzbares Methionin (nMet) aus MetaSmart; 22 g LysiGEM/Kuh+Tag

Tab. 2: Kenngrößen der im 2. Versuchsabschnitt gefütterten Rationen

Inhaltsstoffe		Kontrolle	Versuchsgr. A	Versuchsgr. B
		160/160	140/160	140/160 AS
XP	g/kg TM	168	147	145
nXP*	g/kg TM	149	150	145
RNB	g/kg TM	3,1	-0,5	0
aNDFom	g/kg TM	327	327	326
ADFom	g/kg TM	197	189	188
NEL	MJ/kg	7,25	7,35	7,33
nLysin	g/kg TM	11,1	10,8	10,9
nMethionin	g/kg TM	3,6	3,4	4,1

*auf Basis der Rohproteinfraktionierung kalkuliert

3 Ergebnisse

Im **1. Fütterungsabschnitt** wurden die geplanten XP-Gehalte in den vorgelegten Rationen mit 160 g/kg TM in der Kontrolle bzw. 159 g/kg TM in der Versuchsgruppe A eingehalten, wohingegen die erzielten Werte für das nutzbare XP am Duodenum (nXP) mit 154 g/kg TM bzw. 153 g/kg TM etwas unterhalb der angestrebten Werte lagen. Kühe der Kontrollgruppe nahmen mit 22,4 kg TM/Tag etwas weniger Futter auf als Tiere in der Versuchsgruppe A mit 22,8 kg TM/Tag (Tab. 3). Durch die Methioninzulage hatten diese Kühe signifikant höhere tägliche Aufnahmen von nutzbarem Methionin (nMet; Kontrolle: 79,4 g; Versuch A: 91,3 g). Mit 36,7 kg natürlicher Milch/Tag lagen beide Gruppen auf gleichem Niveau, jedoch bei Met-Zulage mit signifikant höheren Fettgehalten von 3,68 % zu 3,50 % in der Kontrollgruppe, so dass sich bei gleichen Eiweißgehalten von 3,13 % ein Unterschied in der ECM Leistung von 1,1 kg/Tag ergibt. Aus der N-Aufnahme mit dem Futter und der N-Abgabe über die Milch wurde der N-Saldo berechnet. Die mit Kot und Harn ausgeschiedenen N-Mengen betragen 392 bzw. 394 g je Kuh und Tag.

Im **2. Fütterungsabschnitt** wurde die vorgesehene Differenzierung von 20 g XP/kg TM eingehalten. Die TM-Aufnahmen lagen mit 23,2 kg in der Kontroll-

gruppe sowie 23,4 kg bzw. 22,7 kg täglich in den Versuchsgruppen A und B auf ähnlichem Niveau. Die Differenzierung im XP-Gehalt der Rationen führte zu signifikant höheren XP-Aufnahmen in der Kontrollgruppe (3 820 g/Tag) verglichen mit Versuchsgruppe A (3390 g/Tag) und B (3 220 g/Tag). Während die Lysin-Versorgung in allen 3 Gruppen mit Werten um 250 g/Tag vergleichbar war, haben Tiere der Versuchsgruppe B durch AS-Zulage eine signifikant höhere Versorgung mit nMet (93 g/Tag zu 82 bzw. 81 g/Tag in der Kontroll- bzw. Versuchsgruppe A). Die Tiere der Versuchsgruppe B hatten eine um etwa 200 g/(Tier · Tag) geringere nXP-Versorgung, gemessen an der erzielten Leistung war die Gesamt-nXP-Versorgung aber noch deutlich bedarfsdeckend. Die natürliche Milchleistung in der Versuchsgruppe A war trotz numerisch höchster Futteraufnahme mit 30,8 kg/Tag signifikant niedriger als in der Kontrolle mit 32,8 kg. Kühe aus Versuchsgruppe B rangierten mit 31,9 kg/Tag dazwischen. Unterschiede in den Inhaltsstoffen waren zufällig und führten zu täglichen ECM Leistungen von 31,9 kg in der Kontrolle sowie 30,4 kg bzw. 31,0 kg in den Versuchsgruppen A und B. In den proteinabgesenkten Futtergruppen reagierten die Milchwahnharnstoffgehalte deutlich.

In den N-Salden spiegelte sich die abgesenkte Proteinversorgung der Versuchsgruppen wieder: die N-Ausscheidungen verminderten sich um 14 bzw. 21 % in Relation zur Kontrollgruppe.

Im **3. Fütterungsabschnitt** konnten 4 Rationen geprüft werden, wobei die in Übersicht 1 dargestellten Zielwerte im XP-Gehalt sehr genau eingehalten wurden. In allen Varianten waren die nXP-Gehalte um ca. 10 g/kg TM höher als geplant. Es zeigten sich signifikant niedrigere TM-Aufnahmen in der Versuchsgruppe C (21,2 kg) zu den 3 weiteren Gruppen (23 kg in Kontrolle und Versuch A; 23,1 kg in Versuch B). Die signifikant höchste Milchleistung wurde mit 32,2 kg ECM in der Kontrolle verglichen mit der Versuchsgruppe C erzielt (28,7 kg ECM). Die Versuchsgruppen A und B bewegten sich mit 30,0 kg bzw. 30,7 kg ECM dazwischen. Die Fettgehalte waren in den Versuchsgruppen zum Teil statisch signifikant erhöht. Wiederum gab es signifikante Unterschiede in den Milchwahnharnstoffgehalten zwischen der Kontrollgruppe und den Versuchsgruppen. In den Versuchsgruppen ergaben sich ebenfalls um 12 bis 19 % reduzierte N-Salden.

Tab. 3: Futter- und Nährstoffaufnahmen sowie Milchleistungen und N-Salden bei reduzierter Rohproteinversorgung

		1. Fütterungsabschnitt: je 48 Tiere, 8.-180. LT, 153 Tage		2. Versuchsabschnitt: je 24 Tiere, re. 25.-215. LT, 127 Tage		3. Versuchsabschnitt: je 24 Tiere, 8.-250. LT, 140 Tage	
		160/160	160/160	140/160	140/160	140/160	140/140
		+ AS		+ AS		+ AS	
	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Versuch
		A		B		A	B
							C
Futter (pro Tag)							
TM-Aufnahme (kg)	22,4	22,8	23,2	23,4	22,7	23,0 ^a	23,1 ^a
XP-Aufnahme (g)	3.570	3.580	3.820 ^a	3.390 ^b	3.220 ^b	3.690 ^a	3.160 ^{bc}
RNB (g)	14,2	12,3	27,4 ^a	-41,6 ^c	-31,6 ^b	4,17 ^a	-4,48 ^b
Milch (pro Tag)							
Milch (kg)	36,7	36,7	32,8 ^a	30,8 ^b	31,9 ^{ab}	33,3 ^a	29,5 ^b
Fett (%)	3,50	3,68	3,73	3,88	3,87	3,78 ^a	4,21 ^b
Eiweiß (%)	3,13	3,19	3,29	3,29	3,23	3,34	3,26
Harnstoff (ppm)	187	195	191 ^a	116 ^b	121 ^b	209 ^a	186 ^b
ECM (kg)	34,3	35,4	31,9	30,4	31,0	32,2 ^a	30,7 ^{ab}
N-Saldo (pro Tag)							
N-Aufnahme (g)	574	580	603	525	499	614	520
N-Milch (g)	182	186	167	151	154	178	157
N-Saldo (g)	392	394	436	374	345	436	363
Reduktion (%)							
				-14	-21	-12	-17

a,b,c: Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile, p ≤ 0,05

4 Diskussion

Die Futteraufnahme war bis auf eine Ausnahme im 3. Versuchsabschnitt nicht durch die verringerte XP-Konzentration beeinflusst. Auch bei Broderick et al. (2008), die vier Rationen mit XP-Gehalten von 14,8 bis 18,6 % der TM an Kühe im 1. Laktationsdrittel verabreichten, war die TM-Aufnahme nicht von der XP-Konzentration beeinflusst. Engelhard et al. (2016) fütterten XP-Konzentrationen von 14,4, 15,3 und 16,4 % der TM und fanden ebenfalls keinen Einfluss auf die TM-Aufnahme. Hingegen fanden dieselben Autoren einen Einfluss der XP-Versorgung auf die Milchleistung. Bei einer XP-Konzentration von 144 g/kg TM waren die natürliche Milchmenge und auch die ECM-Leistung signifikant gegenüber der Konzentration von 164 g/kg TM verringert. Dieser Befund deckt sich gut mit den eigenen Ergebnissen, die bei ebenfalls XP-Gehalten von 14,5 % eine signifikant geringere Leistung aufweisen. Auch Broderick u. a. (2008) konnten einen negativen Einfluss sowohl hoher (18,6 %) als auch (14,8 %) niedriger XP-Konzentrationen in der TM der Ration auf die Milchleistung nachweisen. Auch die Zugabe von pansenstabilem Methionin in Höhe von 15 g Kuh und Tag zu der Ration mit der niedrigen XP-Konzentration konnte den Milchmengenrückgang nicht verhindern, was wiederum gut mit den eigenen Befunden übereinstimmt. Für die mit der Kontrollration (160 g XP und 160 g nXP/kg TM) versorgten Tiere wurden N-Salden in einer Größenordnung von 392 bis 436 g je Kuh und Tag ermittelt. Diese Werte liegen im Bereich dessen, was die DLG (2014) für Kühe mit einer Leistung von 10 000 kg Milch ausweist. Durch die Reduktion des Rohproteingehaltes auf etwa 145 g/kg TM verringerten sich die N-Salden auf einen Bereich von 345 bis 383 g je Kuh und Tag, was einen relativen Rückgang gegenüber den mit der Kontrollration gefütterten Tieren von 12 bis 21 % bedeutet. Bei Broderick et al. (2008) verringerten sich die N-Salden von 447 auf 387 g je Kuh und Tag, wenn der XP-Gehalt in der Ration von 16,4 auf 14,8 % der TM abgesenkt wurde. Die eigenen Befunde stehen hiermit in guter Übereinstimmung. Bei Engelhard et al. (2016) verringerten sich die N-Salden um 73 g je Tier und Tag durch Absenken der XP-Konzentration von 16,4 nach 14,4 % der TM.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Ein XP-Gehalt von 160 g/kg TM und gleichzeitig 160 g nXP/kg TM entsprechend den derzeitigen Versorgungsempfehlungen führt zu hohen Milchleistungen. Die N-Salden sind dabei in Höhe der N-Ausscheidungen gemäß Dünge-VO. Eine

zusätzliche Gabe von geschütztem Methionin zu dieser Versorgungssituation führt unter den geprüften Futtrationen zu einer tendenziell höheren Milchleistung. Das Absenken des XP-Gehaltes auf etwa 140 g/kg TM bei unverändertem Gehalt an nXP hatte keinen nachteiligen Einfluss auf die Futteraufnahme. Teilweise ergaben sich signifikant geringere natürliche Milchmengen und immer signifikant erniedrigte Milchharnstoffgehalte. Auf Basis der ECM wurden keine abgesicherten Unterschiede festgestellt. Die kalkulierten N-Salden verminderten sich um 10 bis 20 %.

Eine Zugabe von geschütztem Methionin und Lysin konnte den durch verminderte XP-Versorgung ausgelösten Milchrückgang teilweise kompensieren. Bevor geschützte Aminosäuren zum Einsatz kommen, muss die Versorgung mit Aminosäuren auf Basis umfangreicher Futteranalysen geprüft werden, da nicht alle Rationen per se durch einen Mangel an bestimmten Aminosäuren gekennzeichnet sind.

Bei Absenken des XP und des nXP auf jeweils 140 g/kg TM wurden teilweise geringere Futteraufnahmen und niedrigere Milchleistungen gegenüber der Kontrollration gemessen. Solch niedrige Konzentrationen in den Rationen sind deshalb nicht empfehlenswert.

Unter Kenntnis dieser und weiterer Versuche aus anderen Forschungseinrichtungen können Rationen mit 150 g XP und 160 g nXP/kg TM sowie einer leicht negativen ruminalen N-Bilanz zur Reduktion der N-Ausscheidungen bei gleichzeitig hoher Milchleistung zum Einsatz kommen. Eine Kalkulation der Aminosäureversorgung sollte vorgenommen werden.

6 Literaturangaben

Broderick, G.A.; Stevenson, M.J, Patton, R.A., Lobos, N.E., Olmos Colmenero, J.J., 2008: Effect of supplementing rumen-protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows. *J. Dairy Sc.* 91, 1092-1102.

Engelhard, T.; Meyer, A.; Bulang, M.; Steingaß, H.; Richardt, W., 2016: Auswirkungen der Fütterung von Rationen mit unterschiedlichen Gehalten an Rohprotein, UDP und nXP an Milchkühen im ersten Laktationsdrittel. Tagungsband Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung vom 12. und 13. April 2016 in Fulda, 105-108.

- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- DLG, 2001: Empfehlungen zum Einsatz von Mischrationen bei Milchkühen, DLG-Information 1/2001, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- DLG, 2014: Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- Schuba, J.; Südekum, K.-H., 2012: Pansengeschützte Aminosäuren in der Milchkuhfütterung unter besonderer Berücksichtigung von Methionin und Lysin. Übers. Tierernährg. 40, 113-149.

Grobfutterleistung von Milchkühen und Futterertrag – Auswertung der Versuchsdaten des Verbundprojekts optiKuh*

H. Spiekers¹, T. Ettle¹, T. Jilg², B. Kuhla³, U. Mohr⁴, M. Pries⁵

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub, ²Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW), Fachbereich Versuchs- und Lehrgangswesen, Rindviehhaltung, Aulendorf, ³Leibniz-Institut für Nutztierbiologie (FBN), Institut für Ernährungsphysiologie, Dummerstorf, ⁴Landwirtschaftliche Lehranstalten Triesdorf, Weidenbach, ⁵Landwirtschaftskammer NRW, Fachbereich Tierhaltung und Tierzucht, Ostinghausen, Bad Sassendorf

1 Zielstellung

Für den Nährstoffvergleich laut § 8, Absatz 3 der Dünge-Verordnung wird für Wiederkäuer die Nährstoffabfuhr von Grünland- und Feldfutterflächen über den Besatz mit Rindern abgeschätzt. Die Daten zu dem Besatz an Rindern stammen Tag genau aus den Angaben des Landwirts in der Datenbank Hi-Tier. Die je Kuh anzusetzenden Aufnahmen an Stickstoff (N) und Phosphor (P) stammen aus den Verfahren zur Abschätzung der Nährstoffausscheidung (DLG, 2014). Bei den Milchkühen wird dabei nach Höhe der Milchleistung und Futtergrundlage (Gras- bzw. Maissilage basiert) unterschieden. Nicht berücksichtigt wird die Grobfutterleistung und somit die Relation von Grob- zu Kraftfutter. In Abhängigkeit von der Grobfutterqualität und dem Niveau an Kraftfutter kann die Grobfut-teraufnahme jedoch sehr stark schwanken. Dies hätte erhebliche Wirkungen auf den Nährstoffvergleich bei gleichem Tierbesatz.

Im ersten Schritt ist zu prüfen, ob tatsächlich große Unterschiede in der Relation Grob- zu Kraftfutter zu erwarten sind. Dies wird an Versuchsdaten aus dem Verbundvorhaben zur Intensität der Milchviehhaltung „optiKuh“ (Spiekers et al., 2017) geprüft. In einem zweiten Schritt wird ein Vorschlag zur Berücksichtigung der Grobfutterleistung von Milchkühen bei der Durchführung des Nährstoffvergleichs abgeleitet.

2 Material und Methoden

In dem Verbundprojekt optiKuh wurde die Intensität der Milchkuhfütterung über Variation der Grobfutterqualität (6,1 zu 6,5 MJ NEL/kg TM) und den Kraftfütterraufwand (150 (N) und 250 g (H) Kraftfutter je kg ECM) geprüft. Die Versuche erfolgten in Form eines Betriebsvergleiches. Futteraufnahme, Leistung sowie Gesundheits- und Fruchtbarkeitsdaten wurden in der Laktation und der Trockenstehzeit erfasst. Abgehende Tiere wurden durch Färsen nachersetzt. Das Vorgehen verlief in abgestimmter Form. Näheres zu den Versuchen ist den einzelnen Arbeiten zu entnehmen (Denißen et al., 2018, Hertel-Böhnke et al., 2018, Kraus et al., 2018, Gerster et al., 2018, Rischewski et al., 2017). Die Besetzung der Fütterungsgruppen ist aus der Tabelle 1 zu ersehen. Nicht in allen Versuchsbetrieben konnten alle vier Gruppen realisiert werden.

Tab. 1: Versuche an Milchkühen zur Intensität der Fütterung in „optiKuh“ über zwei Versuchsjahre – Besetzung der Fütterungsgruppen

Einrichtung	Kühe/ Gruppe	Rasse	Fütterungsgruppe ¹			
			6,1 N	6,1 H	6,5 N	6,5 H
FBN, Dummerstorf	14	DH		X		X
VBLZ Haus Riswick	12	DH	x	X	x	X
LfL-Grub	16	FV	x	X	x	X
LLA-Triesdorf	24	FV			x	X
LAZBW-Aulendorf	24	FV			x	X

¹Energiegehalt im Grobfutter: 6,1 bzw. 6,5 MJ NEL/kg TM; Kraftfütterraufwand: N = 150 g/kg ECM, H = 250 g/kg ECM

Die unterschiedlichen Energiedichten im Grobfutter wurden durch Zugabe von Stroh eingestellt. Bis auf den Versuch von Gerster et al. (2018) in Aulendorf mit TMR wurde eine Teil-TMR mit ergänzender Kraftfüttergabe am Abrufautomat eingesetzt. Die Kraftfüttergabe am Abrufautomat erfolgte über eine Zuteilungskurve nach Laktationsstand mit dem Schwerpunkt in der ersten Hälfte der Laktation. Zwischen Färsen und Tieren ab der 2. Laktation wurde eine unterschiedliche Kurve eingesetzt. Die Anteile an Grassilage-TM am Grobfutter bewegten sich zwischen 38 und 45 % und bei Maissilage zwischen 43 und 54 % auf Jahresbasis.

Die Berechnung der Grobfutterleistung erfolgte nach Weiß (2001). Von der Milchleistung in ECM je 365 Kutztage wurde die durch die Energie im Kraftfutter abgedeckte Milchleistung abgezogen.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die berechneten Grobfutterleistungen der fünf Versuche sind aus der Tabelle 2 ersichtlich. Die Grobfutterleistungen schwanken zwischen 3 300 und 6 300 kg je Kuh und Jahr. Die geringsten Grobfutterleistungen wurden in Gruppe 6,1 H realisiert und die höchsten in der Gruppe 6,5 N. Auffällig sind die merklichen Differenzen zwischen den Versuchseinrichtungen. Die unterschiedlichen Grobfutterleistungen zeigen sich auch in den Mengen an verzehrtem Grobfutter. Der Grobfutteraufwand in den einzelnen Futtergruppen ist aus der Tabelle 3 zu ersehen.

Tab.2: Grobfutterleistung (kg/ECM/Kuh und Jahr) in den Fütterungsversuchen aus optiKuh

Einrichtung	Fütterungsgruppe ¹			
	6,1 N	6,1 H	6,5 N	6,5 H
FBN, Dummerstorf		4.630		4.999
VBLZ Haus Riswick	4.544	3.297	5.095	3.667
LfL-Grub	4.507	3.607	4.926	4.119
LLA-Triesdorf			5.773	4.580
LAZBW-Aulendorf			6.309	4.486

¹Energiegehalt im Grobfutter: 6,1 bzw. 6,5 MJ NEL/kg TM; Kraftfutteraufwand: **N** = 150 g/kg ECM, **H** = 250 g/kg ECM

Der Aufwand an Grobfutter schwankt zwischen 46 und 61 dt TM je Kuh und Jahr. Die niedrigsten Werte sind in der Gruppe 6,1 H und die höchsten in der Gruppe 6,5 N. Die Rangierung steht damit in Übereinstimmung zu den in Tabelle 2 aufgeführten Grobfutterleistungen. Allerdings zeigen sich bei gleicher Grobfutterleistung teils merkliche Differenzen zwischen den Betrieben obwohl die Versuche weitgehend standardisiert abliefen.

Tab. 3: Grobfutteraufwand (dt TM/Kuh und Jahr) in den Fütterungsversuchen aus optiKuh

Einrichtung	Fütterungsgruppe ¹			
	6,1 N	6,1 H	6,5 N	6,5 H
FBN, Dummerstorf		46		48
VBLZ Haus Riswick	59	56	59	57
LfL-Grub	50	47	51	50
LLA-Triesdorf			52	49
LAZBW-Aulendorf			61	55

¹Energiegehalt im Grobfutter: 6,1 bzw. 6,5 MJ NEL/kg TM; Krafffutteraufwand: **N** = 150 g/kg ECM, **H** = 250 g/kg ECM

Die Versuche in optiKuh zeigen, dass Grobfutterleistungen zwischen 3 000 und 6 000 kg ECM je Kuh und Jahr auch längerfristig möglich sind. Die Wahl der Intensität der Milchviehhaltung kann dann nach den Preisrelationen bei Futter und Produkten sowie der einzelbetrieblichen Faktorausstattung erfolgen (Assheuer, 2018). Aus den Daten aus optiKuh direkt auf die Nährstoffaufnahme aus Grobfutter für den Nährstoffvergleich zu schließen ist nur bedingt möglich, da die Bandbreite in der Rationsgestaltung durch die weitgehende Festlegung der Relationen von Mais- zu Grassilage sehr gering war und die Einstellung der Grobfutterqualität durch Zulage von Stroh erfolgte.

Zur Ableitung von Standardwerten zur Berücksichtigung der Grobfutterleistung beim Futterertrag von Milchkühen wird daher im Folgenden ein eigenes Schema in Anlehnung an DLG (2014) hergeleitet.

4 Grobfutterleistung und Futterertrag

In der Tabelle 4 ist der unterstellte NEL-Aufwand in Abhängigkeit von der Grobfutterleistung aufgeführt. Es wird unterstellt, dass bei Anstieg der Grobfutteraufnahme um 1 000 kg ECM je Kuh und Jahr der NEL-Aufwand aus Grobfutter um 3 000 MJ steigt.

Tab. 4: NEL-Aufwand aus Grobfutter je Kuh und Jahr in Abhängigkeit von der Grobfutterleistung in Anlehnung an DLG (2014)

Grobfutterleistung, kg/ECM/Kuh/Jahr	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
NEL-Aufwand, MJ aus Grobfutter*	24 000	27 000	30 000	33 000	36 000

*deckt Erhaltung und angeführte Grobfutterleistung ab

Zur Berechnung der N- und P-Aufnahmen aus Grobfutter wurden die in Tabelle 5 angeführten Vorgaben unterstellt. Für den Grünlandbetrieb wurde ein Anteil Silomais von 25 und den Ackerfutterbaubetrieb von 50 % der Trockenmasse unterstellt. Für Grasprodukte und Silomais wurden mittlere Gehalte an NEL, N und P in Anlehnung an DLG (2014) unterstellt (Tab. 5).

Tab. 5: Unterstellte Vorgaben für das Grobfutter nach Futterbasis, Angaben je kg TM

Futterbasis	Anteil	NEL	N	P
	Silomais, % TM	MJ	g	
Grünland	25	6,3	22,5	3,2
Ackerfutterbau	50	6,4	20,0	2,9

Tab. 6: N- und P-Aufnahme mit dem Grobfutter nach Grobfutterleistung und Futtergrundlage, kg/Kuh und Jahr

Grobfutterleistung, kg ECM/Kuh/Jahr	Grünland		Ackerfutterbau	
	N	P	N	P
2 000	86	12,2	75	10,9
3 000	96	13,7	84	12,2
4 000	107	15,2	94	13,6
5 000	118	16,8	103	15,0
6 000	129	18,3	113	16,3
Standard nach DLG (2014)				
im Mittel	105	14,4	90	13,3

Auf Basis der vorgestellten Maßgaben wurden die N- und P-Aufnahmen aus Grobfutter für Grobfutterleistungen von 2 000 bis 6 000 kg ECM je Kuh und Jahr berechnet. Zum Vergleich sind die bisher in Ansatz gebrachten Werte angeführt. Hierzu wurden die Werte für 8 000 kg ECM bei den verschiedenen Futtergrundlagen gemittelt. Es wird das Niveau für 4 000 kg Grobfutterleistung erreicht. Bei höheren Grobfutterleistungen ergeben sich höhere N- und P-Aufnahmen mit dem Grobfutter und somit höhere Werte für den Nährstoffvergleich bei gleichem Tierbesatz.

Zur Anwendung in der Düngeverordnung sind Vorgaben zur Plausibilisierung höherer Grobfutterleistungen erforderlich. Folgende Möglichkeiten sind hier zu diskutieren:

- Rationskennzahlen, Futteranalysen, Rationskontrolle etc., evtl. Qualitätssicherung durch ausgewiesene Beratungseinrichtung
- Betriebszweigauswertung Milch mit Analysedaten (*dreijähriges Mittel*), Anforderungen an BZA: nach Maßgaben der DLG, Durchführung durch anerkannte Beratungsträger
- Stallsaldo (DLG 2014) und Stoffstrombilanz

5 Fazit/Ausblick

In den Versuchen des Verbundvorhabens „optiKuh“ wurden in Abhängigkeit von Grobfutterqualität, Kraffutterniveau und der Versuchseinrichtung Grobfutterleistungen zwischen und 3 000 und 6 000 kg ECM je Kuh und Jahr realisiert. Bei gleicher Grobfutterleistung zeigten sich dabei merkliche Differenzen im Aufwand an Grobfutter. Weitere Auswertungen und Untersuchungen zu den Ursachen sind hier angezeigt.

Die Spanne in der Grobfutterleistung sollte im Nährstoffvergleich berücksichtigt werden. Hierzu wurde ein standardisiertes Vorgehen vorgestellt. Zur Plausibilisierung der Grobfutterleistung sind verschiedene Ansätze zu diskutieren.

6 Literaturangaben

- Assheuer, J.B., 2018: Ableitung ökonomischer Empfehlungen. in: Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekers, H., Hertel-Böhnke, P., Meyer, U.. LfL-Schriftenreihe 2/2018, 44-48. ISSN 1611-4159.
- Denißen, J., Hoffmanns, C., Hoppe, S., Pries, M., Südekum, K-H, 2018: Einfluss der Grobfutterqualität und des Kraftfutterniveaus bei Teil-TMR über zwei Jahre auf Milchleistungsparameter bei Deutschen Holsteins. in: Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekers, H., Hertel-Böhnke, P., Meyer, U.. LfL-Schriftenreihe 2/2018, 34-39. ISSN 1611-4159.
- DLG, 2014: Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere 2. Auflage. Arbeiten der DLG, Band 199, DLG-Verlag Frankfurt a.M.
- Gerster, E., Jilg, T., Steingass, H., Rodehutschord, M., Spiekers, H., 2018: Ergebnisse aus zwei Jahren TMR-Fütterung von Milchkühen der Rasse Fleckvieh bei einem Kraftfutteraufwand von 150 und 250 g pro kg ECM. in: Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekers, H., Hertel-Böhnke, P., Meyer, U.. LfL-Schriftenreihe 2/2018, 30-33. ISSN 1611-4159.
- Hertel-Böhnke, P., Ettle, T., Spiekers, H. 2018: Einfluss von Kraftfutterniveau und Grobfutterqualität auf Futteraufnahme und Leistungsparameter bei Fleckvieh über zwei Jahre. in: Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekers, H., Hertel-Böhnke, P., Meyer, U.. LfL-Schriftenreihe 2/2018, 59-64. ISSN 1611-4159.
- Kraus, N., Durst, L., Mohr, U., Spiekers, H. 2018: Ergebnisse zum Kraftfuttereinsatz bei Milchkühen der Rasse Fleckvieh. in: Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekers, H., Hertel-Böhnke, P., Meyer, U.. LfL-Schriftenreihe 2/2018, 53-58. ISSN 1611-4159.
- Rischewski, J., Bielak, A., Derno, M., Tuscherer, A., Kuhla, B., 2018: Impact of different roughage qualities at comparable concentrate level on feed efficiency and methane emissions of dairy cows during the lactation cycle. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 26, 29.

- Spiekers, H., Jilg, T., Kuhla, B., Swalve, H., Thaller, G., Etle, T., Koch, C., Mohr, U., Meyer, U., Pries, M., Losand, B., Schiefler, I., Güldenpfenig, H., Hartwig, S., Stamer, E., Steppin, T., 2017: Vorstellung des Verbundvorhabens optiKuh. in: Vortragstagung der DGFZ und der GfT am 20./21.09.2017 in Hohenheim, A1.
- Weiß, J., 2001: Grundfutterleistung einheitlich berechnen. in: Tagungsband zum 1. Forum „Angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung“, Fulda. Hrsg.: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn.
- *„Die Förderung des Vorhabens optiKuh erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt (bzw. erfolgte) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.“

Unterschiedliche Faserkomponenten im Futter von Zuchtsauen – Auswirkungen auf Futteraufnahme, Lebendmasseentwicklung und Zuchtleistung

W. Preißinger, G. Propstmeier, S. Scherb

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Schwarzenau/Grub

1 Einleitung

Um die gesetzlichen Vorgaben der Tierschutz-Nutztierverordnung einhalten zu können, werden in der landwirtschaftlichen Praxis häufig sogenannte „Fasermixe“ eingesetzt. Hauptbestandteile dieser rohfaserreichen Ergänzungsfuttermittel für Zuchtschweine sind Obsttrester, meist aus Äpfeln, Sojabohnenschalen, Trockenschnitzel, heißluftgetrocknete Gras- und Luzerneprodukte sowie Nebenerzeugnisse der Mehlmüllerei. Entsprechend ihrer Zusammensetzung unterscheiden sie sich im Preis. Differenzen von 7 € je dt und mehr sind keine Seltenheit. In einem Fütterungsversuch mit tragenden und ferkelführenden Sauen wurde geprüft, ob sich Fasermixe unterschiedlicher Zusammensetzung auf Futteraufnahme, Lebendmasseentwicklung und Zuchtleistung auswirken. In einem vorausgegangenen Versuch zum Einsatz von Fasermixen zur Erhöhung des Fasergehaltes im Futter von Ferkeln zeigten sich positive Auswirkungen auf die Aufzuchtleistung bei Einsatz eines preiswerten Produkts ohne Apfeltrester (Preißinger et al., 2017).

2 Material und Methoden

Der Versuch wurde am Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum (LVFZ) für Schweinehaltung in Schwarzenau von Januar bis August 2017 durchgeführt. Dazu standen drei von sieben Sauengruppen der Herde des LVFZ Schwarzenau, die im 3-Wochen-Rhythmus geführt wird, zur Verfügung. Insgesamt wurden 89 Produktionszyklen von Sauen für den Versuch berücksichtigt.

Folgende Behandlungsgruppen wurden miteinander verglichen:

- Gruppe 1: Fasermix I, mit Apfeltrester, Schwarzenauer Standard
- Gruppe 2: Fasermix II, ohne Apfeltrester, preiswert

Die Fasermixe waren sowohl Bestandteil des Trage- als auch des Laktationsfutters. Die Futtermischungen wurden in der Versuchsmahl- und Mischanlage in Schwarzenau hergestellt und im Labor der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub analysiert. Dabei wurden nach Methoden des VDLUFA (2012) die Gehalte an Feuchtigkeit (Methode 3.1), Rohprotein (Methode 4.1.1), Aminosäuren (Methode 4.11.1), Tryptophan (Methode 4.11.2), Rohfett (Methode 5.1.1), Rohfaser (Methode 6.1.1), Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung (Methode 6.5.1), Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung (Methode 6.5.12), Zucker (Methode 7.1.1) sowie Stärke (Methode 7.2.1) ermittelt. In Tabelle 1 sind die Zusammensetzungen der getesteten Fasermixe dargestellt.

Tab. 1: Zusammensetzung der getesteten Fasermixe (Angaben bei 88 % TM)

		Fasermix I	Fasermix II
Trockenschnitzel	%	30	18,2
Weizenkleie	%	15	24
Sojabohnenschalen	%	24	--
Apfeltrester	%	30	--
Haferschälkleie	%	--	21
Luzernegrünmehl	%	--	19
Sonnenblumenextraktionsschrot	%	--	15,8
Melasse	%	1	1
Sonstiges (Kalk, Salze, Fette)	%	--	1

Im Wartebereich wurden regelmäßig Konditionsbeurteilungen an den Sauen nach dem Body-Condition Score (BCS) durchgeführt und die Futtermengen im Verlauf der Tragezeit angepasst. Der Verbrauch an Tragefutter sowie die Lebendmassen (LM) der Sauen wurden täglich an Abrufstationen (Compident VI, Schauer Agritechnic GmbH) erfasst. Weitere Gewichtserhebungen fanden bei Einstallung ins Abferkelabteil, kurz vor und nach dem Abferkeln sowie nach jeder Laktationswoche statt.

Die Ermittlung des Futtermittelsverbrauchs während der Laktation erfolgte täglich für jede Sau über eine Spotmix Wiege- und Transporteinheit (Schauer Agritechnic GmbH). Die LM der Ferkel wurden als Wurfgewichte nach der Geburt, bei der

Wurfbehandlung sowie nach jeder Säugewoche erfasst. Zusätzlich wurden im Abferkelstall die Geburtsdauer, der Gesundheitsstatus der Sauen und die Aufzuchtleistung festgehalten.

Die Futterzuteilung der Sauen wurde in der 1. Säugewoche in Schritten von 0,5 kg pro Tag gesteigert. Im Verlauf der 2. Säugewoche wurde auf ad libitum Fütterung umgestellt. Ab der 2. Lebenswoche der Ferkel wurde ein Saugferkelbeifutter eingesetzt und die verbrauchten Mengen dokumentiert. Behandlungsmaßnahmen und Impfungen an Sauen und Ferkeln sowie das Aussondern von Sauen wurden gemäß der üblichen Vorgehensweise des LVFZ Schwarzenau für beide Gruppen gleich durchgeführt. Ein Wurfausgleich war nur innerhalb der Gruppen erlaubt.

In Tabelle 2 sind die Versuchsrationen sowie die kalkulierten Inhaltsstoffe angeführt. Die eingesetzten Futtermischungen wurden wegen der Vergleichbarkeit auf 880 g Trockenfutter korrigiert.

Tab.2: Zusammensetzung und kalkulierte Gehaltswerte der Versuchsmischungen (Angaben bei 88 % TM)

Gruppe		Tragefutter		Laktationsfutter	
		1	2	1	2
Weizen	%	9	9	45	45
Gerste	%	64,5	62,5	27	27
Fasermix I	%	17	-	5	-
Fasermix II	%	-	20	-	5
Sojaextraktionsschrot, LP	%	6	5	17	17
Sojaöl	%	1	1	2,5	2,5
Mineralfutter _{, Tragefutter¹⁾}	%	2,5	2,5		
Mineralfutter _{, Laktationsfutter²⁾}	%	--	--	3,5	3,5
umsetzbare Energie (ME)	MJ	12,1	11,9	13,3	13,3
Rohfaser	g	72	70	43	42
Rohprotein	g	128	134	169	172
Lysin	g	6,4	6,5	9,6	9,7

¹⁾ 22% Ca; 5% P; 5% Na; 2,5% Mg; 5% Lys; 0,5% Met

²⁾ 17% Ca; 4% P; 6% Na; 1,5% Mg; 6% Lys; 1% Met; 2% Thr

Die analysierten Inhaltsstoffe der Fasermixe und der Versuchsrationen gehen aus Tabelle 3 hervor.

Tab. 3: Analytierte Inhaltsstoffe der eingesetzten Fasermixe und Futtermischungen (Angaben bei 88 % TM)

		Fasermix		Tragefutter		Laktationsfutter	
		I	II	Gruppe	Gruppe	Gruppe	Gruppe
				1	2	1	2
ME	MJ	8,5	8,2	12,0	11,9	13,2	13,0
Rohfaser	g	240	177	65	67	42	41
aNDFom	g	449	384	177	191	125	125
ADFom	g	307	218	88	91	61	52
Rohprotein	g	105	158	130	135	157	165
Lysin	g	5,0	6,3	6,9	6,3	9,1	9,5
Methionin	g	1,5	2,7	2,2	2,3	2,5	3,0
Cystin	g	1,2	2,0	1,9	2,0	2,3	2,5
Threonin	g	3,6	5,6	4,4	4,6	5,9	6,6
Tryptophan	g	1,6	1,6	1,3	1,4	1,5	1,7
Kalzium	g	5,3	7,9	7,6	7,2	7,9	8,5
Phosphor	g	2,7	4,8	4,4	4,6	4,9	4,4
Kupfer	mg	9	12	17	2	26	32
Zink	mg	5	58	127	105	152	164

Fasermix I wies gegenüber Fasermix II höhere Gehalte an Rohfaser (240 gegenüber 177 g), aNDFom (449 gegenüber 384 g) sowie ADFom (307 gegenüber 218 g) je kg auf. Wegen des höheren Rohfasergehaltes von Fasermix I wurden im Tragefutter der Gruppe 1 17 anstatt 20 % Fasermix eingesetzt (siehe Tab. 2). Aufgrund seines höheren Gehalts an Mühlennachprodukten lag der Phosphor- (P-) Gehalt im Fasermix II um ca. 2 g pro kg höher.

Bei den Futtermischungen stimmten die analysierten Werte gut mit den kalkulierten Vorgaben überein. Der höhere P-Gehalt im Tragefutter der Testgruppe ist plausibel. Im Säugefutter der Testgruppe würde man trotz des geringen Anteils an Fasermix ebenfalls einen höheren P-Gehalt erwarten. Mit 4,4 gegenüber 4,9 g/kg lag der P-Gehalt im Säugefutter der Testgruppe sogar etwas niedriger.

Mischgenauigkeit, Probenziehung, Probenverarbeitung und Analytik könnten für den niedrigeren Wert verantwortlich sein.

Zum Versuchsstart kostete Fasermix I 28 € und Fasermix II 21 € pro dt. Durch den Einsatz von Fasermix II verbilligte sich das Futter für die tragenden Sauen in der Testgruppe um etwa 1,25 € pro dt. Auch das Säugefutter wurde in dieser Gruppe um rund 0,35 € pro dt preiswerter.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Varianzanalyse, Mittelwertsvergleich). Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) sind mit unterschiedlichen Hochbuchstaben gekennzeichnet.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Sauen wurden mit durchschnittlich 237 kg (Gruppe 1) bzw. 241 kg (Gruppe 2) LM in das Warteabteil eingestallt. Dort nahmen sie im Mittel 53 kg (Gruppe 1) bzw. 52 kg (Gruppe 2) zu. Die Unterschiede waren während des etwa 80-tägigen Einstallzeitraums nicht signifikant. In diesem Zeitraum nahmen die Tiere der beiden Gruppen das zugeteilte Alleinfutter für tragende Sauen nahezu vollständig auf. Die Sauen verbrauchten im Mittel jeweils 3,1 kg Futter pro Tag. Die Unterschiede waren statistisch nicht abzusichern. Der Futterverbrauch während des Aufenthalts im Abferkelstall ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: Verbrauch an Futter (kg/Tier und Tag) im Abferkelstall (LSQ-Mittelwerte)

	Gruppe 1	Gruppe 2	Sign. $p < 0,05$ ¹⁾
Woche vor Abferkeln	2,83 ^a	2,75 ^b	0,002
Säugewoche 1	3,26	3,35	0,308
Säugewoche 2	6,03	6,00	0,836
Säugewoche 3	8,03	7,81	0,425
Säugewoche 4	7,62	7,21	0,188

¹⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit

In der Woche vor dem errechneten Abferkeltermin verbrauchten die Sauen 2,75 kg (Gruppe 1) bzw. 2,83 kg (Gruppe 2) Futter. Aufgrund der geringen Streu-

ung in dieser Phase waren die Unterschiede signifikant. In Säugewoche 1 lag der Futterverbrauch in beiden Gruppen bei etwa 3,3 kg und in Säugewoche bei rund 6,0 kg pro Tier und Tag. In den letzten beiden Säugewochen verbrauchten die Tiere von Gruppe 1 etwas mehr Futter (8,0 gegenüber 7,8 kg in Säugewoche 3 bzw. 7,6 gegenüber 7,2 kg in Säugewoche 4). Während der vierwöchigen Säugezeit waren die Unterschiede nicht signifikant. Die LM-Entwicklung der Sauen im Abferkelabteil ist in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tab. 5: LM-Entwicklung (kg) der Sauen im Abferkelstall (LSQ-Mittelwerte)

	Gruppe 1	Gruppe 2	Sign.p<0,05 ¹⁾
Einstellung	289	296	0,303
vor Geburt	290	293	0,691
nach Säugewoche 1	257	257	0,941
nach Säugewoche 2	254	255	0,946
nach Säugewoche 3	254	254	0,984
nach Säugewoche 4	243	241	0,783
LM-Verlust Säugeperiode	15	16	0,607

¹⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit

Um die Geburt verloren die Sauen im Mittel ca. 35 kg an Körpermasse, vorwiegend durch Ferkel und Konzeptionsprodukte. Während der sich anschließenden vierwöchigen Säugezeit hatten die Sauen im Mittel einen LM-Verlust von 15 kg zu beklagen. Die Werte in beiden Gruppen lagen nahe beieinander, signifikante Unterschiede traten nicht auf.

Die Ferkel nahmen insgesamt wenig an Saugferkelbefutter auf. Im Mittel wurden 265 bzw. 268 g pro abgesetztes Ferkel verbraucht. Das ergibt pro Ferkel knapp 13 g pro Tag ab Lebenswoche 2.

Der Geburtsverlauf, der Gesundheitsstatus sowie die Zuchtleistungen der Sauen sind in Tabelle 6 angeführt. Mit Ausnahme des Wurfgewichtes, des Ferkelgewichtes beim Absetzen und der abgesetzten Ferkel konnten zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Bei zwei dieser Parameter schnitt Gruppe 2 mit dem preiswerten Fasermix besser ab.

Tab. 6: Geburtsverlauf, Gesundheitsstatus und Zuchtleistungen der Sauen (LSQ-Mittelwerte)

		Gruppe 1	Gruppe 2	Sign. p<0,05 ¹⁾
Wurfziffer	n	3,7	3,7	
Säugedauer	d	28,1	28,1	0,715
Geburtsdauer	h	6,2	6,6	0,376
Ferkel mit Geburtshilfe/Wurf	n	1,4	1,6	0,410
Körpertemp. 1. Tag p.p.	°C	38,9	39,0	0,321
Körpertemp. 2. Tag p.p.	°C	38,8	39,0	0,163
Körpertemp. 3. Tag p.p.	°C	38,5	38,6	0,440
Behandlungsdauer	d	1,5	1,5	0,985
totgeborene Ferkel	n	1,2	0,9	0,280
lebendgeborene Ferkel	n	14,1	14,8	0,229
Ferkel, Wiegung 1	n	13,4	14,0	0,247
Geburtsgewicht, Ferkel	kg	1,5	1,6	0,524
Wurfgewicht	kg	19,9 ^b	21,6 ^a	0,018
abgesetzte Ferkel	n	12,3 ^b	12,8 ^a	0,010
Absetzgewicht Ferkel	kg	8,1 ^a	7,8 ^b	0,038
Wurfzuwachs/Tag	kg	2,86	2,79	0,367
Ferkelverluste	n	2,2	2,4	0,711

¹⁾ Irrtumswahrscheinlichkeit

4 Schlussfolgerungen

Der Einsatz des preiswerteren Fasermix II ohne Apfeltrester zeigte im Versuch keine negativen Effekte auf Futteraufnahme und LM-Entwicklung der Sauen sowie auf die Zuchtleistung. Berücksichtigt man die Preisdifferenzen von 1,25 € pro dt für das Trage- und 0,35 € pro dt für das Laktationsfutter, so reduzieren sich bei einem unterstellten Futterverbrauch von 700-850 kg Tragefutter und 350-500 kg Säugefutter pro Sau und Jahr (LfL, 2014) die Futterkosten um ca. 10,0-12,5 € pro Sau. Bei 250 Sauen sind dies 2.500-3.100 € pro Jahr.

5 Literaturangaben

- LfL, 2014: LfL-Information Futterberechnung für Schweine, 21. Auflage, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft.
- Preißinger, W., Propstmeier, G., Scherb, S., 2017: Fasern für Ferkel. Bayer. Landw. Wochenbl. 23, 48-49.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl. 1976, 8. Ergänzt.lief. 2012, VDLUFA-Verlag Darmstadt.

Möglichkeiten und Grenzen der Digitalisierung in der Milchviehhaltung

S. Hoy

Justus-Liebig-Universität, Gießen

1 Einleitung

In den größer werdenden Milchviehbetrieben fallen in zunehmender Menge Daten zu Milchleistung, Tiergesundheit, Fruchtbarkeit und Verhalten sowie beginnend zur Positionsbestimmung im Stall an, die der Herdenmanager anstelle der Inaugenscheinnahme des Tieres für die Kontrolle verwenden könnte, deren Nutzung aber in der täglichen Betriebsroutine den Landwirt häufig überfordert. So werden z. B. in einem Betrieb mit einem Automatischen Melksystem allein über den Roboter etwa 35 bis 40 Parameter pro Kuh und Tag erfasst. Bei 60 Kühen sind das ca. 2100 bis 2400 Werte pro Tag bzw. 63 000 bis 72 000 Werte pro Monat. Hinzu kommen ggf. Daten aus dem Kuhplaner-Programm, aus automatischen Fütterungsanlagen oder von anderen Sensoren (z. B. Stallklimadaten). Der Landwirt benötigt zur Unterstützung seines Managements aber insbesondere eine automatische Früherkennung der Brunst, von Erkrankungen, der Abkalbungen sowie von Störungen im Zusammenhang mit der Futter- und Wasserversorgung, um rechtzeitig darauf reagieren zu können. Wird z. B. die Brunst einen Zyklus früher erkannt, führt allein das zu einer Einsparung von Kosten in Höhe von ca. 63 EUR – sofern die Kuh erfolgreich besamt wird. Einer Aggregation von Daten zur Erhöhung der Erkennungsrate kommt auch insofern eine große Bedeutung zu, da mehrere Parameter während der Brunst oder bei beginnenden Krankheiten reagieren und die zusammenfassende Bewertung die Informationssicherheit erhöht.

2 Brunsterkennung

Die größte Bedeutung hat der Einsatz der Digitalisierung im Zusammenhang mit der Brunsterkennung erlangt. Die Probleme bei der Brunstdetektion in der Praxis lassen sich durch eine geringe Ausprägung der Brunstsymptome, eine oft unregelmäßige und verlängerte Zyklusdauer von 22 bis 23 Tagen, eine verkürzte (erkennbare) Brunstdauer sowie eine teilweise nur geringe Aktivitätser-

höhung charakterisieren. Vor diesem Hintergrund wurden sensorbasierte Verfahren entwickelt und eingesetzt, um Informationen zum Brunstgeschehen zu erhalten. Am verbreitetsten ist dabei die Aktivitätsmessung mittels Pedometer oder Respaktor. Sowohl Pedometer (Zählung der Schritte – während der Brunst ist die lokomotorische Aktivität erhöht) als auch Respaktoren (Messung für die Brunst typischer Kopf-/Halsbewegungen und Berechnung einer dimensionslosen Einheit „Aktivität“ nach einem internen Algorithmus) registrieren die Bewegungen der Tiere, sodass sich brünstige Kühe durch ihre erhöhte Bewegungsaktivität erkennen lassen. Pedometer- oder Respaktorsysteme stehen sowohl für Betriebe mit Automatischem Melksystem (AMS) als auch für solche mit Melkstand zur Verfügung und können als Stand alone-Version auch nachgerüstet werden.



Abb. 1: Anzeige des Aktivitätsverlaufes einer Kuh über 7 Tage hinweg mit einer Brunst (erhöhte Aktivität) und Angabe des optimalen KB-Zeitraumes (ai24, ETS/Semex)

Einige Messsysteme, aber nicht alle, sind validiert. Validierte Systeme sollten Brunsterkennungsraten von über 90% ermöglichen.

Einige Hersteller bieten Systeme zur automatischen, kontinuierlichen Messung der Wiederkaudauer an. In Verbindung mit einer LD (long distance)-Antenne kann der Zugriff auf die Daten ständig erfolgen und nicht wie bei den Vorgängermodellen nur während der Melkzeiten, wenn die Kühe unter einer über dem Ausgang des Melkstandes installierten Antenne hindurchlaufen. Die Stand alone-Verfahren sind grundsätzlich mit sehr gutem Erfolg auch für die Brunst-

erkennung bei Jungkühen einzusetzen. Häufig ist zumindest in den kleinen Nebenerwerbsbetrieben die Brunsterkennung bei dieser Tierkategorie problematisch, da der jeweilige Betriebsleiter zu wenig Zeit dafür im Stall verbringt. Eine Vernetzung der Erkennungssysteme mit dem Herdenmanagementprogramm ist zwingend, um nicht Kuhdaten doppelt eingeben zu müssen. Die Anzeige des optimalen Besamungszeitraumes gehört zum notwendigen Know-how der Anbieter (Abb. 1).

3 Gesundheitsüberwachung

Im Vergleich zur Brunsterkennung ist das automatische Gesundheitsmonitoring noch nicht so weit in der Praxis verbreitet. Das hängt allerdings auch damit zusammen, dass nicht alle Erkrankungen automatisch erkannt werden können, sondern nur die, die mit einer deutlichen Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens und Auswirkungen auf die Futteraufnahme verbunden sind. Während Klauenerkrankungen nach den vorliegenden Ergebnissen zumeist nicht durch die automatische Wiederkaumessung zu detektieren sind, führen Stoffwechselstörungen und teilweise auch die (Coli-)Mastitis zu einer deutlichen Absenkung der täglichen bzw. zweistündlich gemessenen Rumination.

Puerperalstörungen können ebenfalls sehr gut über die automatische Messung der Rumination sichtbar gemacht werden, sollten bei schwerem Verlauf natürlich auch klinisch sichtbar sein. Allerdings werden hochtragende Kühe oder Frischabkalber in vielen Betrieben nicht mit Wiederkausensoren ausgestattet. In Abhängigkeit von der Schwere der jeweiligen Erkrankung kann auch die Aktivitätsmessung zur Gesundheitsüberwachung herangezogen werden. Dabei ist zu beachten, dass Respektoren (Halsbandsensoren) für die Brunst charakteristische Kopf- und Halsbewegungen messen, nicht jedoch die lokomotorische Aktivität abgebildet wird.

4 Prognose des Kalbebeginns

Mit Hilfe der automatisch gemessenen Wiederkaudauer kann kontinuierlich der Zeitraum vor der Kalbung überwacht und eine Prognose zum Beginn der Abkalbung gegeben werden. Die Treffsicherheit beträgt im Mittel mindestens 80 %. Da die Futteraufnahme unmittelbar vor der Geburt des Kalbes stark zurückgeht

oder sogar eingestellt wird, ist es nur folgerichtig, dass auch die Rumination deutlich absinkt. Die Verminderung der Wiederkauaktivität beginnt 8 Stunden und ist besonders ausgeprägt 4 bis 2 Stunden vor der Geburt des Kalbes. Auf eine ergänzende visuelle Kontrolle der hochtragenden Kühe sollte jedoch nicht verzichtet werden. Wenn die abkalbebedingte Abnahme der Wiederkaudauer mit einer im Tagesgang ohnehin rückläufigen Ruminationsdauer zusammenfällt, ist nämlich die Erkennungsrate etwas niedriger.

5 Erfassung der Futteraufnahmedauer

Seit einiger Zeit werden Systeme angeboten, die automatisiert die Futteraufnahme erfassen sollen. Mittels Halsbandsensoren (Lagesensoren) wird die für das Fressen typische Kopfhaltung registriert. Indirekt soll mit der Fressüberwachung zum einen die Brunsterkennung gewährleistet werden, zum anderen sollen Abweichungen von einem normativen Futteraufnahmeverhalten als Hinweis auf mögliche Gesundheitsstörungen oder Probleme mit der Grundfutterqualität gelten. Dabei ist zu beachten, dass Stehen am Futtertisch ohne Fressen auch als Futteraufnahme gewertet wird (s. u.). Wenn also Kühe neugierig sind und im Fressgitter stehen, um ihre Umgebung zu erkunden, wird auch das als Fressen erfasst. Zum Teil sind die dazu angebotenen Grafiken unübersichtlich.

6 Automatische Erfassung der Lebendmasse

Die tägliche Gewichtskontrolle in den ersten Tagen der Laktation könnte bei drastischen Körpermasseverlusten den Herdenmanager und/oder Tierarzt alarmieren. Mangels Wägetechnik wird in vielen Betrieben der BCS zur Charakterisierung des Körpermasseabbaus herangezogen. In einem Melkroboter-Typ ist jedoch eine Waage eingebaut, um alle Kühe täglich zu wiegen. Es konnte eine große Schwankungsbreite des Gewichtsverlustes bei den einzelnen Kühen in Abhängigkeit von Betrieb, Laktationsnummer und weiteren Faktoren nachgewiesen werden. Allerdings werden diese Informationen von Praxis, Beratung und Wissenschaft bisher kaum genutzt, sodass der neueste Robotertyp des Herstellers nur optional mit Wägetechnik ausgeliefert wird.

7 Messung von Pansen-pH und Pansen-Temperatur

Der batteriebetriebene Pansenbolus-Sensor verbleibt dauerhaft im Pansen und misst im Abstand von 10 min pH-Wert und Temperatur. Nach anfänglich großen technischen Problemen und einer sehr kurzen Messdauer hat sich in den neueren Modellen die Stabilität der Messung verbessert. Der Sensor dient der Bewertung der Futterration und der Früherkennung von Pansenazidose, wenn der pH-Wert unter 5,5 absinkt. Vergleichsweise hohe Kosten und eine insgesamt zu geringe Messdauer schränken die Praxisanwendung noch sehr ein, sodass gegenwärtig nur Einzeltiere für die Herdenüberwachung damit ausgestattet werden.

8 Positionsbestimmung im Stall

Die grundsätzliche Überlegung dabei ist, aus der sich verändernden Position der Kühe im Stall und der damit verbundenen Aktivität Rückschlüsse auf das Brunstgeschehen (= erhöhte Aktivität) oder Krankheiten (= verminderte Aktivität) zu ziehen. Außerdem sollen in größeren Ställen diese Tiere schnell gefunden werden. Mit GPS oder LPS werden Bewegungsprofile der Kühe erstellt. Dabei ist zu beachten, dass nicht alle Kühe während der Brunst eine erhöhte Bewegungsaktivität zeigen und nicht alle gesundheitlichen Störungen die Lokomotion beeinträchtigen. Außerdem können Stalleinbauten die Positionsbestimmung durch Ortung erheblich beeinträchtigen.

9 Früherkennung von Störungen der Futter- oder Wasserversorgung

Beeinträchtigungen der Futterqualität (z. B. Geruchs- und Geschmacksabweichungen) führen zu einer drastischen Herabsetzung der Futteraufnahme und in der Folge zur Absenkung der Wiederkaudauer, was einen Gesundheitsalarm auslösen kann. Dazu folgendes Beispiel: In einem Betrieb war offensichtlich die Qualität verschiedener Grassilage-Folienballen stark vermindert (wobei sich die exakte Ursache nicht ermitteln ließ). Unmittelbar nach der Futtervorlage verweigerten die Kühe die Futteraufnahme und die Ruminationsdauer ging um mehr als 200 min (3,5 h) pro Tag zurück. Beispielhaft wird diese Dynamik in der Abbildung 2 illustriert. An den fünf Tagen danach gaben die Kühe pro Tag 5,4 kg

weniger Milch. Dies wiederholte sich mehrfach, ehe die Grassilage vorübergehend aus der Ration genommen wurde und die Kühe einen höheren Anteil Maissilage und Heu erhielten. In diesem Fall waren die Auswirkungen so dramatisch, dass die Futterverweigerung auch ohne Überwachungssystem bemerkt wurde. Ein zweites Überwachungssystem im Betrieb, das die tägliche Futteraufnahme messen soll, reagierte im Gegensatz zur Wiederkauaktivität nicht mit einer Alarmmeldung. Bei diesem System wird gemessen, wenn das Pedometer ca. 20 cm vom Futtertisch entfernt ist. Die Dauer des Aufenthaltes am Futtertisch wird somit der Futteraufnahmedauer gleichgesetzt. Wenn die Kühe „im Fressgitter“ stehen, ohne zu fressen, wird natürlich eine fehlerhafte Messung hervorgerufen (s. o.).

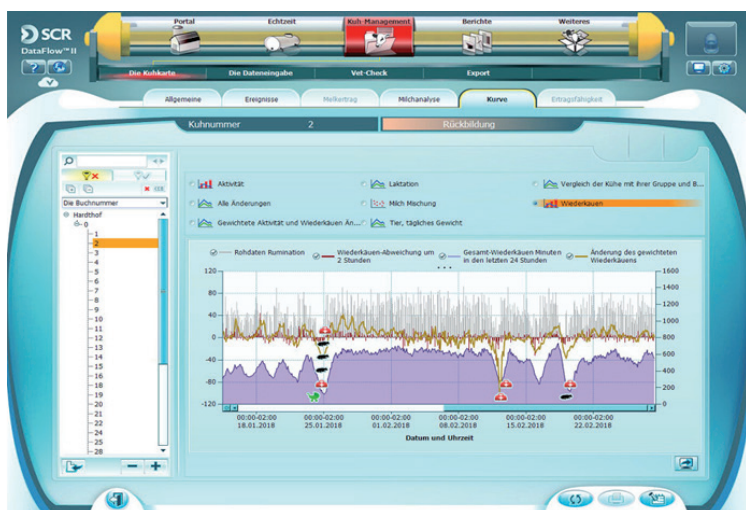


Abb. 2: Wiederholter deutlicher Rückgang der Wiederkaudauer aller laktierenden Kühe (am Beispiel der Kuh 2) nach der Fütterung von Grassilage minderer Qualität (SCR Heatime HR™)

Ein anderes Beispiel zeigte sich bei der Reparatur der Wasserversorgung in einem Betrieb. Die Kühe hatten ca. 7 h keinen Zugang zu Wasser. Am selben Tag ging die Wiederkaudauer von durchschnittlich 500 min auf 336 min zurück. Erst am übernächsten Tag wurde die Ausgangs-Wiederkaudauer mit 512 min/Tag wieder erreicht. Der Ausfall der Wasserversorgung hatte gravierende Auswirkungen auf die Milchleistung. Am Tag nach dem Wasserausfall ging die Milchleistung der Kühe der Herde im Mittel um 7,7 kg zurück. Nach 5 Tagen hatte die Milchleistung noch nicht wieder das Ausgangsniveau erreicht.

10 Kontrolle der Liegedauer der Kühe

Erste Ansätze zur Messung und Interpretation der Liegedauer liegen vor. So wurde in einem Betrieb festgestellt, dass nach dem Einstreuen der Liegeboxen am Montag die tägliche Liegedauer bis zum darauffolgenden Sonntag um eine Dreiviertelstunde abnahm. Offensichtlich wurden die Liegeboxen umso weniger lang genutzt, je stärker sie verschmutzt waren. Die tägliche Liegedauer könnte somit als automatisch erfasster Tierwohl-Indikator verwendet werden.

11 Kombination von Daten zur Verbesserung der Erkennung

Am eindrucksvollsten kann die Aggregation von Messdaten bei der gleichzeitigen Messung von Aktivität und Wiederkaudauer verdeutlicht werden (Abb. 3). Insgesamt 97 % der Brunsten von Kühen verschiedener Herden konnten dadurch erkannt werden, indem Ruminations- und/oder Aktivitätsveränderungen stattfanden. Lediglich 3 % der brünstigen Kühe waren automatisch weder durch die Messung der Aktivität noch durch die Ergebnisse der Wiederkaumessung zu erkennen. Damit muss zugleich unterstrichen werden, dass eine 100 %-ige Sicherheit durch automatische Systeme (noch) nicht gewährleistet und die visuelle Kontrolle der Tiere zur Brunsterkennung unverzichtbar ist.

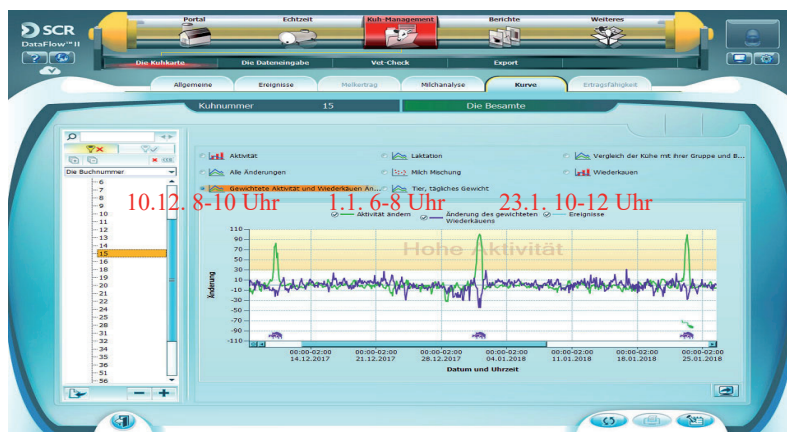


Abb. 3: Steigerung der Aktivität und Senkung der Wiederkaudauer bei einer zyklisch brünstigen Kuh (SCR Heatime HR™)

12 Fazit

1. Die wichtigsten Aufgaben beim Einsatz der Digitalisierung in der Milchviehhaltung sind die Früherkennung von Brunst, Erkrankungen, Abkalbungen sowie von Störungen der Futter- und Wasserversorgung.
2. Die gleichzeitige Erfassung von Aktivität und Wiederkauaktivität führt zu einer automatischen Erkennung von 93 bis 97 % der Brunstereignisse.
3. Die Wiederkaudauer ist ein mächtiger Parameter, der viele Einflüsse nachweisen kann. So ist die Wiederkaudauer neben der Brunsterkennung zur Prognose des Abkalbebeginns und zur Überwachung des Puerperiums geeignet.
4. Die Gesundheitsüberwachung kann dann funktionieren, wenn das Allgemeinbefinden der betreffenden Kühe deutlich beeinträchtigt ist. Damit können Informationen zeitnah bereitgestellt werden, die eine schnelle Reaktion ermöglichen.
5. Die Knackpunkte der Digitalisierung sind durch Folgendes zu charakterisieren:
 - a. Genauigkeit: jedes Messprinzip hat Messfehler, diese sowie die Sensitivität müssen bekannt sein,
 - b. Haltbarkeit (des Akkus): 6-7 Jahre (Erfahrungen liegen vor),
 - c. Parameter: Wiederkaudauer und Aktivität sind die wichtigsten – „neue“ Parameter müssen Zusatznutzen nachweisen,
 - d. Alarmierung: z. B. Brunsthinweis ist notwendig, zusätzlich Information zum optimalen Besamungszeitraum,
 - e. Verknüpfung von Daten: Aktivität + Wiederkauen = Brunsterkennungsrate bis 97%,
 - f. Kopplung mit Herdenmanagement-Programm ist essentiell, um Doppelingaben zu vermeiden.

Digitalisierung in der Milchviehhaltung – Überwachung der Ruminat ion vor und nach der Kalbung

K. Halli¹, C. Koch², S. Hoy¹

¹Institut für Tierzucht und Haustiergenetik, Justus-Liebig-Universität, Gießen,

²Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Westpfalz (DLR), Hofgut Neumühle, Münchweiler an der Alsenz

1 Einleitung

Im Bereich des „Precision Dairy Farming“ ist mittlerweile eine große Anzahl technischer Produkte fest im Herdenmanagement etabliert. Diese erfassen sensorbasiert und individuell Tierparameter und unterstützen den Landwirt z. B. bei der Brunsterkennung (Reith und Hoy, 2012) oder geben Hinweise auf Stresssituationen (Soriani et al., 2013). Eine solche Stressbelastung ist insbesondere für Erstkalbinnen durch den Kalbevorgang gegeben, was sich durch ein stark verändertes Verhalten äußert. Dieses bleibt jedoch im Falle nächtlich stattfindender Abkalbungen häufig unbemerkt, was besonders bei weiter entfernt liegenden Stallgebäuden und in Fällen, die das Hinzuziehen eines Tierarztes erfordern, zu Problemen und eventuell sogar zu Totgeburten führen kann. Durch elektronische Messsysteme, die z. B. eine erhöhte Bewegungsaktivität registrieren (Maltz und Antler, 2007) und daraufhin einen Alarm auslösen, können derartige Verhaltensänderungen auch zu den Ruhezeiten im Stall für das Kalbmanagement genutzt werden. Im Idealfall werden dadurch nächtliche Kontrollgänge reduziert. Auch können geburtshilfliche Maßnahmen noch rechtzeitig vorgenommen werden, bevor es im Notfall bei Muttertier und Kalb zu schädlichen Folgen während des Geburtsvorganges kommt.

Im Rahmen eines Kooperationsprojektes zwischen dem DLR Westpfalz, dem Hofgut Neumühle und der JLU Gießen, sollte die Ruminat ion von Milchkühen unter Einsatz eines automatischen Messsystems vor und nach der Kalbung untersucht und auf Einflussfaktoren analysiert werden. Gleichzeitig sollte das System auf dessen Eignung als Hinweisparameter für bevorstehende Kalbungen untersucht und dessen Zuverlässigkeit als Frühwarnsystem bewertet werden.

2 Material und Methoden

Zur automatischen Ruminationsmessung kam das Heatime™ HR-System von SCR-Dairy zum Einsatz. Die Ruminationsmessung wurde bei insgesamt 58 Tieren (16 Färsen und 42 Kühe) der Milchviehherde am Hofgut Neumühle für den Zeitraum der 8 Tage a. p. bis 8 Tage p. p. aufgezeichnet. Besonderes Augenmerk wurde auf den Zeitraum 24 h a. p. bis 24 h p. p. gelegt. Der Tag der Kalbung wurde als Tag 0 definiert. Die Tiere wurden mindestens 10 Tage vorher mit den Heatime-Halsbändern mit Sensor ausgestattet, um sicherzustellen, dass durch das System im Voraus ein tierindividueller Ruminationsmittelwert errechnet werden konnte. Zur Abkalbung wurden die Tiere 4 bis 5 Tage vor dem errechneten Kalbetermin in sauber eingestreute Abkalbeboxen gebracht. Um den Kalbezeitpunkt retrospektiv genau feststellen zu können, wurden die Abkalbeboxen mittels Infrarot-Videotechnik zusätzlich über 24 h-Aufnahmen überwacht. Der Kalbezeitpunkt wurde als Zeitpunkt der vollendeten Austreibung definiert. Des Weiteren wurden vom Stallpersonal Kalbeprotokolle geführt, in denen Daten, wie das Geburtsgewicht, das Geschlecht des Kalbes sowie Informationen über den Kalbevorgang (Schwergewicht oder selbstständige Kalbung) vermerkt wurden. Um auch bei nächtlichen Kalbungen eine schnellstmögliche Geburtshilfe sicherzustellen, wurde zusätzlich das iVET® 3.0 Geburtsüberwachungssystem eingesetzt. Der Zeitpunkt der Trennung von Muttertier und Kalb wurde retrospektiv anhand der Videoaufzeichnungen ausgewertet. Die Kälber wurden dabei in Kälberglus eingestallt und die Muttertiere in ein Frischkalbeabteil gebracht. Gefüttert wurden die Tiere 1 x täglich um 08:00 Uhr mit einer TMR für Trockensteher. Zusätzlich wurde 3 x täglich nachgeschoben (ca. 13:00, 15:00 und 18:00 Uhr).

Die vom Heatime-System aufgezeichneten Wiederkaudaten wurden als 2 h-Werte gespeichert und anschließend zur weiteren Datenaufbereitung in Excel-Tabellen transformiert. Um die Ruminationswerte vor, während und nach der Kalbung der „regulären“ Ruminationswerte gegenüberzustellen, wurde ein Durchschnittsverlauf der Tage außerhalb des abkalbenahen Zeitpunktes (Tage -8 bis -2) auf individueller Basis (individuelle Basislinie) und auf Herdenbasis (Basalwert bzw. 0-Linie) erstellt. Die dabei berechneten Mittelwerte konnten anschließend mit den Ruminationswerten der Tage -1, 0 und +1, bzw. den 24 h vor und nach der Kalbung verglichen werden. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS der Versionen 22.0 und 23.0. Zur Auswertung auf Herdenbasis wurden gemischte lineare Modelle herangezogen.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Rumination folgt im regulären Tagesverlauf einem bestimmten Rhythmus, der durch Managementmaßnahmen, wie die Fütterung, beeinflusst wird. Dabei erreicht die Rumination in den Nachtstunden zwischen 22:00 Uhr und 04:00 Uhr ihr höchstes Niveau und sinkt in den frühen Morgenstunden kontinuierlich ab, wobei sich zur morgendlichen Fütterung um 08:00 Uhr der Tiefpunkt der Rumination zeigt. Ein deutlicher Wiederanstieg der Rumination zeigt sich am Abend ab 20:00 Uhr. Während der nächtlichen Ruhezeiten im Stall wird demnach am stärksten wiedergekaut. Ähnliche Muster im Ruminationsverlauf wurden bereits in früheren Studien nachgewiesen (Bormann et al., 2014; Hoy, 2014^a; Pahl et al., 2014; Reith et al., 2014; Schröter, 2016).

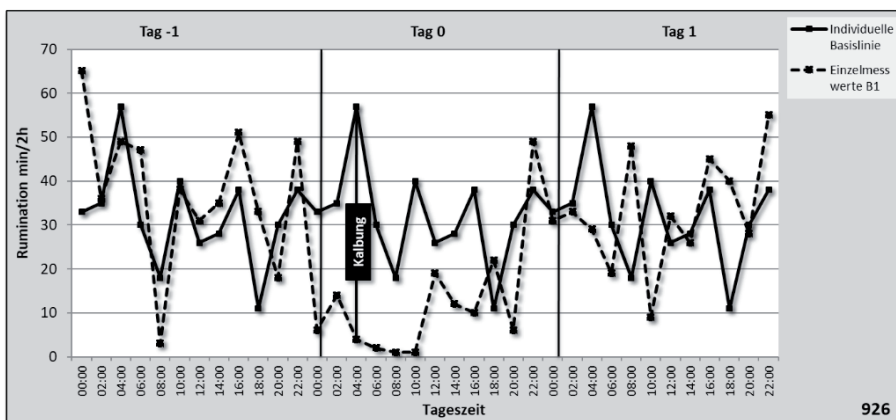


Abb. 1: Tierindividuelle Rumination als Abweichung von der individuellen Basislinie am Beispiel von Tier 926

Die tierindividuelle Auswertung der Rumination konnte zeigen, dass der individuelle reguläre Tagesgang (definiert durch die gemittelten 2 h-Werte der Tage -8 bis -2) zwar bei allen Tieren grundsätzlich ähnlich war, es jedoch in der Höhe des Ruminationsniveaus und der Ausprägung der Schwankungen deutliche Unterschiede gab. So gab es Tiere mit einem mittleren Ruminationsniveau von lediglich 210 min/d und andere, die mit 667 min/d deutlich länger ruminieren. In Abbildung 1 und 2 sind zwei Beispiele für tierindividuelle Auswertungen dargestellt. Die individuelle Basislinie wurde dabei dreimalig hintereinandergelegt. Die 2 h-Werte der Tage -1, 0 und +1 wurden anschließend graphisch über die individuelle Basislinie gelegt, um die Abweichung der Rumination vor, während

und nach der Kalbung sichtbar zu machen. Dabei zeigte sich, dass die Rumination eines großen Teils der Tiere am Tag -1 noch weitestgehend dem Verlauf der individuellen Basislinie folgte. Der Zeitpunkt der beginnenden Abweichung der Rumination von der individuellen Basislinie variierte stark zwischen den Tieren. Allerdings konnte bei 84 % der ausgewerteten Kalbungen eine bereits mehrere Stunden vor der Kalbung beginnende Abweichung der Rumination beobachtet werden. In diesen Fällen war eine Früherkennung der Kalbung durch das Heatime-System möglich (vgl. Abb. 1).

In den übrigen 16 % trat die Abweichung von der individuellen Basislinie erst kurze Zeit vor der Kalbung ein, weshalb eine frühzeitige Prognose nicht möglich war (vgl. Abb. 2).

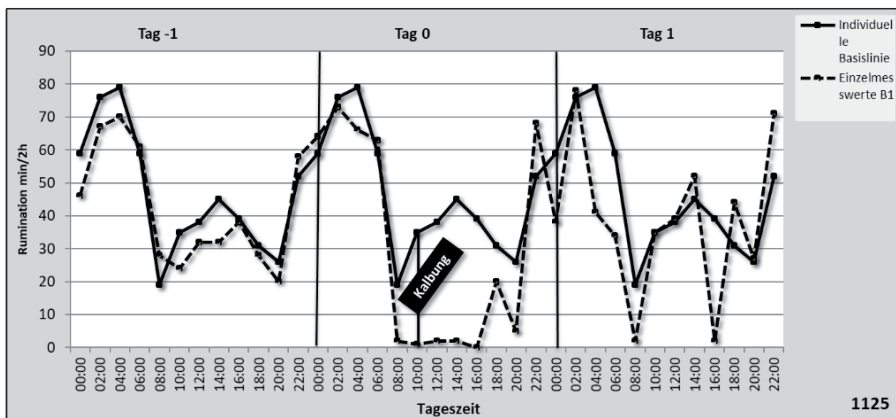


Abb.2: Tierindividuelle Rumination als Abweichung von der individuellen Basislinie am Beispiel von Tier 1125

Lediglich bei 12 % der Tiere stieg die Rumination sofort nach der Kalbung wieder an. 88 % der Kalbungen waren dagegen durch eine Stagnation der Rumination, einen weiteren Rückgang oder sogar ein komplettes Aussetzen der Rumination charakterisiert, was in der Literatur mit Stress (Schirmann et al., 2013) und der Anwesenheit des Kalbes (Pahl et al., 2014) begründet wird. Dieser Zustand hielt in der vorliegenden Untersuchung zwischen zwei und 14 h an (im Mittel 5,1 h). Bei Erstkalbinnen dauerte dieser Zustand im Vergleich zu älteren Tieren etwas länger (5,4 h vs. 5,0 h), was sich möglicherweise mit einem erhöhten Stresslevel im Vergleich zu älteren und erfahreneren Kühen erklären lässt. Hinweise darauf finden sich in der Literatur. So konnten Le Neindre und D'Hour (1989)

nachweisen, dass erfahrene Kühe ihre neugeborenen Kälber nach der Geburt länger beleckten als Erstkalbinnen. Außerdem zeigten Erstkalbinnen eher aggressives Verhalten in Form von Stößen gegen ihre Kälber und setzten auch das Belecken des Kalbes eher aus als Mehrkalbskühe (Edwards, 1983), was als Zeichen von Unsicherheit und Stress gedeutet werden kann. Im Mittel erreichten die Tiere 11,7 h p. p. den individuellen Mittelwert der Stunden -24 bis -10 a. p., wobei 55 % der Tiere es schafften, diesen Wert innerhalb von 10 h p. p. zu erreichen. 45 % brauchten länger, wobei die maximale Dauer bei 28 h lag.

Der tierindividuellen Auswertung folgte eine herdenbasierte Auswertung. Dabei wurden, ausgehend vom jeweiligen Kalbezeitpunkt in 2 h-Schritten die 24 h vor und nach der Kalbung ermittelt. Über die Zuordnung der jeweiligen Uhrzeiten konnte für jedes Tier der zur jeweiligen Uhrzeit gehörende Mittelwert der Referenzperiode ermittelt werden. Zur Erstellung des Basalwertes wurden diese Referenzwerte der 24 h vor und nach der Kalbung aller 58 Tiere gemittelt und als 0-Linie (Basalwert) dargestellt (Abb. 3). Im Mittel zeigte sich 8 h a. p. mit -11 min/2h Differenz ein erster deutlicher Rückgang der Rumination, was sich mit den Ergebnissen von Hoy (2014^b) deckt. In den vier Stunden vor der Kalbung stieg die Differenz zum Basalwert um weitere 22 Minuten. Auch dieser Zeitraum wurde bereits in früheren Studien mit ähnlichen Beobachtungen beschrieben (Hoy, 2014^b; Pahl et al., 2014). Die stärkste Abweichung zeigte sich jedoch nicht zum Zeitpunkt der Kalbung, sondern erst 2 h p. p. (-37 min/2h).

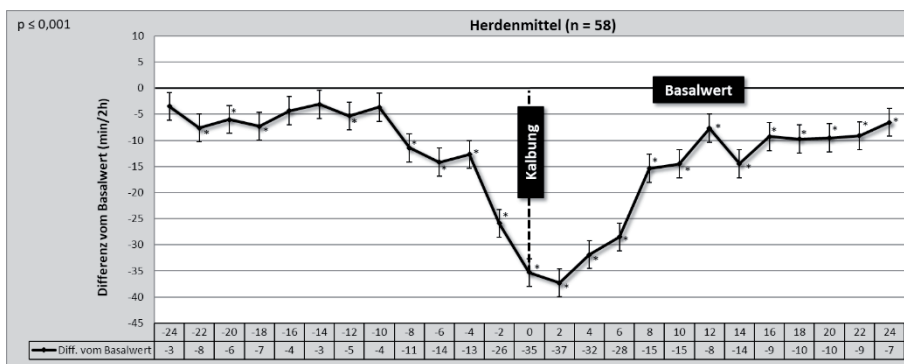


Abb. 3: Herdenbasierte Rumination als Abweichung vom Basalwert

Am Beispiel von Tier 1125 (siehe Abb. 2) war die späte Abweichung von der individuellen Basislinie eindeutig auch durch die Tageszeit begründet, zu der die Kalbung stattfand, da zu dieser Tageszeit die Rumination regulär rückläu-

fig war (siehe individuelle Basislinie) und sich der ruminationsabschwächende Effekt der Kalbung mit dem der Tageszeit überlagerte. Um eine Aussage darüber treffen zu können, ob Kalbungen am Vormittag durch die sich überlagernden Effekte generell schlechter vom System erkennbar waren als nächtliche Kalbungen, wurde die Tagesphase als fixer Effekt im Modell der herdenbasierten Auswertung (n = 58) berücksichtigt. Dabei zeigte sich ein signifikanter Einfluss auf die Ruminationsdifferenz vom Basalwert ($p \leq 0,01$). Aufgrund der stärker ausfallenden Differenz vom Basalwert waren Kalbungen, die während der Nacht zwischen 20:00 Uhr und 04:00 Uhr stattfanden, zuverlässiger vom System erkennbar als Kalbungen während des Vormittags.

Des Weiteren wurden die fixen Effekte „Gewichtsklasse Kalb“ ($\leq 41,0$ kg; 41,5-44,0 kg; $\geq 44,5$ kg), „Geburtsverlauf“ (Schwergewicht; selbstständig) sowie „Parität“ (Erstkalbinnen; 2. Kalbung; Kalbung 3 bis 6) im Modell mitberücksichtigt. Keiner dieser Effekte hatte einen signifikanten Einfluss auf die Differenz vom Basalwert. Dennoch wurde im weiteren Vorgehen die Rumination als Abweichung vom Basalwert auch für die unterschiedlichen Paritätsklassen dargestellt, um der Frage nachzukommen, ob Erstkalbinnen, aufgrund eines wie vorher beschriebenen möglicherweise höheren Stresslevels vor und während der Kalbung, auch deutlichere Abweichungen vom Basalwert aufzeigen und daher leichter vom Heatime-System zu erkennen sind als ältere Kühe (Abb. 4). Tatsächlich reagierten Erstkalbinnen bereits 2 h früher mit einer reduzierten Rumination und verminderten diese stärker als Mehrkalbskühe.

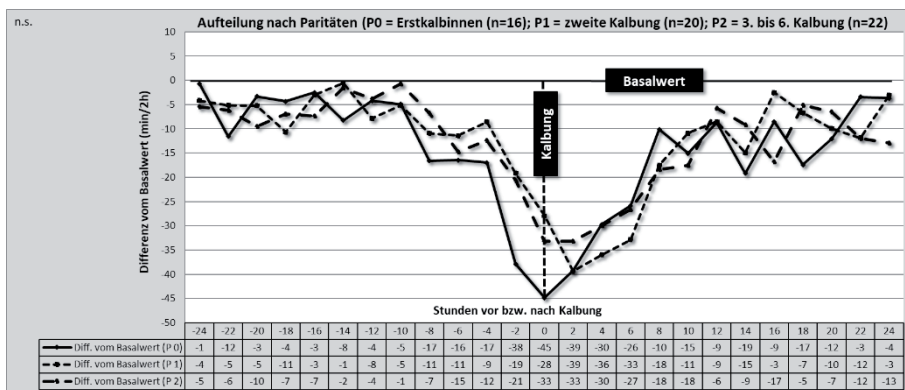


Abb.4: Herdenbasierte Rumination als Abweichung vom Basalwert nach Paritäten

4 Fazit

Über elektronische Messsysteme kann die individuelle Ruminationszeit von Milchkühen zuverlässig erfasst werden. Obwohl das Ruminationsniveau starke individuelle Unterschiede aufweist, ist das Muster im Tagesverlauf bei allen Kühen sehr ähnlich, da Managementfaktoren, wie die Fütterung, als Zeitgeber auf die Tagesrhythmik wirken. Bei 84 % der beobachteten Kalbungen trat eine Reduzierung der Ruminationszeit mehrere Stunden (im Mittel 8 h a. p.) vor der Kalbung ein, sodass diese vom elektronischen Messsystem frühzeitig erkannt werden wären. Kalbungen während der Nacht sind sicherer vom System erkennbar als Kalbungen am Vormittag, da die Tageszeit einen starken Einfluss auf den regulären Ruminationsverlauf hat und somit auch die durch die Kalbung verursachte Ruminationsdifferenz vom Basalwert durch die Tageszeit beeinflusst wird. Aufgrund des früheren Anstiegs der Ruminationsdifferenz vom Basalwert a. p. und ihres gleichzeitig stärkeren Ausfalls zum Zeitpunkt der Kalbung, sind Kalbungen von Erstkalbinnen vom System sicherer erkennbar als Kalbungen älterer Kühe. Erstkalbinnen brauchten im Mittel etwas länger bis zum ersten Wiederanstieg der Ruminationszeit nach der Kalbung, was auf ein höheres Stressniveau im Vergleich zu Mehrkalbskühen hindeutet.

5 Literaturangaben

- Bormann, R., Mahlkow-Nerge, K., Hasenpusch, E., 2014: Praxistest von Hea-time Ruminact in Futtercamp. Rind im Bild 4, S. 65-69.
- Edwards, S. A., 1983: The behaviour of dairy cows and their newborn calves in individual or group housing. Appl. Anim. Ethol. 10, S. 191-198.
- Hoy, S., 2014^a: Untersuchungen zu Faktoren mit Einfluss auf die automatisch gemessene Wiederkaudauer bei Kühen. Züchtungskunde 86 (3), S. 145-156.
- Hoy, S., 2014^b: Die Abkalbung vorhersagen? Elite 4/2014, S. 30-32.
- Le Neindre, P., D'Hour, P., 1989: Effects of postpartum separation on maternal responses in primiparous and multiparous cows. Anim. Behav. 37 (1), S. 166-168.
- Maltz, E., Antler, A., 2007: A practical way to detect approaching calving of the dairy cow by a behavior sensor. Conference Paper, Precision livestock farming '07, 3rd European Conference on Precision Livestock Farming, Skiathos, Greece, S. 141-146.

- Pahl, C., Hartung, E., Grothmann, A., Mahlkow-Nerge, K., Haeussermann, A., 2014: Rumination activity of dairy cows in the 24 hours before and after calving. *J. Dairy. Sci.* 97 (11), S. 1-7.
- Reith, S., Hoy, S., 2012: Relationship between daily rumination time and estrus of dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 95 (11), S. 6416-6420.
- Reith, S., Brandt, H., Hoy, S., 2014: Simultaneous analysis of activity and rumination time, based on collar-mounted sensor technology, of dairy cows over the peri-estrus period. *Livestock Sci.* 70, S. 219-227.
- Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, D. M., Vickers, L., Von Keyserlingk, M. A. G., 2013: *Short communication*: Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 96 (11), S. 1-5.
- Schröter, I., 2016: Automatische Aktivitätsmessung bei Milchkühen zur Festlegung des optimalen Besamungszeitraums. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Soriani, N., Panella, G., Calamari, L., 2013: Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *J. Dairy. Sci.* 96 (8), S. 1-13.

Akzeptanz des Verfahrens der Gülleansäuerung zur Reduktion von Ammoniakemissionen im Stall und Lager

S. Höcherl, F. Lichti

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Freising

1 Einleitung

Die neue NEC-Richtlinie (Richtlinie (EU) 2016/2284) sieht eine Senkung der NH₃-Emissionen um 29 % bis 2030 gegenüber dem Referenzjahr 2005 für Deutschland vor. Die Landwirtschaft gilt mit 95 % als der Hauptemittent von Ammoniak. Einen Anteil von 83 % nimmt die Tierhaltung ein. Die Ammoniakemissionen in der Milchviehhaltung lassen sich mit 57 % überwiegend auf die Ausbringung zurückführen, während in der Mastschweinehaltung mit 66 % der überwiegende Anteil auf die Stallhaltung zurückgeht (Haenel et al., 2016). Zur Minderung von Ammoniakemissionen während der Ausbringung muss nach der Düngeverordnung ab 2020 bzw. 2025 die Gülle unmittelbar auf oder in den Boden beispielsweise mit Schleppschuh oder Injektion abgelegt werden, aber auch im Stallbereich werden Methoden mit einem hohem Reduktionspotential benötigt, um sich den Zielwert der NEC-Richtlinie zu nähern. Im Entwurf der TA-Luft 2017 werden zur Emissionsminderung Maßnahmen aus den BVT-Schlussfolgerungen genannt. Eine dieser Maßnahmen ist das Verfahren der Gülleansäuerung, das gemäß Richtlinie 2010/75/EU als „beste verfügbare Technik“ im Bereich Mastschweinehaltung erwähnt wird.

Die Ansäuerung von Gülle ist eine bereits anerkannte Methode zur Verringerung von Ammoniakemissionen in Dänemark. Das Verfahren beruht auf dem temperatur- und pH-Wert-abhängigen Dissoziationsgleichgewicht zwischen NH₄⁺ und NH₃ in der flüssigen Phase von Wirtschaftsdüngern. Durch die Zugabe von Säure (z. B. Schwefelsäure) zur Gülle verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung Ammoniumstickstoff. Die Säurezugabe erfolgt im Stall, bei der Lagerung oder während der Ausbringung. Dabei wird der pH-Wert der Gülle auf pH 5,5 bis 6 gesenkt. Bei der Ansäuerung im Stall wird die Gülle aus dem Stall in einen Prozesstank geleitet. Dort erfolgt die Säurezudosierung. Anschließend wird ein Teil der Gülle zurück in den Stall gepumpt, der andere ins Lager. Dieses Verfah-

ren verspricht ein NH₃-Minderungspotential von 64 % in Mastschweineställen (VERA) und 50 % in Rinderställen (Zhang et al., 2005). Zudem wird durch die geringeren N-Verluste die Düngeneffizienz erhöht und Mineraldüngerkosten eingespart. Das Verfahren bringt jedoch auch Herausforderungen und offene Fragen mit sich wie die Beeinträchtigung der Arbeitssicherheit im Umgang mit Schwefelsäure, die noch ungeklärte Auswirkung auf Betonbauteile und die Bildung von Schwefelwasserstoff, sowie Schaum bei der Säurezugabe (Fanguiero et al., 2015). Fraglich ist, ob dieses Verfahren auch unter den bayerischen Strukturbedingungen und Betriebsverhältnissen eingeführt werden kann. Das Interesse und die Akzeptanz dieser Technologie bei Landwirten sind bisher unbekannt und wurden daher mittels einer Online-Umfrage an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft ermittelt.

2 Material und Methoden

Die Online-Umfrage wurde von August bis November 2017 durchgeführt. Sie richtete sich an Landwirte, Berater, Schüler und Studenten im Studiengang Landwirtschaft oder ähnliche. Der Fragebogen unterteilte sich in die Bereiche soziodemographische Merkmale, landwirtschaftliche Betriebskennzahlen, Einsatz emissionsmindernder Maßnahmen und Interesse und Akzeptanz von Ansäuerungsverfahren im Stall. Veröffentlicht wurde der Fragebogen online durch zahlreiche Verbände, Hochschuleinrichtungen und Fachzeitschriften. Die Auswertung der Daten erfolgte mit der Software SAS (Statistical Analysis System).

3 Ergebnisse und Diskussion

Soziodemographische Merkmale

An der Umfrage nahmen insgesamt 277 Teilnehmer teil. Die Teilnehmer kamen überwiegend aus Deutschland (96 %), daneben aus Österreich und der Schweiz. Darunter waren 13 Bundesländer vertreten, wobei der Großteil der Teilnehmer aus Bayern (201) war. Es folgten Baden-Württemberg (21), Nordrhein-Westfalen (14) und Niedersachsen (13). Zudem waren 88 % der Teilnehmer männlich mit einer gemischten Altersverteilung von 15 bis 64 Jahren. Die Teilnehmer im Alter von 65 Jahren nahmen nur einen sehr kleinen Anteil ein.

44 % der Teilnehmer haben einen Hochschulabschluss, 22 % mittlere Reife bzw. einen Realschulabschluss und 17 % Hochschulreife.

Die Stichprobe umfasste mit einem Anteil von 61 % überwiegend Landwirte, daneben einen moderaten Anteil an Studenten (19 %). Die übrigen Funktionen waren nur gering vertreten. Dennoch hat ein Großteil der Teilnehmer (79 %) einen Praxisbezug zur Landwirtschaft durch den eigenen oder elterlichen Betrieb. 83 % dieser Betriebe werden im Haupterwerb bewirtschaftet. 137 Betriebe sind rinderhaltend und 58 schweinehaltend. Daneben fanden sich 70 Betriebe mit Biogaserzeugung.

Interesse und Akzeptanz

Nur knapp der Hälfte (48 %) der Teilnehmer war das Verfahren der Gülleensäuerung zuvor bekannt. 80 % dieser haben in Fachzeitschriften darüber gelesen, 18 % sich auf Informationsveranstaltungen informiert. Die Hersteller aus Dänemark waren ihnen hingegen weniger bekannt. Die Teilnehmer wurden anschließend befragt, wie ihre Meinung zu Gülleensäuerungsverfahren ist. Dabei konnten sie auf einer fünfstufigen Likert-Skalierung zwischen befürworte ich sehr bis lehne ich stark ab wählen. 86 % der Teilnehmer haben eine positive bis neutrale Einstellung gegenüber der Technologie (Abb. 1).

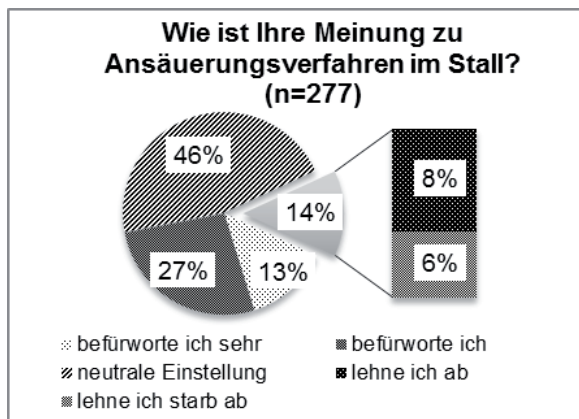


Abb. 1: Meinungsäußerung der Teilnehmer (n = 277) zu Ansäuerungsverfahren im Stall.

Zudem wurden den Teilnehmern mögliche Vorteile und Ablehnungsgründe von Ansäuerungsverfahren im Stall vorgestellt. Diese sollten sie mithilfe einer fünfstufigen Likert-Skalierung von „sehr bedeutend bis nicht bedeutend“ bewerten (Abb. 2). Die Erhöhung der Düngeneffizienz, die aus einer Minderung der Stickstoffverluste hervorgeht, war für die Teilnehmer der bedeutendste Vorteil der Technologie neben der Verringerung von Ammoniakemissionen. Insgesamt wählten alle Teilnehmer der Umfrage bei den möglichen Vorteilen von Gülle-ansäuerungsverfahren im Stall überwiegend „sehr bedeutend“ oder „ziemlich bedeutend“ aus.

Bei den potentiellen Ablehnungsgründen erlangte die Gefahr einer möglichen Korrosion mit über 80 % die größte Bedeutung für die Teilnehmer. Da eine Korrosion die Haltbarkeit von Betonmaterialien (Lagerbehälter, Güllekeller und -kanäle) beeinträchtigen kann, können daraus auch Schäden im Stallbereich resultieren, was die Bedenken der Teilnehmer erklärt. Die Beeinträchtigung der Arbeitssicherheit im Umgang mit Säuren und betriebswirtschaftliche Gründe durch die Investition in eine neue Technologie waren für die Gesamtzahl an Teilnehmern von geringerer Bedeutung.

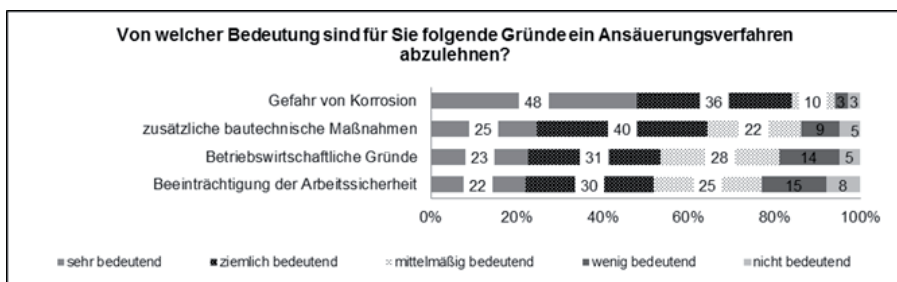
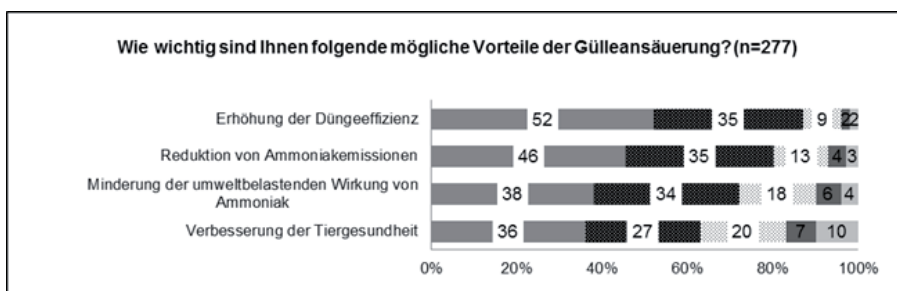


Abb.2: Bewertung der Befürwortungs- und Ablehnungsgründe für Ansäuerungsverfahren im Stall

Kosten des Verfahrens

Schließlich wurden die Teilnehmer der Umfrage zu den Kosten befragt. Nach Jonassen (2016) betragen die Investitionskosten für einen Milchviehstall mit 375 Kühen 100.000 €. Die laufenden Kosten pro Jahr bestehen aus 7 500 € Säurekosten, 1 000 € Servicekosten und 900 € Stromkosten. Für die Ansäuerung wurde eine Schwefelsäuremenge von 7 kg/m³ Gülle angenommen. Auch die Umfrageteilnehmer gaben Investitionskosten für den Bau der Anlage von maximal 100 000 € an, wobei 77 % der Teilnehmer nur unter 25 000 € investieren würden. Die laufenden Kosten pro Jahr dürfen maximal 5 000 € ab einer Betriebsgröße von 500 Rinder bzw. 1 000 Schweine betragen. Um dies mit den bayerischen Verhältnissen zu vergleichen, wurde eine Prognose für einen Betrieb mit 62 Milchkühen und einen Wirtschaftsdüngeranfall nach dem „Gelben Heft-Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland“ mit einem Schwefelsäureverbrauch von 7 kg/m³ Gülle berechnet. Daraus ergaben sich Säurekosten in der Höhe von 1.938 € bei einem Schwefelsäurepreis von 0,33 € pro Liter Schwefelsäure. Jedoch muss bedacht werden, dass die Säurekosten je nach Pufferkapazität und daraus resultierender Schwefelsäuremenge erheblich schwanken können. Zudem gilt die Berechnung über den Wirtschaftsdüngeranfall nur als ein ungefährender Anhaltspunkt.

4 Schlussfolgerungen

Die Umfrageergebnisse zeigen, dass das Interesse und die Akzeptanz von Ansäuerungsverfahren im landwirtschaftlichen Bereich groß sind. Von Bedeutung für die Umfrageteilnehmer ist dabei, dass die Düngeneffizienz und damit der Mehrwert flüssiger Wirtschaftsdünger durch geringere Stickstoffverluste steigt. Bedenken bestehen noch hinsichtlich möglicher Korrosion im gesamten Stallbereich durch die angesäuerte Gülle. Hinsichtlich der erhofften Kosteneinsparungen durch die Ansäuerung von flüssigen Wirtschaftsdüngern darf nicht vergessen werden, dass diese keinesfalls durch Einsparungen der notwendigen persönlichen Schutzausrüstung sowie weiterer Schutzmaßnahmen vor Kontakt mit Säuren einhergehen darf. Fraglich ist zudem, ob Ansäuerungsverfahren gesellschaftliche Akzeptanz finden.

5 Literaturangaben

- Fangueiro, D., Hjorth, M., Gioelli, F., 2015: Acidification of animal slurry– a review. *J. Environ. Manage.* 149(0):46-56.
- Haenel, H-D., Rösemann, C., Dämmgen, U., Freibauer, A., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., 2016: Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2014: Report on methods and data (RMD) Submission 2016. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 408 p, Thünen Rep 39.
- Jonassen, K.E.N, 2016: Ammonia emission reduction during in house slurry acidification. Folien präsentiert im Rahmen des internationalen Seminars zur Ansäuerung von Gülle Vejle DK, 28., 29.09.2016 (Veranstalter: Danish Environmental Protection Agency). URL: [http://eng.mst.dk/topics/agriculture/acidification/\(04.10.2016\)](http://eng.mst.dk/topics/agriculture/acidification/(04.10.2016)).
- Wendland, M., Diepolder, M., Offenberger, K., Raschbacher, S., 2018: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, 2018, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), 98 S.
- Zhang, G., Strøm, J.S., Li, B., Rom, H.B., Morsing, S., Dahl, P., Wang, C., 2005: Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. *Biosyst. Eng.* 92(3):355-364.

Bestimmung des Reinproteingehaltes von Futtermitteln: Vergleich von Trichloressigsäure und Wolframsäure als Fällungsmittel

C. Böttger¹, F. Dohme-Meier², U. Wyss², K.-H. Südekum¹

¹Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften, Bonn, ²Agroscope, Forschungsgruppe Wiederkäuer, Posieux, Schweiz

1 Hintergrund

In Futtermitteln enthaltenes Rohprotein (XP; N × 6,25) lässt sich über verschiedene Methoden in Reinprotein und Nicht-Protein-Stickstoff (NPN)-Verbindungen differenzieren. Ein Anwendungsgebiet dieser Methoden ist die wissenschaftliche Futtermittelbewertung für Wiederkäuer.

Dazu zählt die Schätzung der ruminalen Abbaubarkeit des XP über verschiedene Wege: Bei der chemischen XP-Fraktionierung ist die Ermittlung des Reinproteingehaltes einer von vier Analyseschritten, um das XP auf Basis seiner chemischen Löslichkeit zu charakterisieren (Licitra et al., 1996). Anschließend erfolgt über Regressionsgleichungen die Schätzung der ruminalen XP-Abbaubarkeit (Steingäß und Südekum, 2013). Weiterhin ist deren Schätzung über eine enzymatische *in vitro*-Methode möglich (Irshaid, 2007; Hippenstiel et al., 2015). Dabei wird die Enzymzugabe basierend auf dem Reinproteingehalt des Futtermittels dosiert. Der Gehalt an Reinprotein ist weiterhin von Bedeutung für die Bewertung der Proteinqualität von Silagen. Bei der Silierung findet eine zum Teil erhebliche Umwandlung von Reinprotein in NPN statt, welche Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von N im Pansen und die N-Nutzungseffizienz des Wiederkäuers hat (Givens und Rulquin, 2004).

Chemisch erfolgt die Analyse des Reinproteingehaltes über verschiedene Fällungsmittel. Verbandsmethoden des VDLUFA sind die Methode nach Barnstein (VDLUFA-Methodenbuch Bd. III, 4.4.1, Fällungsmittel Kupferhydroxid) und die Methode nach Mothes (4.4.2, Fällungsmittel Tannin). Darüber hinaus existieren Methoden der Fällung mit Trichloressigsäure (TCA) oder mit Wolframsäure. Ein Unterschied zwischen diesen beiden Methoden besteht in der Erfassung von Peptiden, die durch TCA nicht gefällt werden und somit dem NPN zugeschlagen werden (Licitra et al., 1996).

Ziel des vorliegenden Beitrags ist ein Vergleich zwischen der Ermittlung des Reinproteingehaltes von verschiedenen Futtermitteln über TCA oder Wolframsäure.

2 Material und Methoden

Für zwei Probenkollektive (Trockenschlempen, $n = 64$ und Grünlandaufwüchse, $n = 18$; frisch, siliert, Heu) erfolgte die Ermittlung des Reinproteingehaltes mit zwei verschiedenen Fällungsmitteln (Licitra et al., 1996). Das Vorgehen ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

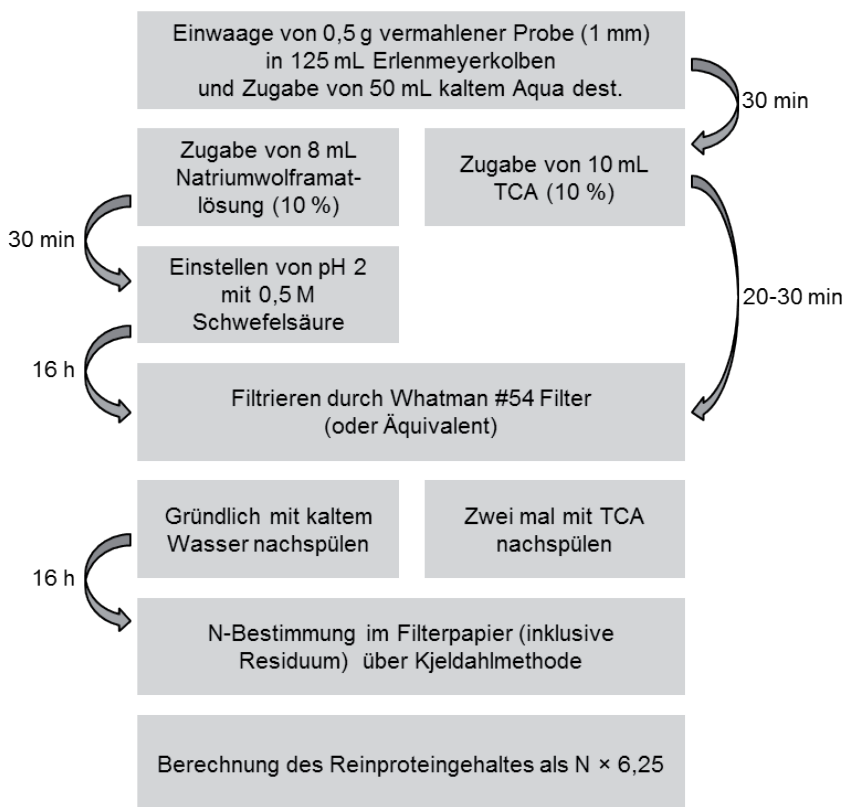
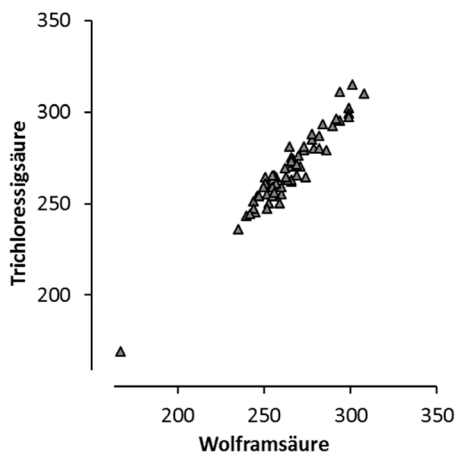


Abb. 1: Ermittlung des Reinproteingehaltes mithilfe von Trichloressigsäure (TCA) oder Wolframsäure (Licitra et al., 1996).

3 Ergebnisse

In Abbildung 2. findet sich eine vergleichende Darstellung der mit zwei Fällungsmitteln bestimmten Reinproteingehalte.

a)



b)

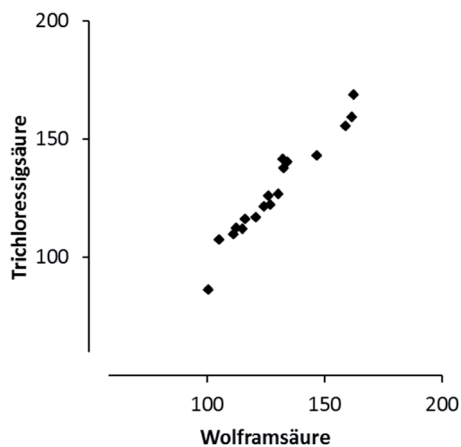


Abb. 2. Vergleichende Darstellung der mit zwei Fällungsmitteln (Licitra et al., 1996) bestimmten Reinproteingehalte (g/kg Trockenmasse) für **a)** Trockenschlempen (n=64) und **b)** Grünlandaufwüchse (n=18).

Die relative Differenz (Differenzbetrag geteilt durch den Mittelwert) im Gehalt an Reinprotein zwischen den Methoden lag mit Ausnahme einer Silage (16 %) bei maximal 7,0 % und betrug im Mittel 2,3 %. Unter Einbeziehung des Analysenspielraums für die Bestimmung des Rohproteins (Analysenspielräume Version 10; VDLUFA, 2016) zeigten die Methoden bei 93 % der Proben keine Abweichung. Die Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen den unterschiedlich bestimmten Reinproteingehalten betragen für beide Probensätze 0,97 ($p < 0,0001$; SAS 9.4, PROC CORR; SAS, 2011).

4 Schlussfolgerungen

Für die untersuchten Futtermittel scheint eine Reinproteinbestimmung mit nur einem Fällungsmittel – Wolframsäure oder TCA – und Verwendung des Ergebnisses für verschiedene Anwendungen vertretbar. Demnach könnte die Methode vom Anwenderlabor nach Aspekten der Sicherheit (Handhabung und Entsorgung von Chemikalien), Zeitdauer oder Arbeitsaufwand ausgewählt werden. Inwiefern die Ergebnisse auf weitere Futtermittel oder alternative Fällungsmittel übertragbar sind, bleibt zu prüfen.

5 Literaturangaben

- Givens, D. I., Rulquin, H., 2004: Utilisation by ruminants of nitrogen compounds in silage-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 114, 1-18.
- Hippenstiel, F., Kivitz, A., Benninghoff, J., Südekum, K.-H., 2015: Estimation of intestinal protein digestibility of protein supplements for ruminants using a three-step enzymatic in vitro procedure. *Arch. Anim. Nutr.* 69, 310-318.
- Irshaid, R., 2007: Estimating Intestinal Digestibility of Feedstuffs for Ruminants Using Three-step in Situ-in Vitro and in Vitro Procedures. Christian-Albrechts-Universität, Kiel (Dissertation).
- Licitra, G., Hernandez, T. M., Van Soest, P. J., 1996: Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 347-358.
- SAS, 2011: User's Guide: Statistics Version 9.3. SAS Institute, Inc, Cary, NC, USA.

Steingaß, H., Südekum, K.-H., 2013: Proteinbewertung beim Wiederkäuer – Grundlagen, Analytische Entwicklungen und Perspektiven. Übers. Tierernährg. 41, 51-73.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Antinutritive Inhaltsstoffe in heimischen Körnerleguminosen und Sojabohnen

A. Heinze¹, S. Dunkel¹, V. Schulz²

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena, ²JenaBios GmbH, Jena

Bei der Verfütterung von heimischen Körnerleguminosen sind durch Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen (ANF) Einsatzgrenzen differenziert nach Tierart und z. T. Altersgruppe zu beachten (Hoffmann und Steinhöfel, 2010). Zwischen den Leguminosenarten, z. T. auch zwischen Sorten und Erntejahren treten dabei Unterschiede in den ANF-Gehalten auf (Jeziorny et al., 2010). Auch für rohe Sojabohnen, mittlerweile aus regionalem Anbau begrenzt verfügbar, sind spezifische ANF-Gehalte charakteristisch, was als Konsequenz eine thermische Bearbeitung vor der Verfütterung (Toasten) erforderlich macht.

Die Analytik zum Nachweis der verschiedenen ANF ist sehr aufwändig und teuer, so dass kaum Gehaltsangaben für derartige heimische Futtermitteln vorliegen. Deshalb soll mit diesen Untersuchungen eine Orientierung für die Fütterungspraxis gegeben werden.

1 Lösungsweg

In die Auswertungen wurden insgesamt 54 unbehandelte Leguminosenproben aus regionalem Anbau mit Sortenbezug der Erntejahre 2015 bis 2017 einbezogen. Während bei Erbsen und Ackerbohnen sämtliche Muster aus konventionellem Anbau stammten, konnten bei Sojabohnen auch zwei Herkünfte aus ökologischer Bewirtschaftung einbezogen werden. Die Probenmuster repräsentierten jeweils verschiedene Sorten, darunter bei Ackerbohnen und Erbsen auch aus dem Winteranbau. Das Probenspektrum wurde durch 6 Muster von importierten Sojaextraktionsschroten (je zur Hälfte mit/ ohne Schalenanteil) komplettiert, um als Vergleichsmuster eine Wertung der Gehalte an Trypsininhibitorenaktivität zu ermöglichen.

Für alle Proben erfolgte ebenfalls die Ermittlung der Nährstoffgehalte, die an anderer Stelle ausgewiesen werden.

Die rohstoffspezifische Analytik der ANF fand im Labor der JenaBios GmbH statt. Dazu werden in der Übersicht zu den analysierten Inhaltsstoffen die Labormethode und die Probenumfänge ausgewiesen. Von Makkar et al. (2007) wird eine umfassende Darstellung zur Analysemethodik gegeben.

Tab. 1: Übersicht zu Analysemethoden und Probenumfängen

Antinutritiver Inhaltsstoff	Analysemethode	Probenumfang	
		Rohstoff	Anzahl
Trypsin- Inhibitoren	Trypsininhibitoraktivität (TIA), Photometrische Bestimmung	Erbse	28
		Ackerbohne	15
		Sojabohne	8
		Sojaex.schrot	6
Kondensierte Tannine (freie, protein-, bzw. fasergebundene)	Vanillinmethode, Spektrophotometrisch	Erbse	28
		Ackerbohne	15
		Sojabohne	8
Vicin, Convicin	HPLC-UV, HPLC-MS/MS	Ackerbohne	15
Lectine	Hämagglutinationstest, Spektrophotometrisch	Erbse	28
		Ackerbohne	15

2 Ergebnisse

Die ermittelten Werte für die analysierten Futtermittel sind in Tabelle 2 ausgewiesen.

Die unbehandelten Sojabohnen weisen im Mittel mit 13,0 TIA (mg Trypsin/g Trockenmasse (TM)) gegenüber Ackerbohnen mit 4,5 TIA und Erbsen mit 3,9 TIA einen deutlich höheren Gehalt und eine große Spannweite auf. Dabei resultiert die Spanne bei Erbsen vorrangig aus sortenbezogenen Differenzen. Wie in der Literatur bereits angeführt (Berk u. Ebert, 2013), wurde für Wintererbsen der Sorte James ein höherer Gehalt als für Sommererbsen ermittelt. Bei Ackerbohnen trat eine derartige Differenzierung im Vergleich der Winterackerbohnenart Hiverna mit denen der Frühjahrssaat nicht auf. Auch für Sojaextraktionsschrot als Vergleichsbasis ohne ANF-bezogene Einsatzrestriktion wurden noch Gehalte an TIA ermittelt, die jedoch unter denen von Ackerbohnen und auch der Erbsen lagen.

Tab. 2: Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen in Leguminosen und Sojaextraktionsschroten (Mittelwert und Spanne für Trockenmasse)

Antinutritiver Inhaltsstoff	Maßeinheit	Ackerbohne	Erbse	Sojabohne	Sojaschrot
Trypsin-Inhibitoren	TIA mg Trypsin/g	4,5 2,6-6,5	3,9 2,3-6,9	13,0 4,0-29,9	2,3 1,6-3,2
Kondensierte Tannine	g/kg	5,03 1,11-8,94	0,56* 0,01-0,15	0,05 0,02-0,08	nicht bestimmt
Vicin	g/kg	6,9 1,1-9,8	nicht bestimmt		
Convicin	g/kg	3,2 0,6-4,4	nicht bestimmt		
Lectine	HA Aktivität*	32,5 8-64	37,7 16-128	nicht bestimmt	

* Hämagglutinationsaktivität: Verdünnungsstufe eines 1:10 Extraktes, die zu 50%iger Agglutination führt

Kondensierte Tannine als die antinutritive Komponente der Gesamtphenole wurden im Mittel mit 5,03 g/kg TM und damit um eine Zehnerpotenz höheren Konzentration bei Ackerbohnen gegenüber Erbsen festgestellt. Die Datenlage bei Erbsen zeigte zugleich für die Hälfte der analysierten Proben keine Detection oberhalb der Nachweisgrenze von 0,1 g/kg TM. Die nach Fraktionen differenzierte Analytik ergab hier für die proteingebundenen Tannine den häufigsten Nachweis.

Charakteristisch für Ackerbohnen ist das Vorkommen der Pyrimidinglycoside Vicin und Convicin. Für das analysierte Probenmaterial ergab sich ein mittlerer Vicingehalt von 6,9 g/kg TM und für Convicin von 3,2 g/kg TM. Die angeführte Datenbreite verweist auf deutliche sortenbedingte Unterschiede, die aus der Einbeziehung der vicin- und convicinarmen Sorte Tiffany resultieren.

Der Lectinnachweis zeigte für die ausgewerteten Ackerbohnen und Erbsen ein ausgeglichenes Ergebnis für die gemittelten Verdünnungsstufen, die entspre-

chend der Analysemethode zu einer 50 %igen Agglutination der Erythrozyten führten.

3 Schlussfolgerungen

In weiterführenden Untersuchungen an Leguminosen mit regionalem Sortenbezug erfolgte die Nachweisführung zu Gehalten an antinutritiven Inhaltsstoffen. Die Gehalte an Trypsininhibitoren lagen bei unbehandelten Sojabohnen um das ca. Dreifache über denen von Ackerbohnen oder Erbsen, deren Gehalte wiederum leicht die von importierten Sojaextraktionsschrot übertrafen. Bestätigung fand der höhere Gehalt bei Wintererbsen für die Sorte James. Kondensierte Tannine wurden mit höheren Gehalten in Ackerbohnen gegenüber Erbsen nachgewiesen, letztere dabei im Bereich bzw. unterhalb der Nachweisgrenze von <0,1 g/kg TM und damit unproblematisch für die Fütterung. Bei dem nur eingeschränkt möglichen Abgleich mit Literaturdaten auf Grund unterschiedlicher Analysemethoden bzw. Maßeinheitenbezug ergab sich mehrheitlich eine Übereinstimmung, wobei für die Lectine kein Abgleich mit Literaturdaten möglich war. Für weiterführende Analysen zu ANF wäre eine Vereinheitlichung der Methodik und eine Ergebnisvalidierung zwischen den wenigen diese Spezialanalytik anbietenden Untersuchungseinrichtungen zu empfehlen.

4 Literaturangaben

- Berk, A., Ebert, U., 2013: Buntblühende Wintererbsen in der Schweinefütterung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus. Projektabschlussbericht FLI Braunschweig.
- Hoffmann, M., Steinhöfel, O., 2010: Futtermittelspezifische Restriktionen. 5. Auflage, Dt. Landwirtschaftsverlag GmbH.
- Jeziorny; D., Mosenthin, R., Bauer, E., 2010: The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology* 157, 111-128.
- Makkar, H.P.S., Siddhuraju, P., Becker, K., 2007: *Plant Secondary Metabolites-Methods in Molecular Biology*. Humana Press Inc. Totowa, New Jersey.

Zum ruminalen Abbau von Phasinen aus Stangenbohnen (*Phaseolus vulgaris*) sowie deren Einfluss auf die Gasbildung *in vitro*

D. Brugger, T. Hobmeier, M. Buffler, C. Bolduan, W. Windisch
Lehrstuhl für Tierernährung, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technische Universität München, Freising

1 Einleitung

Der Einsatz von Stangenbohnen (*Phaseolus vulgaris*) im Gemengeanbau mit Mais (*Zea mays*) kann pflanzenbauliche Vorteile mit sich bringen. Diese reichen von der höheren Stickstoffnutzungseffizienz des Systems, über positive Effekte auf die Bodengare bis hin zu einem Anstieg der Biodiversität auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (Wyss et al. 2018). Letztendlich könnten dadurch, die in der Öffentlichkeit wahrgenommenen, negativen Auswirkungen maislastiger Fruchtfolgen reduziert werden. Dies ist nicht überraschend, bedenkt die Tatsache das Mais und Bohnen im Verlauf der Geschichte ihrer Domestizierung einer Koselektion (gemeinsam mit Kürbisgewächsen (*Cucurbita*)) unterworfen wurden (Hoppe, 2015; Starke, 2018).

Allerdings enthalten Stangenbohnen, insbesondere in ihren Samen, teils sehr hohe Gehalte an Phasinen (Brugger et al., 2017). Diesen hitzelabilen Phytohemagglutininen begegnete man im Rahmen der Humanernährung mit Kochen aber auch mit einer Selektion der Genotypen auf niedrige Phasingehalte (weniger Bitterstoffe). Letztere Effekte wurden jüngst auf molekularbiologischer Ebene nachvollzogen (Starke, 2018). Phasine sind in der Lage mit Oberflächenstrukturen tierischer Zellen zu interagieren. In der Folge kommt es zur Gerinnung von Proteinen und zur Schädigung der Zellen. Daraus resultieren Symptome, die von der Nekrotisierung des Darmgewebes bis hin zu unkontrollierter Blutgerinnung reichen können (Blood und Studdert, 1999).

Derzeit werden verstärkte Bemühungen unternommen, den Gemengeanbau von Silomais mit Stangebohnen, sowohl für die Biogasgewinnung als auch für die Rinderfütterung voranzutreiben. Aus diesem Grund ist es dringend erforderlich sich der Frage der Toxizität für das Rind zu widmen. Vorliegende Studie untersuchte die Wechselwirkung zwischen Pansenfermentation und Phasinge-

halt *in vitro*, um eine erste Einschätzung der Gefährlichkeit für das Rind vornehmen zu können.

2 Material und Methoden

Für vorliegende Untersuchungen standen Proben von 26 unterschiedlichen Stangenbohnen Genotypen zur Verfügung. Das Probematerial wurde gemahlen (0,5 mm) und bis zur weiteren Verwendung bei 5 °C gelagert.

Die Untersuchung des Phasingehaltes erfolgte nach Bolduan et al. (2016).

Rohnährstoffe, Faserfraktionen und Gasbildung wurden nach Standardmethoden erhoben (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA, 2012). Für die Gasbildung wurde Pansen-saft von standardisiert gefütterten, pansenfistulierten Hammeln des Versuchsstalls Baumgarten (TU München) gewonnen (Gz. ROB-55.2-2532.Vet_03-18-39).

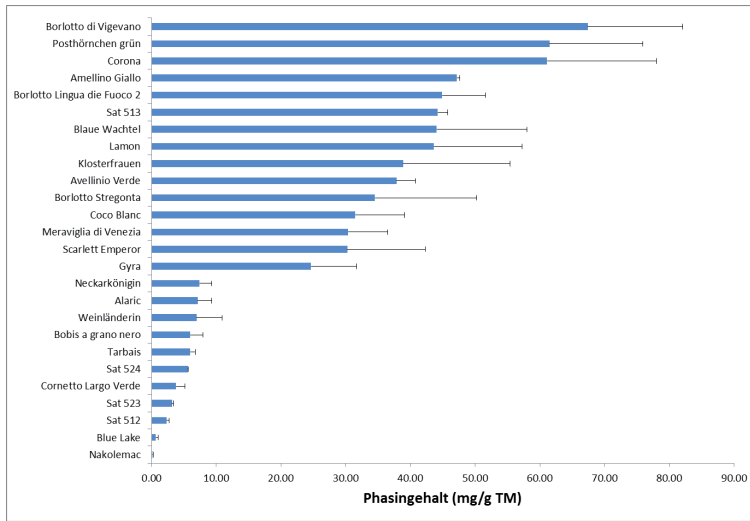
Die Berechnung der umsetzbaren Energie im Produkt erfolgte nach Steingass (1983).

Die Gasbildung wurde im Dreifachansatz bestimmt, sämtliche Analysen erfolgten im Doppelansatz.

Die statistische Auswertung erfolgte durch Regressionsanalyse mittels SAS 9.4 (SAS Institute Inc.).

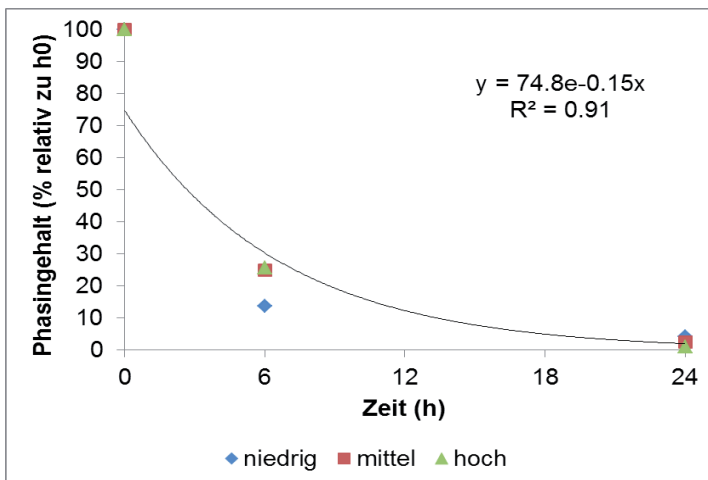
3 Ergebnisse

Die Spannweite in den Phasingehalten der untersuchten Bohnensorten betrug 0,16-67,4 mg/g TM, mit den Sorten Nakolemac und Borlotto Di Vigevano am unteren bzw. oberen Rand des Wertespektrums (Abb. 1). Von 20 der untersuchten Bohnentypen wurden die Phasinwerte bereits in einer früheren Arbeit präsentiert (Brugger et al., 2017). Für vorliegende Untersuchung wurde das Spektrum um 6 weitere Genotypen erweitert, weswegen hier die Daten noch mal in ihrer Gesamtheit präsentiert werden.



TM, Trockenmasse.

Abb. 1: Phasingehalte in untersuchten Stangenbohnen (*Phaseolus vulgaris*) Genotypen

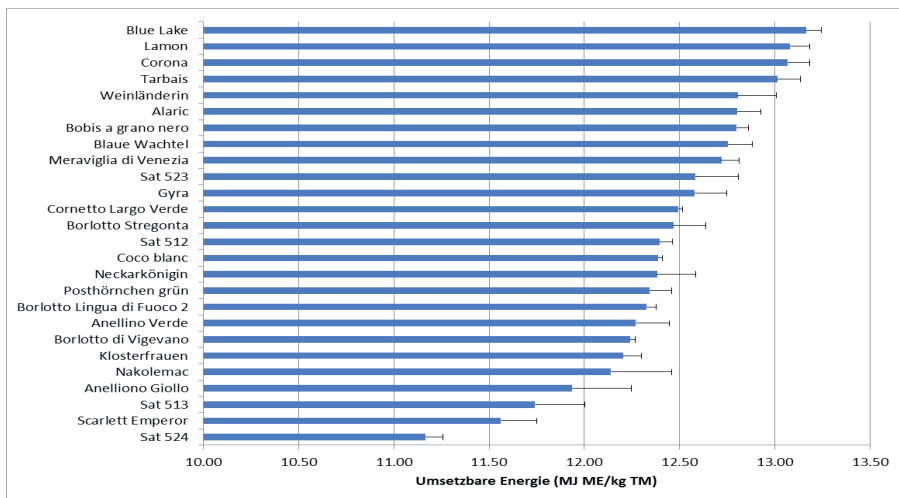


niedrig, mittel, hoch beziehen sich auf den Bereich des Gesamtphasingehaltes im vorhandenen Probespektrum; eingesetzte Sorten: niedrig (Blue Lake; Cornetto Largo Verde, Nakolemac), mittel (Scarlett Emperor, Coco Blanc, Meraviglia Di Venezia); hoch (Borlotto Di Vigevano, Corona, Posthörnchen grün).

Abb. 2: Zeitkinetik des ruminalen Phasinabbaus *in vitro* in Abhängigkeit des Gesamtphasingehaltes im Ausgangsprodukt.

Abbildung 2 stellt den absoluten, prozentualen ruminalen Verlust an Phasin aus Stangenbohnen *in vitro* dar. Innerhalb der ersten 6h nahm der Phasingehalt im Mittel um 63 % verglichen zum mittleren Ausgangsgehalt ab. Nach 24h tendierten die Werte gegen Null. Es ist erwähnenswert, dass die Bohnensorten mit niedrigem Ausgangsgehalt nach 24h im Mittel mit ~4 % vom Ausgangsgehalt, die höchsten Restgehalte aufwiesen.

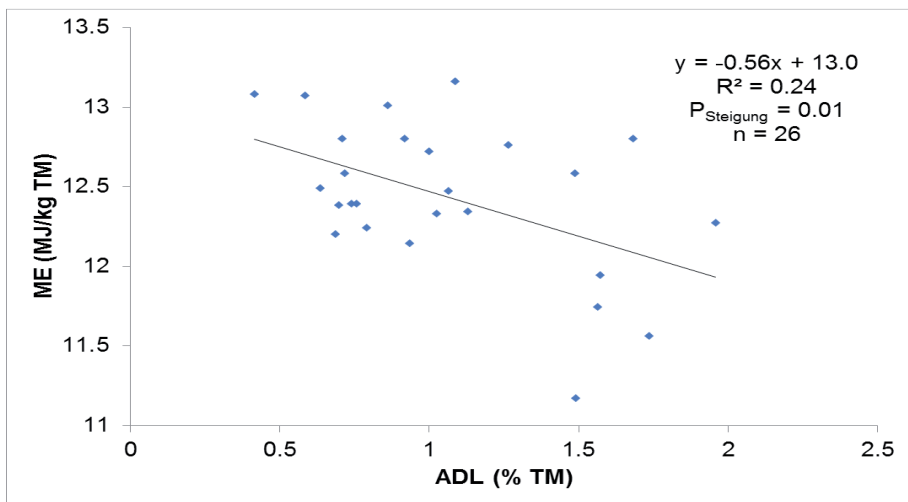
Abbildung 3 stellt die, auf Basis der ruminalen Gasbildung ermittelten Gehalte an umsetzbarer Energie in den 26 Bohnensorten dar. Mit einer Spannweite von 11,17-13,16 MJME/kg TM zeigte sich auch hier eine deutliche Spreizung zwischen eingesetzten Materialien, wobei die Proben SAT524 und Blue Lake das jeweils untere bzw. .obere Ende des Spektrums darstellten.



ME, umsetzbare Energie; TM, Trockenmasse.

Abb. 3: Gehalt an umsetzbarer Energie des untersuchten Sortenspektrums auf Basis der ermittelten ruminalen Gasbildung *in vitro*.

Abbildung 4 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Ligningehalt und der umsetzbaren Energie in den 26 Bohnensorten auf. Demzufolge zeigte sich ein signifikanter und inverser, linearer Zusammenhang ($P = 0,01$), wonach je Prozentpunkt mehr Lignin der Anteil an umsetzbarer Energie um 0,56 MJME/kg TM abnahm. Sämtliche anderen untersuchten Parameter, einschließlich des Phasingehaltes, zeigten keinerlei signifikante Beziehung zum Anteil an umsetzbarer Energie im Produkt.



ADL, saures Detergenzien Lignin; ME, umsetzbare Energie.

Abb. 4: Zusammenhang zwischen dem Gehalt an ADL und der umsetzbaren Energie im untersuchten Sortenspektrum.

4 Diskussion

Der Wiederkäuer ist aus Sicht der Toxikologie futterbürtiger Substanzen ein Sonderfall. Das hochaktive, komplexe ruminale Ökosystem ist in der Lage eine Vielzahl giftiger Stoffe, insbesondere Peptidverbindungen, mit hoher Effizienz abzubauen. Aus diesem Grund ist die Toxizität einer solchen Verbindung für das Rind ein Zusammenspiel des Gesamtanteils in der Ration und der Passagerate des Futters in die tieferen Darmabschnitte. Je höher die Passagerate, bei gleichzeitig hohen Gehalten der Verbindung im Futter, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass der ruminale Abbau des Materials unvollständig ist und es zu einer signifikanten Verlagerung der Restanteile in die tieferen Darmabschnitte kommt (Gupta, 2018).

In vorliegender Untersuchung konnten wir zeigen, dass die Phasine in ihrer Eigenschaft als Peptidverbindungen, mit hoher Effizienz im Rahmen der ruminalen Fermentation *in vitro* abgebaut wurden. Allerdings zeigte sich auch durch Berechnung der sogenannten effektiven ruminalen Abbaubarkeit, dass

bei unterstellten Passageraten von 6 % bzw. 8 %, wie sie bei Milchkühen in der Hochlaktation auftreten können, zwischen 22 % und 25 % der Ausgangsgehalte in tiefere Darmabschnitte verlagert werden könnten. Somit lässt sich festhalten, dass Raufutterfresser, bedingt durch ihr effektives, ruminales Milieu, mit höheren Phasingehalten in der Ration umgehen können sollten als Monogastriden. Andererseits wird aber immer ein gewisser Teil des Materials in die tieferen Darmabschnitte verlagert. Dies scheint, unter den gegenwärtigen Praxisbedingungen, bei denen es wohl nicht zu überhöhten Gehalten in der Ration kommt (Wyss et al., 2018), nicht sonderlich relevant. Dennoch sollten sich künftige Arbeiten darauf konzentrieren, die Grenze des tolerierbaren Bereiches von Phasinen in der Gesamtration zu ermitteln, da derzeit keine validen Daten zu tolerierbaren Höchstgrenzen im Futter landwirtschaftlicher Nutztiere existieren.

Eine weitere wichtige Frage stellt die mögliche Beeinflussung der ruminalen Aktivität durch den Phasingehalt dar. In der Tat würden negative Effekte auf die Abbaubarkeit des Futters im Pansen bedingt durch toxische Effekte auf die Pansenflora, die Wirtschaftlichkeit der Fütterung (bzw. das Tierwohl) nachhaltig beeinflussen. Vom Standpunkt der vorliegenden Untersuchung aus, kann diesbezüglich aber Entwarnung gegeben werden. Über das gesamte Spektrum an Phasingehalten, zeigte sich zu keinem Zeitpunkt eine Beeinträchtigung der ruminalen Aktivität. Letztlich war der einzige Parameter, der mit der Gasbildung *in vitro* (negativ) korrelierte, das Lignin.

Die Spannweite der ermittelten Gehalte an umsetzbarer Energie könnten auf den ersten Blick nahelegen, dass es im Laufe der Selektion verschiedener Bohnenengenotypen eine Spreizung im Ligningehalt gegeben hat. Bedenkt man aber, dass vorliegendes Probespektrum aus dem Handel stammt und in unterschiedlichen Regionen (z. B. Italien, Deutschland) produziert wurde, scheint es naheliegender zu sein, dass es sich hierbei um Standorteffekte handelt. Dieser Sachverhalt sollte in weiterführenden Untersuchungen näher beleuchtet werden.

5 Schlussfolgerung

Vorliegende Untersuchung legt nahe, dass Phasine mit hoher Effizienz im Rahmen der ruminalen Proteolyse abgebaut werden. Allerdings kann im Zusammenspiel zwischen Gesamtgehalten und der Passagerate des Futters möglicherweise ein Risiko für das Rind bestehen, wenngleich überhöhte Gehalte

bisher in der Praxis nicht aufzutreten scheinen. Der Gesamtgehalt an Phasin hatte zu keinem Zeitpunkt einen Einfluss auf die ruminale Gasbildung *in vitro*, die lediglich vom Gesamtgehalt an Lignin begrenzt wurde.

6 Danksagung

Wir danken der Firma KWS für die freundliche Bereitstellung des untersuchten Probematerials und die Finanzierung der Phasinbestimmung.

7 Literaturangaben

Blood, D.C., Studdert, V.P., 1999: Saunders comprehensive veterinary dictionary. WB Saunders, London, UK.

Bolduan, C., Stähler, R., Buffler, M., Windisch, W., 2016: Untersuchungen zum Gehalt von aktiven Lektinen in Gartenbohnen mittels ELISA. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel- Veterinär- und Agrarwesen (ALVA), editor, 71. ALVA Jahrestagung 2016. ALVA, Klagenfurth (Austria).

Brugger, D., Buffler, M., Windisch, W., Bolduan, C., 2017: Untersuchungen zum antinutritiven Potential von Gartenbohnen (*Phaseolus vulgaris*). In: Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), editor, VDLUFA-Schriftenreihe 73/2016. VDLUFA-Verlag, Darmstadt. p. 500-507.

Gupta, R.C., 2018: Veterinary Toxicology: Basic and Clinical Principles. Elsevier, Academic Press.

Hoppe, C., 2015: Entwicklung von Energiemaissorten für die Mischkultur mit Stangenbohnen. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen.

Starke, M., 2018: Selektion von Stangenbohnenarten (*Phaseolus vulgaris* L.) für den Mischanbau mit Mais. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen.

Steingass, H., 1983: Bestimmung des energetischen Futterwertes von wirtschaftseigenen Futtermitteln aus der Gasbildung bei der Pansenfermentation *in vitro*. Dissertation. Universität Hohenheim.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Wyss, U.,A. Enggist, Brugger, D., 2018: Einfluss der Silagebereitung eines Mais-Stangenbohnen-Gemisches auf den Phasingehalt, VDLUFA Schriftenreihe, inpress.

Einfluss von Maiskleberfuttersilage auf Futteraufnahme und Milchleistung von Fleckviehkühen

T. Jilg

Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild, Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW), Aulendorf

1 Einleitung

Maiskleberfutter ist ein Nebenprodukt der Stärkegewinnung aus Körnermais. Die Silage kann Maissilage und Krafftutter ersetzen. In diesem Versuch sollte die Wirkung auf Futteraufnahme und Milchleistung untersucht werden

2 Material und Methoden

Der Versuch wurde mit 32 Kühen im Cross-Over-Design durchgeführt. Die Kühe wurden vor Versuchsbeginn in die Gruppen 11 und 12 nach Leistung und Laktationstag aufgeteilt. Die Rationen Kontrolle (K) und Versuch (MKV) unterschieden sich durch die Maiskleberfuttersilage (MKF). Die Wiegeeinrichtungen werden regelmäßig mithilfe einer geeichten Waage überprüft.

Tab. 1: Versuchsdesign

	Phase 1	Phase 2
Tiergruppe	03.05.-06.06.	14.06.-18.07.
11 (n=16)	K	MKF
12 (n=16)	MKF	K

12 Kühe waren in der ersten Laktation, 4 Kühe in der zweiten, 7 Kühe in der dritten und 10 Kühe in der vierten bis achten Laktation.

Futtermittel und Futterrationen

Das Maiskleberfutter wurde warm in einen Siloschlauch gepresst. In 14tägigem Abstand wurden mit Ausnahme von Stroh Futterproben gezogen und im Fut-

termittellabor des LAZBW untersucht. Maissilage 2 und Grassilage 4. Schnitt wurde nur einmal untersucht. Die Ergebnisse der Futteruntersuchungen sind in Tabelle 2 gelistet. Die Niederländische Futterwerttabelle (CVB) gibt 7,6 MJNEL/kg TM an. Für die Rationsplanung wurde mit diesem Wert gearbeitet. Durch die Analysen wurden dann tatsächlich 8,1 MJNEL/kg TM festgestellt. Dazu wurden die Verdaulichkeiten aus Hammelversuchen in Haus Riswick von SPIEKERS (2000) verwendet. Der Stärkegehalt betrug 127 g/kg TM.

Tab.2: Nährstoffgehalte der Rationskomponenten

		TM	XP	aNDF _{OM}	NFC	ME	NEL	nXP	RNB
		g/kg TM			MJ/kg TM			g/kg TM	
Getreide- mix	MW	889	123	139	579	11,6	7,3	146	-3,9
	s	4,6	1,7	7,0	17	0,4	0,2	4,1	0,3
Grassilage 1.Schnitt	MW	306	118	419	318	10,2	6,1	130	-1,8
	s	13,6	3,1	3,0	4	0	0	0,6	0,4
Grassilage 3.Schnitt	MW	418	150	449	252	9,5	5,6	126	3,8
	s	78,2	27	11,1	41	0,2	0,1	4,9	3,6
Grassilage 4.Schnitt		475	176	369	294	10,4	6,24	140	5,7
Maiskleber- futtersilage	MW	419	189	439	286	12,8	8,1	180	1,5
	s	16,2	2,5	10,9	11	0,1	0,0	0,7	0,3
Maissil. 1	MW	326	70	306	542	11,6	7,1	137	-10,8
	s	8,4	2,2	3,6	6	0,1	0,1	1,3	0,3
Maissil. 2		327	69	317	527	11,7	7,20	138	-10,9
Rapsextr. schrot	MW	869	362	281	255	11,6	7,1	242	19,3
	s	6,4	8,3	12,9	16	0,0	0,0	3,2	0,8
Stroh	MW	890	43	774	102	6,5	3,6	77,4	-5,5
	s	8,9	13	31,8	31	0,3	0,2	6,4	1,2

Tab.2: Fortsetzung

		Stärke	P	K	CA	NA	MG	
		g/kg TM						
Getreide-	MW	467		5,4	7,6	23,9	6,4	5,6
mix	s	32		0,2	0,6	4,8	1,3	0,8
Grassilage	MW			4,7	36,2	4,8	0,3	1,3
1.Schnitt	s			0,0	1,0	0,4	0,0	0,1
Grassilage	MW			5,8	28,0	7,1	1,0	2,4
3.Schnitt	s			0,5	3,7	0,7	0,1	0,3
Grassilage				6,1	28,4	8,1	1,5	2,7
Maiskleber-	MW	127		12,4	16,8	0,6	2,7	3,7
futtersilage	s	10,0		0,7	1,1	0,3	0,1	0,2
Maissil. 1	MW	341		3,3	12,0	1,9	0,2	2,3
	s	5		0,5	0,9	0,5	0,1	3,0
Maissil. 2				3,2	11,7	1,0	0,1	1,0
Rapsextr.	MW			15,5	14,8	8,4	0,6	4,3
schrot	s			0,4	0,8	0,4	0,3	0,1
Stroh	MW			3,2	15,9	3,3	0,3	0,6
	s			3,6	0,7	0,6	0,1	0,1

Die Futterrationen sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Nährstoffgehalte der MKF- und Kontrollrationen sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die Energiedichte lagen bei 6,66 (K) bzw. 6,81 (MKS) MJ NEL/kg TM. Der Unterschied war deutlich. Der nXP-Gehalt lag in beiden Rationen bei 155 g/kg TM. Der RNB betrug 0,318 g N/kg TM bei K und -0,14 bei MKF.

Tab. 3: Futterrationen (in kg Frischmasse/Tag)

ab Datum	Kontrolle				mit MKF-Silage			
	03.05.	09.05.	22.06.	12.07.	03.05.	09.05.	22.06.	12.07.
Maissilage 1	19,0	19,0	15,0		19,0	19,0	15	
Maissilage 2				20,0				20
Grassil.3. S.		14,3				14,3		
Grassil.4.S.	17,0				17			
Grassil.1.S.			30,0	25,0			30	25
Stroh	0,8		0,6	0,6	0,6		0,6	0,6
Getr. Mix	4,7	4,1	2,0	2,0	3,0	3,0		
RES	3,8	4,9	3,8	3,8				
MKF-Silage					7	7	7	7
MF			0,08	0,08	0,12	0,07	0,20	0,20
CaCO ₃			0,05	0,05			0,10	0,10
Futterharnst.	0,025	0,025	0,075	0,10	0,035	0,035	0,075	0,100

Tab. 4: Nährstoffgehalte der Futterrationen

BEH	TM	XP	XF	ADF _{OM}	aNDF _{OM}	NFC	XL	XA	
g/kg TM									
Kontrolle	443	161	192	226	326	396	28	94	
MFK	417	156	191	221	355	377	29	87	
	ME	NEL	nXP	RNB	P	K	CA	NA	MG
MJ/kg TM					g/kg TM				
Kontrolle	10,91	6,66	154	0,31	6,6	18,8	8,4	1,5	3,1
MFK	11,13	6,81	155	-0,14	7,1	19,4	6,3	1,5	3,0

In den Rationen wurden für die vorliegenden Leistungen die Empfehlungen der DLG zur Versorgung mit nXP (≥ 160 g/kg TM) nicht ganz erreicht.

Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mit einem linearen gemischten Modell mit SAS, Version 9.4 unter Berücksichtigung von Tier, Tiergruppe, Laktationsabschnitt, Laktationsnummer, Behandlung (K, MKF).

3 Ergebnisse

Futteraufnahme

Tab. 5: Futter und Nährstoffaufnahme (LSM Werte)

Parameter	Kontrolle	MKF	Signifikanzniveau $p <$
FS-Aufnahme, kg/Tag	52,2	56,1	0,0001
TM, kg/Tag	20,8	23,3	0,0001
NEL, MJ/Tag	139	159	0,0001
XL, g/Tag	583	667	0,0001
XP, g/Tag	3367	3646	0,0001
nXP, g/Tag	3215	3606	0,0001
ADF _{OM} , g/Tag	4708	5163	0,0001
aNDF _{OM} , g/Tag	6775	8291	0,0001
NFC, g/Tag	8263	8793	0,0001
XA, g/Tag	1952	2013	0,0001
Calcium, g/Tag	175	148	0,0001
Phosphor	137	165	0,0001
Natrium, g/Tag	31	36	0,0001
Magnesium, g/Tag	64	71	0,0001
Kalium, g/Tag	390	452	0,0001

In Tabelle 5 sind die durchschnittliche Futteraufnahme und die Nährstoffaufnahme dargestellt. Durch den Einsatz der Maiskleberfuttersilage erhöhte sich

die Futteraufnahme von 3,9, die TM-Aufnahme um 2,5 kg hochsignifikant. Die Trockenmasseaufnahme betrug bei der Kontrolle 20,8 kg, mit Maiskleberfuttersilage 23,3 kg. Die Nährstoffaufnahme erhöhte sich dementsprechend ebenfalls.

In Abbildung 1 wird der Verlauf der Futteraufnahme in Phase 1 und nach dem cross over in Phase 2 dargestellt. Gruppe 11 wurde in Phase 1 mit Maiskleberfuttersilage gefüttert, in Phase 2 ohne. Bei Gruppe 12 stieg die Futteraufnahme deutlich nach dem cross over mit der Verfütterung von Maiskleberfuttersilage.

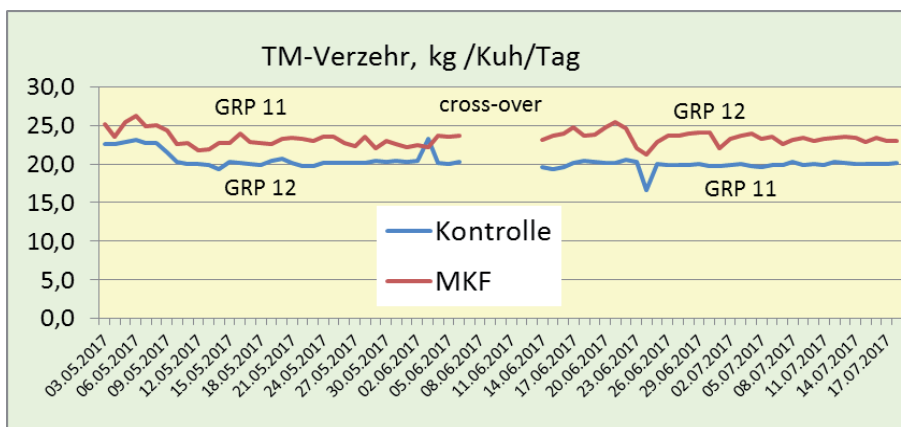


Abb. 1: TM-Verzehr

Milchleistung

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Milchleistungsprüfung. Die Fütterung von Maisklebersilage erhöhte sowohl die Milchleistung signifikant um 0,6 kg, als auch die ECM hochsignifikant. Der Milchfettgehalt wurde durch Maiskleberfuttersilage signifikant von 3,75 % auf 3,88 % gesteigert. Im Milcheiweißgehalt, der bei 3,57 % lag, gab es keine Unterschiede. Der Milchharnstoffgehalt wurde durch Maiskleberfuttersilage leicht erhöht. Die Energiekorrigierte Milchmenge ECM war bei beiden Gruppen gleich. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Milchmenge.

Tab. 6: Milchleistung (LSM-Werte)

Parameter	Kontrolle	MKF	Signifikanzniveau p<
Milchleistung, kg/Tag	29,8	29,4	0,00001
Milchfett, %	3,75	3,88	0,0002
Milcheiweiß, %	3,57	3,88	0,703
Milchharnstoff, mg/L	248	257	0,0004
ECM ¹⁾ , kg/Tag	29,3	29,2	0,551
Zellzahl in 1000/ml	291	227	

n.s. $p > 0,05$, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

¹⁾ 1 mal pro Woche, wenn Milchinhaltsstoffe untersucht wurden

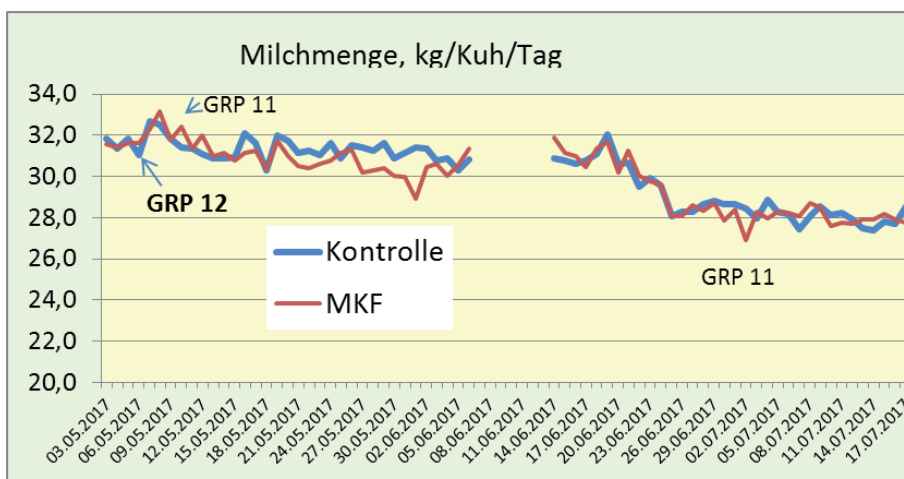


Abb. 2: Entwicklung der Milchmenge

Weitere Beobachtungen

Die Lebendmasse beider Gruppen mit 749 (Kontrolle) und 750 kg (MKF) unterschieden sich nicht. Dasselbe gilt für die Körperkondition BCS.

Die Schlauchsilage neigte sehr stark zur Nacherwärmung. Ca. 15 % musste wegen geringem Vorschub verworfen werden.

4 Diskussion

Durch die Maiskleberfuttersilage konnte die Futteraufnahme signifikant gesteigert werden. Dies war durch den höheren Energiegehalt der MKF-haltigen Silage bedingt. Die Stärkegehalte in der vorliegenden Maiskleberfuttersilage aus Ostfrankreich war mit 127 g/kg TM deutlich niedriger als die in Riswick untersuchten Silagen aus den Niederlanden stammend mit 280 bis 350 g/kg TM. Der Energiegehalt der in Riswick untersuchten Partien lag zwischen 8,0 und 8,4 MJ/kg TM. Die Verdaulichkeiten für Rohfaser lagen dort zwischen 81 und 84 %, für organische Substanz zwischen 86 und 90 %. Die Niederländische Futterwertabelle (CVB) gibt 7,6 MJNEL/kg TM an.

Die höhere Energie- und Nährstoffaufnahme konnte nicht in höhere Milchleistung umgesetzt werden. Die Lebendmassen und die BCS-Beurteilung geben allerdings keine Hinweise auf mehr Körperansatz.

5 Fazit

Maiskleberfuttersilage ist ein interessantes Zukaufsfuttermittel das in unserem Versuch die Futteraufnahme steigerte. In der Praxis sollte vor allem in der warmen Jahreszeit auf genügend Vorschub geachtet oder mit Konservierungszusätzen gearbeitet werden.

6 Literaturangaben

Spiekers, H., 2000: Maiskleberfutter und Maiskleberfuttersilage. Mitteilung der LWK NRW.

Wirkung einer Mikronisierung bei Rapssaat und Ackerbohnen auf den intraruminalen Rohproteinabbau bei Milchkühen

S. Dunkel¹, H.-J. Alert², P. Wolf³

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, ²Rostock, ³Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Ernährungsphysiologie und Tierernährung

1 Einleitung

Für die Praxis gilt heute als sicher, dass Sojaextraktionsschrot in Milchkuhrationen auch bei höheren Leistungen voll durch Rapsprodukte ersetzt werden kann. Das ist möglich, da die Glukosinolategehalte der Rapssaat seit Jahren die von der Tierernährung vorgegebenen und von den deutschen Pflanzenzüchtern erhobenen 18 mmol/kg unterschreiten (Schöne et al., 2016). Werden über Rapskuchen oder im Betrieb erzeugten Rapssamenschrot 350 bis 400 g Rapsöl/Kuh und Tag aufgenommen, wird das Milchfett ölsäurereicher und palmitinsäureärmer.

Außer Rapsprodukten werden auch heimische Körnerleguminosen in Milchkuhrationen eingesetzt (Bissinger et al., 2007). Abgesehen vom Rapsextraktionsschrot, das ähnliche UDP-Gehalte wie Sojaextraktionsschrot aufweist (30 bis 35 %), liegen die UDP-Gehalte bei Rapssaat, Rapskuchen und einheimischen Körnerleguminosen laut DLG-Futterwertabelle Wiederkäuer (1997) nur zwischen 15 und 20 %. Trotz umfangreicher Versuche, durch thermische Behandlungsverfahren den UDP-Gehalt zu erhöhen, ist noch nicht zweifelsfrei geklärt, ob dies durch Mikronisierung (Wärmestrahlung) möglich ist.

In einem Versuchsbetrieb der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft wurden in der Futterration hochleistender Milchkühe mikronisierte (mikr.) Rapssaat und mikr. Ackerbohnen zu je 1,5 kg/Kuh und Tag gequetscht eingesetzt. Der Versuchsaufbau ist bei Dunkel et al. (2012) beschrieben.

2 Material und Methoden

In den vorliegenden Untersuchungen wurde nachträglich mit Hilfe der Pansenbeutel-Technik der UDP-Gehalt der in Fütterungsversuchen eingesetzten mikr. Rapssaat (RS) und mikr. Ackerbohnen (AB) bestimmt. Bei der Mikronisierung wurden Temperatur und Zeit variiert.

Die Mikronisierung erfolgte in einer betriebseigenen Anlage nach Anemüller (2009), veröffentlicht unter der Patent-Nr. DE 102008017179A1 bzw. B4.

Als Versuchskühe standen drei trockenstehende, pansenfistulierte Holstein-Kühe (Lebendmasse ca. 700 kg) zur Verfügung. Sie standen in Einzelboxen auf Stroh mit Selbsttränken. Zweimal täglich (um 7:00 Uhr und um 16:00 Uhr) wurde eine Mischration vorgelegt. Die Einzelboxen ermöglichten Einzelfütterung. Zur Adaptation an die Fütteration wurde eine vierzehntägige Vorperiode durchgeführt. Die Mischration war während der *in situ*-Untersuchungen wie folgt zusammengesetzt (kg TM je Kuh und Tag): 2,5 kg Maissilage, 3,0 kg Grassilage, 0,5 kg Stroh, 2,5 kg Kraffttermischung (Rapsextraktionsschrot, Rapssaat, Gerste, Ackerbohne, Mineralfutter).

Die *in situ*-Untersuchungen erfolgten nach der Methodenvorschrift der Arbeitsgruppe „*in situ*“ in der Fachgruppe V, Tierernährung und Produktqualität, im VDLUFA. Dabei wurden je Futtermittel 6 g Probe in ANKOM bags (10 x 20 cm, 50 µm Porenweite) über 2, 4, 8, 16, 24, 48, 64 und 72 Stunden in drei Durchgängen inkubiert.

Die Berechnung der ruminalen Abbauparameter erfolgte nach Ørskov und McDonald (1979), die effektive ruminale Abbaubarkeit der Trockensubstanz und des Rohproteins nach McDonald (1981), modifiziert nach Wulf und Südekum (2005).

Als Passageraten wurden 5 % und 8 % je Stunde festgelegt (UDP5 bzw. UDP8). Der im Futtermittelanalysenprotokoll ausgewiesene Energiegehalt (Umsetzbare Energie, ME) und der Rohproteingehalt der Residuen dienten zur Berechnung der nXP-Gehalte (nutzbares Rohprotein am Duodenum) der Futtermittel. Die Berechnung erfolgte nach den in den DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (1997) ausgewiesenen Gleichungen VIa bei Futtermitteln mit ≤ 7 % Rohfett in der Trockenmasse (Ackerbohne) sowie VIb bei Futtermitteln mit mehr als 7 % Rohfett in der Trockenmasse (Rapssaat).

Die Analyse der Rohnährstoffe und der Faserfraktionen erfolgte nach den Methoden des VDLUFA.

Für die statistische Auswertung wurden Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Mit dem Programmpaket SPSS erfolgte die Signifikanzprüfung mittels t-Test für unabhängige Stichproben, bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

In Tabelle 1 sind die Gehalte an Trockenmasse, Rohnährstoffen und Energie der geprüften Futtermittel dargestellt.

Tab. 1: Rohnährstoffe und Energiegehalte der geprüften Futtermittel sowie UDP5-Werte laut DLG Futterwerttabelle Wiederkäuer 1997 (RS 20 %, AB 15 %)

Futtermittel	T %	XA	XP	ADFom g/kg TM	aNDFom	nXP	ME MJ/kg TM
RS	93,1	39	204	113	119	122	17,9
AB	88,9	33	269	144	169	191	13,7

Tabelle 2 enthält die einzelnen Proteinabbauparameter:

a = schnelllösliche Fraktion des Rohproteins

b = nicht lösliche, aber abbaubare Fraktion

d = insgesamt abbaubare Fraktion (a+b) pro Stunde

c = Abbaugeschwindigkeit in $\% \text{ h}^{-1}$.

Für die angenommenen Passageraten von 5 \% h^{-1} und 8 \% h^{-1} ergeben sich die effektiven ruminalen Rohproteinabbauraten EXP5 und EXP8.

Tab. 2: Parameter der ruminalen Abbaubarkeit des Rohproteins

Futtermittel	a (%)	b (%)	d (%)	c (% h ⁻¹)	EXP5 (%)	EXP8 (%)
RS	37,6	54,6	92,0	0,12	75,9	70,2
RS, mikr., 115C°, 1 min	40,9	50,7	91,5	0,12	76,4	70,8
RS, mikr., 130C°, 10 min	48,2	32,7	80,9	0,17	73,46	70,42
AB	52,1	44,1	96,3	0,21	87,8	84,1
AB, mikr., 70C°, 1 min	41,9	52,3	94,2	0,21	83,2	78,6
AB, mikr., 130C°, 10 min	48,2	32,9	81,1	0,17	73,6	70,5

Anhand der ermittelten Abbaubarkeiten des Rohproteins (XP) wurde der nicht-abbaubare Anteil des XP (UDP) berechnet (Tab. 3). Tabelle 3 enthält außerdem die berechneten nXP-Werte, wie sie sich aus den gemessenen XP- und UDP-Gehalten ergeben. Danach steigt der UDP5-Gehalt bei Rapssaat nach dem Mikronisieren (115 Grad C, 1 min) auf 23,6 % bzw. auf 33,9 % (130 Grad C, 10 min, UDP8) und bei der Ackerbohne auf 26,4 % (UDP5) bei 70 Grad C, 1 min, bzw. 29,5 % (UDP8) bei 130 Grad C, 10 min. Werte mit unterschiedlichen Hochbuchstaben innerhalb einer Spalte unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$).

Tab. 3: UDP-Schätzung bei Ackerbohne und Rapssaat (Passagerate 5 bzw. 8%h⁻¹)

Futtermittel	UDP5 Passage-rate 5%h ⁻¹	nXP g/kg TM (UDP5)	UDP8 Passagerate 8%h ⁻¹	nXP g/kg TM (UDP8)
RS	24,0	123	29,8	125
RS, mikr., 115 C°, 1 min	23,6	123	29,0	125
RS, mikr., 130 C°, 10 min	26,5	124	33,9	126
AB	12,3	186	16,0	193
AB, mikr., 70 C°, 1 min	16,8 ^{ab}	194	21,4 ^{ab}	203
AB, mikr., 130 C°, 10 min	26,4 ^{ab}	212	29,5 ^{ab}	218

Die mit der Mikronisierung erreichte Erhöhung des UDP-Gehaltes ist unter der Beachtung der geringen Einsatzmengen von 1,5 kg mikronisierter Rapssaat bzw. 1,5 kg mikronisierte Ackerbohnen nicht ausreichend, um den UDP-Gehalt der Mischration nennenswert zu erhöhen.

4 Zusammenfassung

Nachdem mikronisierte Rapssaat und mikronisierte Ackerbohnen in Futterrationen von Milchkühen in Höhe von 1,5 kg/Kuh und Tag eingesetzt wurden, wurde der UDP-Gehalt dieser Futtermittel durch *in situ*-Versuche im Pansen von drei trockenstehenden Holsteinkühen bestimmt. Die Mikronisierung erfolgte gestaffelt, maximal 130 Grad C, 10 min lang. dabei wurden bei Rapssaat maximale UDP-Gehalte von 26,5 % (UDP5) bzw. 33,9 % (UDP8) ermittelt. Bei Ackerbohnen lagen die entsprechenden UDP-Maximalwerte bei 26,4 % (UDP5) bzw. 29,5% (UDP8).

5 Literaturangaben

- Anemüller, H., 2009: Verfahren zur Herstellung von Rapsschrot. Patent DE 102008017179A1 bzw. B4.
- Bissinger, C., Schneider, K., Steingaß, H., 2007: Untersuchungen an Milchkühen zur Erhöhung der nXP-Versorgung bei Einsatz von Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen. In: Heimische Körnerleguminosen mit geschütztem Protein in der Milchkuhfütterung. UFOP-Schriften 33, 21-27.
- Dayves, J.R., 2001: Studien zum Einsatz von Rapskuchen aus der Biodieselproduktion in der Milchkuhfütterung. Diss. Leipzig, Vet. med. Fakultät.
- DLG, 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Dunkel, S., Aschoff, K., Trauboth, K., Strube, M., 2015: Zur Wirkung des Einsatzes von druckhydrothermisch behandelten Ackerbohnen (Opticon®-Verfahren) auf die Leistung von Milchkühen. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 71, 438-446, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Dunkel, S., Trauboth, K., Ochrimenko, W. I., Zacher, D., 2010: Zum Einsatz von druckhydrothermisch behandelte Ackerbohnen in Milchkuhrationen. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 66, 738-744, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Grünewald, K.-H., Spann, B., Obermaier, A., 1996: Einsatz von Rapssaat in der Milchkuhfütterung. Wirtschaftseigenes Futter 42, 2, 101-114.
- Jahreis, G., Steinhardt, H., Pfalzgraf, A., Flachowsky, G., Schöne, F., 1996: Zur Wirkung von Rapsölfütterung an Milchkühen auf das Fettsäurenspektrum des Butterfettes. Ernährungswissenschaft 35, 185-190.
- Kluth, H., Engelhardt, T., Rodehutschord, M., 2006: Zum Einsatz von Sojaextraktionsschrot in der Fütterung der Hochleistungskuh. Züchtungskunde, 77 (1), 58-70.
- McDonald, 1981: A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. J. Agric. Sci. Camb. 96, 251-252.
- Ørskov, E.R., McDonald, J., 1979: The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. Camb. 92, 499-503.
- Schöne, F., Wagner, S., Bähr, R.-P., Tolzin-Banasch, K., 2016: Beurteilung des Proteins der Rapssaat in Bezug auf die daraus aufgenommenen Futtermittel. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 73, 402-409, Kongressband 2016 Rostock, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Wulf, M., Südekum, K.H., 2005: Effects of chemically treated soybeans and expeller rapeseed meal on in vivo and in situ crude fat and crude protein disappearance from the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118, 215-227.

Beurteilung der Versorgungslage von Milchkühen anhand der Milchinhaltsstoffe

K. Ornetsmüller^{1,2}, L. Gruber², W. Zollitsch¹

¹Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Nutztierwissenschaften, Wien, ²Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Irdning

1 Einleitung

Eine grafische Darstellung zur Einschätzung der Versorgungslage laktierender Milchkühe anhand des Eiweiß- und Harnstoffgehaltes der Milch, entwickelt von Spohr und Wiesner (1991), wird seit ca. 20 Jahren durch die Milchleistungskontrolle für Milcherzeuger in Österreich angeboten. Mit dem Tagesbericht erfolgt alle sechs Wochen die Einordnung der laktierenden Kühe einer Herde in diese, so genannte 9-Felder-Tafel. Sie soll bei der Rationsplanung unterstützen, auf fehlerversorgte Milchkühe hinweisen sowie ein Warnsystem für Stoffwechselkrankheiten wie Acidose und Ketose sein.

Zunehmend gibt es aber auch Zweifel, wie gut diese Einteilung für die aktuellen Hochleistungstiere zutrifft, da sich diese durch Zucht und Management ständig weiterentwickeln und ihre Leistungen steigen (Martens, 2015; Liste, 2016). Eine neue 6-Felder-Tafel soll eine, dem Potential der Kühe besser entsprechende, grafische Einschätzungsform bieten (Losand und Brade, 2017). Im vorliegenden Beitrag wurden Kühe in der frühen Laktation (erste 10 Laktationswochen) in unterschiedliche Versorgungskategorien eingeordnet. Die zugrunde liegenden Daten stammen aus einem Exaktversuch mit unterschiedlichen Protein- und Energiegehalten in der Ration. Die so kategorisierte Versorgungslage wird dann mit der Einschätzung der Versorgungslage nach den oben genannten Felder-Tafeln verglichen, um die Aussagekraft letzterer über den tatsächlichen Versorgungsstatus zu beurteilen.

2 Tiere, Material und Methode

Insgesamt 57 Milchkühe der Rassen Holstein und Brown Swiss wurden in einem zweifaktoriellen Design Rationen, die jeweils einer Kombination aus einer von

drei Energie- und einer von drei Proteinstufen entsprachen, zugeordnet. Die Energie-Stufen 1 bis 3 wurden über unterschiedliche Kraffutter-Anteile der Ration (20, 35, 50 % der Trockenmasse) erreicht. Die unterschiedlichen Protein-Stufen wurden durch unterschiedliche Anteile eines proteinreichen Konzentratfutters an der Gesamt-Konzentratgabe erzielt: N = 0 %, M = 23 %, H = 47 %, wodurch sich ein Rohproteingehalt der Gesamtration von durchschnittlich 115, 136 bzw. 157 g XP/kg T ergab.

Das Grundfutter (50 % Grassilage, 30 % Maissilage, 20 % Heu) wurde dreimal täglich ad-libitum vorgelegt. Das Konzentratfutter wurde über eine Transponderstation gefüttert und dreimal wöchentlich der aufgenommenen Trockenmasse des Grundfutters quantitativ angepasst. Milchleistung und Inhaltsstoffe (Fett, Protein, Laktose) wurden täglich bei jeder Melkung erfasst.

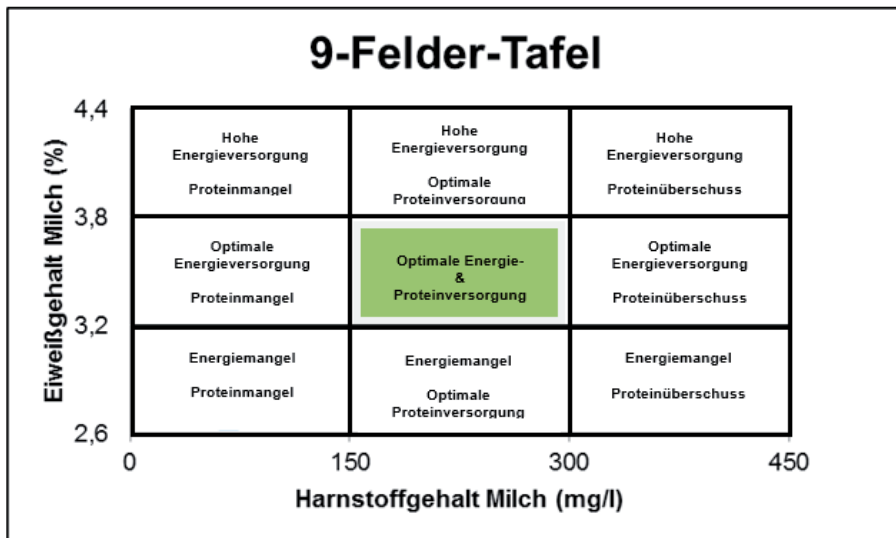


Abb.1: 9-Felder-Tafel nach Spohr und Wiesner (1991) sowie Seggewiß (2004)

Bilanzen zwischen Aufnahme und Bedarf (Erhaltung, Milchleistung und Trächtigkeit) wurden für NEL (nach Urdl et al., 2015) und Rohprotein (nach Kirchgessner, 1992) errechnet. Nach Überprüfung aller Daten standen letztlich 163 Beobachtungen zu Energie- und Rohproteinbilanzen aus den ersten 10 Laktationswochen für die weitere Auswertung zur Verfügung. Kühe mit einer Versorgung von $\pm 10\%$ des Bedarfs wurden als optimal mit NEL bzw. XP ver-

Differenz bildet sich in Feld II („Energemangel, optimale Proteinversorgung“, Abb. 1) mit 58 eingeschätzten gegenüber 12 Zuordnungen aufgrund der Versorgungsbilanz. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die fehleingeschätzten Beobachtungen nur zu einem geringeren Teil den benachbarten Feldern zuzuordnen wären, d. h. nicht nur aufgrund einer fragwürdigen Grenzwertziehung zustande kamen. Insgesamt wurden mit der 9-Felder-Tafel für die Messungen der ersten zehn Laktationswochen nur 13,5 % der Beobachtungen richtig eingeschätzt.

Tab. 1: Zuordnung der tatsächlichen Versorgung in die Felder gemäß 9-Felder-Tafel (Spohr und Wiesner, 1991)

VII¹			VIII			IX		
2,5% ²		7,4% ³	0%		4,3%	0%		11,0%
4 ²	2 ⁴	12 ³	0	0	7	0	0	18
IV			V			VI		
11,0%		13,5%	14,1%		14,1%	0%		18,4%
18	4	22	23	4	23	0	0	30
I			II			III		
34,3%		17,2%	35,6%		7,4%	2,5%		6,7%
56	7	28	58	4	12	4	1	11

¹Feld Nummer gemäß Schema Abbildung 1

²Anteil bzw. absolute Anzahl der Beobachtungen, die dem jeweiligen Feld nach Milchinhaltstoffen zugeordnet werden

³Anteil bzw. absolute Anzahl der Beobachtungen, die dem jeweiligen Feld nach der tatsächlichen Versorgungsbilanz zuzuordnen wären

⁴Anzahl der übereinstimmenden Zuordnung zum jeweiligen Feld aufgrund Milchinhaltstoffen und tatsächlicher Versorgungsbilanz

Wie der Gegenüberstellung in Tabelle 3 zu entnehmen ist, stimmen die Zuordnungen gemäß 6-Felder-Tafel etwas besser mit den tatsächlichen Versorgungsbilanzen überein als die gemäß 9-Felder-Tafel.

In Tabelle 2 erfolgt die analoge Darstellung der Zuordnungen gemäß 6-Felder-Tafel (Losand und Brade, 2017).

Tab. 2: Zuordnung der tatsächlichen Versorgung in die Felder gemäß 6-Felder-Tafel (Losand und Brade, 2017)

IV¹			V			VI		
12,3% ²		20,9% ³	18,4%		18,4%	4,3%		29,4%
20 ²	11 ⁴	34 ³	30	9	30	7	5	48
I			II			III		
35,6%		17,2%	24,5%		7,4%	4,9%		6,7%
58	8	28	40	3	12	8	1	11

¹Feld Nummer gemäß Schema Abb. 2 (ohne Berücksichtigung des Milcheiweißgehaltes)

²⁻⁴siehe Fußnoten Tab. 1

Tab. 3: Prozentsatz der korrekten Einschätzungen der tatsächlichen Versorgung nach der 9-Felder- bzw. der 6-Felder-Tafel

Merkmal	9-Felder-Tafel	6-Felder-Tafel
Energieversorgung korrekt	33,74%	53,99%
Proteinversorgung korrekt	32,52%	35,58%
Energie- und Proteinversorgung korrekt	13,50%	22,70%

Der Anteil korrekter Einschätzungen ist dabei insbesondere für die Kombination aus Energie- und Proteinversorgung sehr gering (Tab. 3). Dies wird durch die Analyse der Likelihood-Quotienten (LQ) bestätigt: Für die positiven LQ (die aussagen, um wieviel wahrscheinlicher die Zuordnung einer tatsächlich in ein bestimmtes Feld gehörenden Beobachtung im Vergleich zur Zuordnung von nicht in dieses Feld gehörenden Beobachtungen ist) erreichen nur die Felder III und VII der 9-Felder-Tafel und die Felder IV und VI der 6-Felder-Tafel Werte, die als mäßig bis sehr gut einzuschätzen sind. Die Zuordnungen zu allen anderen Feldern sind gemäß Bender (2001) als „schlecht“ einzustufen. Die negativen LQ sagen aus, um wieviel mal wahrscheinlicher die Nicht-Zuordnung von nicht in das jeweilige Feld gehörenden Beobachtungen im Vergleich zur Nicht-Zuordnung von den in das jeweilige Feld gehörenden Beobachtungen ist. Für alle Felder weisen die negativen LQ auf eine schlechte Übereinstimmung hin.

Die Einschätzung nach den Milchinhaltstoffen gemäß beider Tafeln deutet also auf deutlich häufigere Mangelversorgungen hin als das aufgrund der Energie- und Rohproteinbilanz tatsächlich der Fall ist. Auch Beobachtungen mit Versorgungsbilanzen von mehr als 110 % des Bedarfs wurden Feldern zugeordnet, die einer Mangelversorgung entsprechen würden.

Diese Ergebnisse stimmen mit Befunden von Seggwiß (2004), die keine Empfehlung zur Verwendung der 9-Felder-Tafel in der Praxis gibt und von Løvendahl et al. (2010), die auf die Problematik hoher Fehlerquoten und einer geringen Wiederholbarkeit bei der Beurteilung der Versorgungslage aufgrund der Milchinhaltstoffe hinweisen, überein. Nach anderen Untersuchungen (Kirchgessner et al., 1986; Stangassinger, 2003) zeigen die Milchinhaltstoffe Veränderungen in der Versorgungslage aufgrund von Rationsänderungen besser an als das absolute Versorgungsniveau.

4 Schlussfolgerungen

Keine der beiden Tafeln ließ für die zugrundeliegenden Daten aus einem Exaktversuch eine befriedigende Einschätzung der Versorgungslage zu. Die 6-Felder-Tafel schneidet dabei geringfügig besser ab als die 9-Felder-Tafel, was auf den etwas niedrigeren Harnstoff-Grenzwert für die Einschätzung einer hohen Proteinversorgung und auf die Verwendung des Fett/Eiweiß-Quotienten anstelle des Eiweißgehalts als Indikator für die Energieversorgung zurückzuführen ist. Ob bei Versorgungslagen, die deutlich stärker vom Bedarf abweichen als die hier zugrunde liegenden, eine bessere Aussagekraft der Einschätzungen zu erwarten ist, kann anhand des vorliegenden Datensatzes nicht beantwortet werden. Dies sollte in weiteren, ähnlich konzipierten Untersuchungen erfolgen.

5 Literaturangaben

- Bender, R., 2001: Interpretation von Effizienzmaßen der Vierfeldertafel für Diagnostik und Behandlung. *Medizinische Klinik* 96, 116-121.
- Kirchgessner, M., 1992: *Tierernährung*. 8. Ed., DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.

- Kirchgessner, M., Kreuzer, M., Roth-Maier, D.A., 1986: Milk urea and protein content to diagnose energy and protein malnutrition of dairy cows. *Archives of Animal Nutrition* 36, 192-197.
- Liste, P., 2016: Neue 6-Felder-Tafel verbessert das Controlling. *TopAgrar*, R26-27.
- Losand, B., Brade, W., 2017: Brauchen wir die neue 6-Felder-Tafel? *TopAgrar*, R16-17.
- Martens, H., 2015: Stoffwechselbelastung und Gesundheitsrisiken der Milchkühe in der frühen Laktation. *Tierärztliche Umschau* 70, 496-504.
- Seggwiß, S., 2004: Überprüfung der Bedeutung von Milchinhaltsstoffen zur Beurteilung der Energie-, Protein- und Strukturversorgung von HF-Kühen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Spohr, M., Wiesner, H.-U., 1991: Kontrolle der Herdengesundheit und Milchproduktion mit Hilfe der erweiterten Milchleistungsprüfung. *Die Milchpraxis* 29(4), 231-236.
- Stangassinger, M., 2003: Beurteilung und Aussagekraft der Untersuchung von Blutparametern zur Erkennung von Fütterungsfehlern. In: 30. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 1-7.
- Urdl, M., Gruber, L., Obritzhauser, W., Schauer, A., 2015: Metabolic parameters and their relationship to energy balance in multiparous Simmental, Brown Swiss and Holstein cows in the periparturient period as influenced by energy supply pre- and post-calving. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 99, 174-189.

Einsatzpotential von rohen Sojabohnen mit reduziertem Gehalt an Trypsininhibitoren in der Ferkelfütterung

W. Wetscherek, R. Puntigam, G. Wetscherek-Seipelt

Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie des Interuniversitären Departments für Agrarbiotechnologie, IFA-Tulln der Universität für Bodenkultur, Wien

1 Einleitung

Ein züchterisches Ziel bei Sojabohnen ist unter anderem die Reduktion des Gehaltes an Trypsininhibitoren. Diese senken die Verfügbarkeit von eiweißspaltenden Enzymen und somit die Verdaulichkeit von Eiweiß. Sie werden üblicherweise durch thermische Behandlung (z. B.: Toasten von Sojaextraktionsschrot zum restlosen Entfernen von Lösungsmittel bei der Ölgewinnung) zerstört.

Im Rahmen des EIP-Projektes „Innobrotics“ wurde die Auswirkung des Einsatzes der neuen Sojabohnenzüchtung Xonia mit geringem Trypsininhibitorgehalt ohne Hitzebehandlung auf die Futteraufnahme, Aufzuchtleistung und den Gesundheitsstatus geprüft. In drei Versuchsguppen wurden 5 % und 10 % der unbehandelten Sojabohnen-neuzüchtung Xonia mit geringem TIU-Gehalt sowie 10 % der unbehandelten alten Sojabohnensorte Naya mit hohem TIU-Gehalt gegen eine Kontrollgruppe mit Sojaextraktionsschrot getestet.

2 Material und Methoden

2.1 Futteranalysen

Die Einzelfuttermittel und die Ferkelaufzuchtfuttermischungen wurden nach den Methoden des VDLUFA (2012) auf die Gehalte an Trockenmasse (Methode 3.1), Rohasche (Methode 8.1), Rohprotein (Methode 4.1.1), Rohfett (Methode 5.1.1), Rohfaser (Methode 6.1.4), Stärke (Methode 7.2.1), Zucker (Methode 7.1.3) analysiert. Zusätzlich wurde der Gehalt an Umsetzbarer Energie laut GfE (2006) berechnet.

2.2 Versuchsdurchführung

Alle Ferkel bekamen zwei Wochen ein einheitliches Ferkelabsetzfutter. Der Versuch begann nach der 6. Lebenswoche und endete mit einem Lebendgewicht von etwa 33 kg nach sieben Versuchswochen. Es wurden 48 Ferkel (F1-Kreuzungstiere der Rassen Weißes Edelschwein x Pietrain) ausgewählt und auf vier Gruppen aufgeteilt. Dabei wurde auf eine gleichmäßige Verteilung von Geschlecht, Wurf und Gewicht geachtet. In einem vollklimatisierten Stall mit Teilspaltenboden wurden jeweils sechs Tiere pro Box gehalten und mit mehlig-futtermischungen über Futterautomaten ad libitum versorgt.

Die Zusammensetzung der Futtermischungen wurden bezüglich des Gehaltes an Energie und Rohprotein angeglichen und sind in der Tabelle 1 ersichtlich.

Die Ferkel wurden bei der Einstellung gewogen. Weitere Gewichtsfeststellungen erfolgten im einwöchigen Abstand. Die pro Box und Abschnitt gefressenen Futtermengen wurden aufgezeichnet. Die Futtermittelnutzung wurde aus der Relation der je Box und Abschnitt aufgenommenen Futtermengen zur Summe der Lebendgewichtszunahmen der Tiere je Box berechnet.

Tab. 1: Zusammensetzung der Ferkelaufzuchtfuttermischungen

Futtermittel in g/kg der Mischung	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Körnermais	34,83	35,00	35,00	34,75
Gerste	34,83	34,83	34,92	34,33
Sojaextraktionsschrot-44	24,00	19,50	15,17	16,17
Sojabohne Xonia	-	5,00	10,00	-
Sojabohne Naya	-	-	-	10,00
Faserkonzentrat	0,83	0,75	0,58	0,42
Prämix	4,33	4,33	4,33	4,33
Rapsfütteröl	1,17	0,58	-	-

3 Versuchsergebnisse

In der Tabelle 2 werden die Ergebnisse der Nährstoffanalysen und den daraus errechneten Gehalten an Umsetzbarer Energie der verwendeten Einzelfutter-

mittel gezeigt. Die Sojabohnenneuzüchtung Xonia weist nur etwa die Hälfte an Trypsininhibitoren gegenüber der Sorte Naya auf. Die Analysenwerte der Ferkelaufzuchtgemischungen entsprachen den errechneten wertbestimmenden Bestandteilen und werden in der Tabelle 3 aufgelistet.

Tab. 2: Analysenergebnisse der eingesetzten Futtermittel

Nährstoffe bezogen auf Frischmasse	Sojaextraktionsschrot	Sojabohne Xonia	Sojabohne Naya
Trockensubstanz, g/kg	872	902	905
ME, MJ/kg	12,94	15,81	15,51
Rohprotein, g/kg	421	362	315
Rohfett, g/kg	30	197	232
Rohfaser, g/kg	70	77	86
Rohasche, g/kg	62	51	51
Stärke, g/kg	44	48	54
Zucker, g/kg	100	78	89
Trypsininhibitoren gehalt, g/kg	2,1	13,8	29,1

Tab. 3: Analysenergebnisse und errechnete Energiegehalte von den Ferkelaufzuchtgemischungen

Nährstoffe bezogen auf Frischmasse	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Trockensubstanz, g/kg	886	886	885	884
ME, MJ/kg	13,32	13,42	13,57	13,50
Rohprotein, g/kg	182	177	172	175
Rohfett, g/kg	35	38	43	43
Rohfaser, g/kg	41	40	37	38
Rohasche, g/kg	54	51	51	51
Stärke, g/kg	432	435	432	430
Zucker, g/kg	33	33	32	33

Während des Ferkelversuches traten bei den Tieren keine Ausfälle oder Probleme mit Durchfällen bzw. anderen Erkrankungen auf. Daher waren auch keine tierärztlichen Behandlungen notwendig. Die jeweils mit leichteren Ferkeln bestückten Boxen wurden nicht 42 sondern 49 Tage mit den Versuchsfuttermischungen gefüttert. Den in der Tabelle 3 dargestellten Endgewichten liegen Daten von jeweils 6 Tieren nach 42 und 6 Tieren nach 49 Versuchstagen zu Grunde.

Die Tiere der Gruppe 2 mit 5 % roher vollfetter Sojabohne der Sorte Xonia zeigten eine idente Lebendmasseentwicklung wie die Kontrollgruppe. Die Gruppe 3 mit dem 10 % Einsatz der rohen vollfetten Sojabohne der Sorte Xonia erreichte einen um etwa 6,5 % geringeren Tageszuwachs als die Kontrollgruppe. Bei der Gruppe 4 mit dem Einsatz von 10 % roher vollfetter Sojabohne der Sorte Naya mit hohem Trypsininhibitorengehalt reduzierte sich der Tageszuwachs über den gesamten Versuchszeitraum signifikant um 100 g bzw. 19 % im Vergleich zur Kontrollgruppe (Tab. 4).

Die Futterverwertung war bei den Gruppen mit der Sojabohnensorte Xonia bei beiden Einsatzhöhen vergleichbar mit der Kontrollgruppe. Bei der Gruppe 4 mit dem Einsatz von 10 % roher vollfetter Sojabohne der Sorte Naya mit hohem Trypsininhibitorengehalt verschlechterte sich die Futterverwertung um 12,5%.

Tab. 4: Auswertung der Aufzuchtleistung

Lebendgewichte, kg	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Anfangsgewicht	9,64	9,68	9,63	9,63
21. Versuchstag	17,14	17,61	17,08	16,11
Endgewicht	33,14 ^a	33,07 ^a	31,38 ^{ab}	28,51 ^b
Tageszunahmen, g				
1.-3. Versuchswoche	357 ^{ab}	378 ^a	355 ^{ab}	309 ^b
4.-7. Versuchswoche	653 ^a	634 ^a	595 ^a	509 ^b
1.-7. Versuchswoche	516 ^a	515 ^a	482 ^a	416 ^b
Futterverwertung, kg				
1.-3. Versuchswoche	1,79	1,75	1,74	1,94
4.-7. Versuchswoche	1,97	2,04	2,06	2,27
1.-7. Versuchswoche	1,92	1,94	1,95	2,16

4 Schlussfolgerungen

Mit dargestellten Ergebnissen konnte nachgewiesen werden, dass mit dem aus den Trypsininhibitorenanalysen der Sojakomponenten errechneten Trypsininhibitorengehalt von über 1,7 g/kg in der Futtermischung, Leistungsminderungen in der Ferkelaufzucht auftreten. Für höhere Einsatzmengen an rohen Sojabohnen ohne thermische Behandlung sind weiter züchterische Fortschritte notwendig. Dies ist auch deshalb anzustreben, weil jede Hitzebehandlung auch zu einer Schädigung der Aminosäuren führt und somit deren Verfügbarkeit für das Tier reduziert.

Aus diesen Untersuchungen kann auch eine mögliche Einsatzmenge von 5 % der Sojabohnensorte Xonia bei älteren Schweinen abgeleitet werden. In der Schweinemast ist aber auf den hohen Gehalt an Polyensäuren in den vollfetten Sojabohnen zu achten, weil dieser zu einer weicheren Fettkonsistenz und höheren Anfälligkeit zu oxidativem Verderb im Schlachtkörper führen kann. Besonders bei der Herstellung von Fleischdauerwaren ist dieser Faktor von großer Bedeutung und wird zum begrenzenden Faktor in der Einsetzbarkeit.

5 Literaturangaben

GfE, 2006: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

6 Danksagung

MIT UNTERSTÜTZUNG VON BUND, LÄNDERN UND EUROPÄISCHER UNION



MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH



LE 14-20
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete



„Demonstration farms“ – ein neuer Ansatz des digitalen Wissenstransfers im Schweinebereich

E.-M. Brunlehner, S. Schneider

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (ITE), Poing-Grub

1 Einleitung

Die Landwirtschaft verursacht einen beträchtlichen Teil der Treibhausgasemissionen – im Jahr 2015 7,4 % der gesamten Treibhausgasmissionen in Deutschland (UBA, 2017a). Aufgrund dessen muss sie durch den Abbau und die dauerhafte Reduzierung von N-Überschüssen einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Hierzu müssen insbesondere Effizienzsteigerungen bei der Düngung, eine substantielle Reduzierung der Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung und Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz in der Fütterung erreicht werden (BMUB, 2016). Laut dem Klimaschutzplan 2050 forciert die Bundesregierung die gezielte Forschung und weitere Entwicklung von N-Minderungsmaßnahmen in der Tierhaltung – wie beispielsweise die Phasenfütterung und die rohproteinangepasste Fütterung – zum Schließen von Nährstoffkreisläufen (BMUB, 2016).

Zudem sieht die NERC-Richtlinie 2016 (National Emission Reduction Commitments) vor, dass Deutschland bis 2030 seine Ammoniakemissionen um mindestens 29 % gegenüber dem Basisjahr 2005 reduzieren muss (Art. 4 Abs. 1 i. V. m. Anhang II Tabelle B Richtlinie (EU) 2016/2284). Da rund 95 % der Ammoniakemissionen in Deutschland aus der Landwirtschaft stammen (UBA, 2017b), muss die Landwirtschaft diese Reduktion nahezu allein leisten. Die Novellierung der Düngeverordnung (DüV) und die Einführung der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) zum 01.01.2018 bringen zusätzlich eine Verschärfung der Vorgaben im Bereich des Nährstoffmanagements mit sich. Bei der DüV entscheiden die im Futter enthaltenden N-Gehalte über den Flächenbedarf, über welchen ein landwirtschaftlicher Betrieb zur gesetzeskonformen Wirtschaftsdüngerausbringung zur Einhaltung der 170 kg N-Regelung aus Wirtschaftsdünger verfügen muss. Somit erlangt das Thema N-/P-reduzierte Fütterung für die schweinehaltenden Betriebe zukünftig eine hohe Bedeutung.

2 Stand des Wissens

Deutschlandweit wurden im Bereich der nährstoffangepassten (N-/P-reduzierten) Fütterung vor allem in Bayern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt zahlreiche Versuche durchgeführt und veröffentlicht. Trotz aller Anstrengungen herrscht in der Praxis, aber auch teilweise in der Beratung, häufig noch ein Sicherheitsdenken vor, was die weitere Absenkung der N- und P-Gehalte in den Futtermitteln betrifft. Auch Garforth et al. (2004) stellten fest, dass Landwirte das forschungsbasierte Wissen trotz vieler Publikationen und Vorträgen nicht in die Praxis umsetzen. Eine weitreichende Umsetzung scheint nur möglich, wenn Landwirte und deren Berater die Bedeutung der nährstoffangepassten Fütterung für den Gesamtbetrieb erkennen. Hier scheint es – trotz großer Bemühungen – noch Nachholbedarf zu geben.

Demzufolge stellt sich die Frage, wie der Wissenstransfer in die Praxis gestärkt werden kann. Hierbei müssen neue Ansätze erwägt werden: Im angelsächsischen Raum wird eine Auswertung von betrieblichen Daten in internetbasierten Plattformen und offenen Besprechungen der Ergebnisse in sogenannten „discussion groups“ schon längere Zeit erfolgreich durchgeführt. Hierbei können die Landwirte voneinander lernen, während der Berater eine moderierende Rolle einnimmt. Wie schon Max Schönleutner (1778-1831) mit dem Satz „da es gewiß ist, daß der Bauer keinem anderen traut, als der mit ihm nicht den gleichen Rock trägt“ trefflich formulierte, ist ein Wissenstransfer unter Berufskollegen, also von Landwirt zu Landwirt, in der Regel erfolgreicher als von Berater zu Landwirt.

„Demonstration farms“ dienen dem unmittelbaren Informationsaustausch, aber auch zum Abbau von Vorurteilen (BLE, 2016). Aufgrund der räumlichen Verteilung der schweinehaltenden Betriebe über ganz Bayern ist ein persönlicher Austausch nicht immer möglich. Durch eine webbasierte Informationsplattform als neues Beratungs- und Wissenstransferangebot kann diesem Nachteil von ortsfesten demonstration arms entgegengewirkt werden. Dennoch ist der persönliche Austausch zwischen den teilnehmenden Betrieben auch in diesem Projekt gewünscht.

3 Forschungsziel

Ziel des Projektes ist es, einen Beitrag zur Umsetzung der nährstoffangepassten Schweinefütterung in bayerischen Schweinebetrieben über digital aufberei-

tete Daten mittels eines onlinebasierten Informations- und Austauschcenters zu leisten.

4 Material und Methoden

Die Projektlaufzeit ist in drei Phasen, welche sich an den landwirtschaftlichen Wirtschaftsjahren orientieren, unterteilt (Abb. 1).

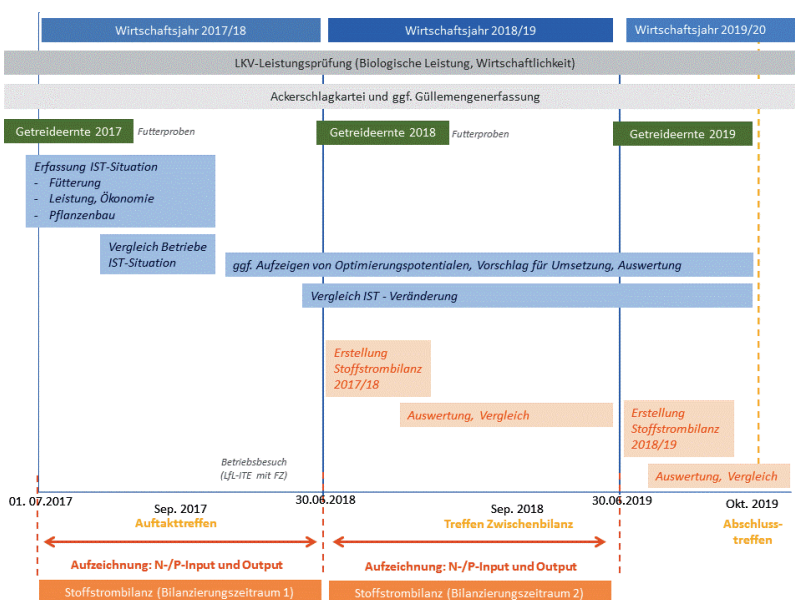


Abb. 1: Ablaufplan Projekt Demonstration Farms

4.1 Wirtschaftsjahr 2017/2018

Das Projekt begann mit der Auswahl der demonstration farms. Die auszuwählenden Betriebe wurden nach einem Kriterienkatalog ausgesucht, der unter anderem eine Mindestgröße, die Möglichkeit einer exakten Futterdatenerfassung, einer Aufgeschlossenheit zum Thema und weitere Kriterien vorsah. Es konnten über Bayern verteilt neun Ferkelerzeuger und zwölf Schweinemastbetriebe für das Projekt gewonnen werden.

In einem ersten Schritt wurde mittels eines Online-Fragebogens und darauf aufbauender Betriebsbesuche die IST-Situation der Betriebe durch die Aufnahme von Grunddaten wie Flächenausstattung, Tierbesatz, Zu- oder Abgabe von Wirtschaftsdünger erfasst. Biologische und wirtschaftliche Leistungsdaten lieferte der Verbundpartner LKV Bayern e. V. Zudem wurden Daten zur Fütterung, wie Futterkomponenten, Fütterungsregime und Futtermengen aufgenommen sowie die Futterinhaltsstoffe durch Futteranalysen nach Schneider et al. (2016a) bestimmt.

Neben dem „Gesamtsystem Schweinefütterung“ erfolgt eine Betrachtung des gesamtbetrieblichen Nährstoffkreislaufes der Projektbetriebe durch die Erstellung einer betriebsindividuellen Stoffstrombilanz nach StoffBilV für die Wirtschaftsjahre 2017/2018 und 2018/2019. Die Berechnung der Stoffstrombilanz für das Wirtschaftsjahr 2017/2018 erfolgte mittels eines eigens entwickelten Excel-Tools, da zum Zeitpunkt der Bilanzerstellung in Bayern noch kein offizielles Programm vorlag. Die unterstellten Annahmen wurden dokumentiert und mit der nach Landesrecht zuständigen Stelle geklärt.

Die Ergebnisse der IST-Analyse zur Fütterung und den Nährstoffflüssen wurden den Teilnehmern auf der Projektplattform www.demonstration-farms.de zur Verfügung gestellt.

4.2 Wirtschaftsjahr 2018/2019

Auf Basis der Erkenntnisse aus dem Wirtschaftsjahr 2017/2018 werden den einzelnen Betrieben Ansatzpunkte bzw. Optimierungsmöglichkeiten im gesamtbetrieblichen Nährstoffmanagement aufgezeigt und Handlungsempfehlungen erarbeitet. Die Futteruntersuchungen werden weitergeführt und ebenfalls selbsterzeugte und zugekaufte Futterkomponenten sowie die fertigen Futtermischungen untersucht. Am Ende des Wirtschaftsjahres wird wieder eine Stoffstrombilanz erstellt und mit den Ergebnissen aus dem ersten Betrachtungszeitraum verglichen, um hierdurch mögliche Verbesserungen darstellen zu können.

Die Online-Plattform soll als webbasiertes Informationscenter stärker in den Fokus rücken. Je mehr Erkenntnisse generiert werden, desto mehr Informationen können den Betrieben, auch zum Benchmarking, zur Verfügung gestellt werden.

5 Ergebnisse

5.1 Online-Plattform als digitales Informationscenter

Seit August 2018 steht die Projektplattform www.demonstration-farms.de der Öffentlichkeit und den Betrieben zur Verfügung. Über ein Login-Fenster können die teilnehmenden Betriebe auf den geschlossenen Teilnehmerbereich zugreifen. Die analysierten Inhaltsstoffe der betriebseigenen Futtermittel, der fertig gemischten Rationen und im nächsten Schritt der Zukauffutter können hier eingesehen werden und mit den Tabellenwerten bzw. den Ergebnissen der anderen Teilnehmer verglichen werden (Abb. 2).

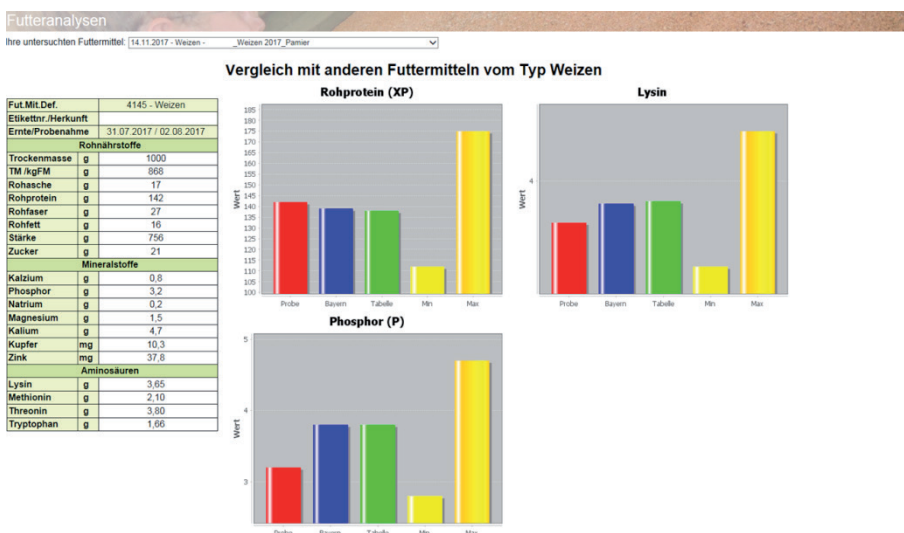


Abb.2: Online-Plattform mit Darstellung betriebsindividueller Daten im Bereich Futter

Die Darstellung der Ergebnisse der Futteruntersuchung ist durch die Implementierung einer Schnittstelle zwischen der Projektplattform und der Gruber Futtermitteldatenbank (LfL-FuLab-Datenbank) möglich. Weiter haben die teilnehmenden Betriebe die Möglichkeit die eigene Fütterungsstrategie online zu benchmarken. Im Betriebsvergleich werden die Gehalte der eigenen Rationsberechnung mit den Mittelwerten, bzw. mit Min-/Max-Werten der restlichen Teilnehmer verglichen.

In einem weiteren Reiter wird die berechnete Ration den Ergebnissen der Laboranalyse gegenübergestellt. Hierdurch werden erstmals Daten aus dem LfL-

Futterberechnungsprogramm Zifo2 und der LfL-FuLab-Datenbank direkt online gegenüberstellt. Für die Berechnung der Rationen werden die untersuchten Einzelfutterergebnisse über eine Schnittstelle aus der FuLab-Datenbank in Zifo2 importiert und der Berechnung zugrunde gelegt.

5.2 Stoffstrombilanz

In dem geschlossenen Teilnehmerbereich der Online-Plattform werden jedem Teilnehmer die betriebsindividuellen Ergebnisse der im Rahmen des Projektes erstellten Stoffstrombilanz für das Wirtschaftsjahr 2017/2018 und später für 2018/2019 eingestellt (Abb. 3).

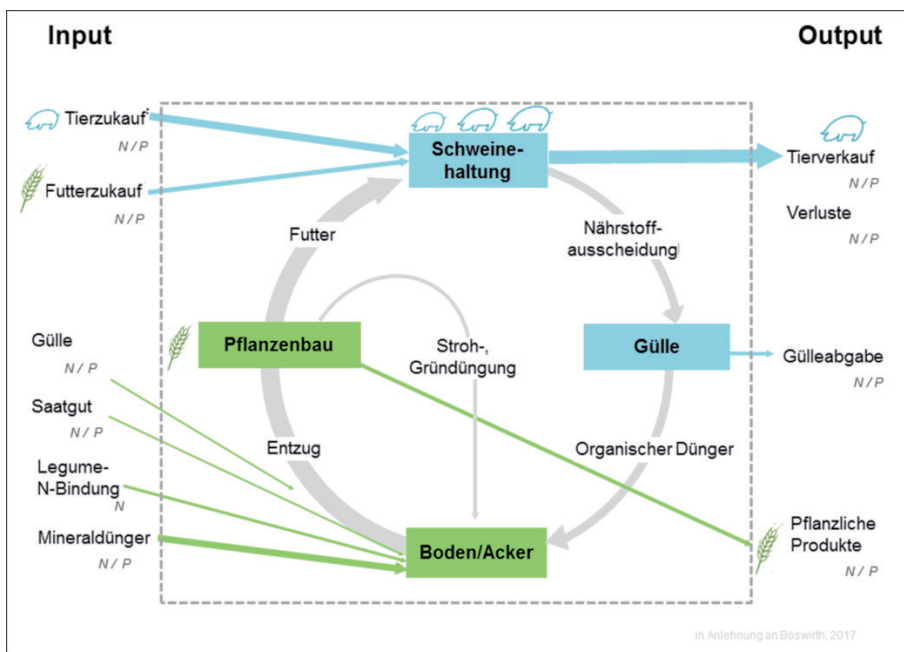


Abb.3: Grafische Darstellung gesamtbetrieblicher Nährstoffkreislauf eines schweinehaltenden Betriebes

Zudem ist ein Benchmarking mit den Ergebnissen anderer Teilnehmer möglich. Die Stoffstrombilanz stellt alle relevanten Nährstoffpfade eines schweinehaltenden Betriebes dar und ist somit Grundlage der Bewertung des gesamtbetrieblichen Nährstoffkreislaufes. Die Art und Weise der Fütterung spielt in intensiven Veredelungsbetrieben im Vergleich zu anderen Nährstoffpfaden (z. B. Saatgut,

Verluste) eine übergeordnete Rolle. Zudem hat sie einen erheblichen Einfluss auf die Nährstoffmengen, welche durch Futterzukauf in den Betrieb importiert, als Ernteprodukte exportiert oder in der innerbetrieblichen Fütterung verwendet werden. Jedoch stellen fehlende Deklarationen oder nicht ausreichend deklarierte Futtermittel einen erheblichen Unsicherheitsfaktor bei der genauen Betrachtung des Nährstoffinputs durch Futterzukäufe dar. Somit gewinnt die Analyse von zugekauften Futtermitteln, z. B. bei Getreidezukauf von anderen Betrieben, an Bedeutung (Schneider et al., 2016b).

6 Ausblick

Für das zweite Projektjahr stehen auf Basis der IST-Analyse die nähere Betrachtung des gesamtbetrieblichen Nährstoffkreislaufes und im Besonderen die Optimierung der Fütterung im Fokus. Neben der Weiterentwicklung der Online-Plattform sind Projekttreffen für einen intensiven Austausch zwischen den demonstration farms geplant.

7 Literaturangaben

- BLE - Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2016: Projektförderung. Modellvorhaben „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz“. http://www.ble.de/DE/Projektfoerderung/Foerderungen-Auftraege/Modellvorhaben/Pflanzliche-Erzeugung/Demonstrationsbetriebe-integrierter-Pflanzenschutz/demonstrationsbetriebe-integrierter-pflanzenschutz_node.html (05.10.2018).
- BMUB - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2016: Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.
- DüV: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 26.05.2017 (BGBl. I S. 1305).
- Garforth, C., Rehmann, T., McKemey, K., Tranter, R., Cooke, R., Yates, C., Park, J., Dorward, P., 2004: Improving the design of knowledge transfer strategies by understanding farmer attitudes and behavior. *Journal of Farm Management* 12(1), 17-32..

- Richtlinie (EU) 2016/2284: Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14.12.2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG (ABl. L 344 vom 17.12.2016, S. 1).
- Schneider, S., Brunlehner, E.-M., Fuhrmann, S., Propstmeier, G., 2016a: Futteruntersuchung: Was ist wichtig? In: Bolduan, C. und Windisch, W. (Hrsg.): „Futterqualität-Bewertung, Aufwertung, Wertschöpfung“, Tagungsband, 54. Jahrestagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung (BAT) e. V., 26.09.2016, S. 39-48, BAT, Freising.
- Schneider, S., Brunlehner, E.-M., Propstmeier, G., 2016b: Phosphorgehalte in Ernteprodukten/Futtermitteln – Vergleich von Tabellenwerten und Laboruntersuchungsergebnissen. VDLUFA-Schriftenreihe 73, 410-417, Kongressband 2016 Rostock, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- StoffBilV: Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung) vom 14.12.2017 (BGBl. I S. 3942).
- UBA – Umweltbundesamt, 2017a: Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. Emissionen aus der Landwirtschaft im Jahr 2015. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#textpart-1> (05.10.2018).
- UBA – Umweltbundesamt, 2017b: Luftschadstoff-Emissionen in Deutschland. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland> (05.10.2018).

Lässt sich durch Beizung der Feldaufgang und Ertrag bei Sojabohnen (*Glycine max*) verbessern?

B. Voit, B. Killermann

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

1 Einleitung

Der Sojabohnenanbau hat sich in Bayern mittlerweile etabliert, da die Nachfrage nach gentechnikfreiem Soja jährlich zunimmt. Die Sojabohne ist eine Kurztagspflanze mit hohem Wärmeanspruch. Nicht in jedem Frühjahr liegen die Bodentemperaturen bei 15 °C, die für einen problemlosen Feldaufgang notwendig sind. In Jahren mit kaltem oder nasskaltem Frühjahr ist der Feldaufgang oftmals sehr langsam und lückenhaft. Die Fruchtart Mais hat ähnlich hohe Temperaturansprüche beim Feldaufgang wie die Sojabohne. Hier wird seit vielen Jahren mit Erfolg das Saatgut gebeizt ausgesät, um den Feldaufgang zu verbessern. Aus diesem Grund wurde ein Feldversuch mit Sojabohnen angelegt, um die Wirkung der Beizung zu testen, zumal in Österreich die Beizung bei Sojabohnen bereits möglich ist.

Neben dem Feldaufgang wurde untersucht, ob sich die Beizung auch auf den Ertrag auswirkt. Darüber hinaus sollte die Frage beantwortet werden inwieweit sich Beizung und Impfung bei Sojabohnensaatgut miteinander vertragen, d. h. ob die mit dem Impfmittel aufgebrachten Knöllchenbakterien in ihrer Wirkung durch das Beizmittel beeinträchtigt werden. Dies war der Grund für eine Variante mit der doppelten Menge des Impfmittels.

2 Material und Methoden

Als Beizmittel wurde das für Sojabohnen in Österreich zugelassene FLOWSANFS verwendet, das auch in der Saatmaisbeizung eingesetzt wird. Für den Feldversuch wurden zwei für Soja günstige Standorte ausgewählt. Der erste Standort Oberhummel lag im Isartal in der Nähe von Freising. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 7,8 °C und die Niederschlagsmenge liegt bei 800 mm. Beim zweiten Standort Rotthalmünster handelt es sich um eine Gunstlage im Rottal bei 8,0 °C durchschnittlicher Jahrestemperatur und 850 mm Niederschlag.

Im Feldversuch kamen 2 Sorten, eine frühe (Sorte 1) und eine etwas spätere (Sorte 2), zum Anbau. Vor der Aussaat wurde im Saatgutlabor die Keimfähigkeit des Saatgutes überprüft (ISTA, 2018). Die Keimergebnisse lagen dabei je nach Partie zwischen 65 % und 96 %.

Ausgesät wurden 70 Körner/m² bei einer Parzellengröße von 10 m² und jeweils 4 Wiederholungen. Für die Ertragsermittlung wurde die gesamte Parzelle geerntet und gewogen. Der Feldversuch wurde mit folgenden Behandlungen 3 Jahre (2015-2017) durchgeführt:

- Ungebeizt + Impfmittel (Kontrolle)
- Gebeizt + Impfmittel
- Gebeizt + 2fache Menge Impfmittel

3 Ergebnisse

Die Jahreswitterung hat bei Feldversuchen einen großen Einfluss auf das Versuchsergebnis. Im Versuchszeitraum war die Witterung insbesondere für den Feldaufgang günstig bis sehr ungünstig. Als schwierigstes Jahr stellte sich das Jahr 2017 heraus. Anfang bis Mitte April war die Witterung überdurchschnittlich warm und trocken. Darauf folgten mehrere Wochen kaltes und feuchtes Wetter mit Tagestemperaturen nahe Null Grad Celsius. Unter diesen Bedingungen war es spannend, wie sich die Beizung auf den Feldaufgang auswirkt (Tab. 1). Auf dem Standort in Oberhummel lag der Feldaufgang bei der Sorte 1 bei ca. 70 % und bei der Sorte 2 bei ca. 60 % (Voit et al., 2013). Zwischen den ungebeizten und gebeizten Varianten zeigte sich im Feldaufgang kein signifikanter Unterschied. Am Standort Rothalmünster war der Unterschied bei der Sorte 2 zwischen ungebeizt und gebeizt signifikant, wobei der Feldaufgang bei der ungebeizten Variante bei nur 34 % lag. Durch die Beizung ließ sich der Feldaufgang um 14 % auf 48 % verbessern.

Im Ertrag konnten bei der Sorte 1 bei allen 3 Varianten auf keinem Standort signifikante Unterschiede festgestellt werden. Das heißt die Beizung und Impfung schließen sich nicht aus. Der Beweis dafür ist, dass sich die Variante mit der doppelten Impfung im Ertrag von der Variante gebeizt und Impfung nicht signifikant unterscheidet. Auch im Feldbestand zeigte sich zwischen den Parzellen „gebeizt und geimpft“ zu den Parzellen „gebeizt und zweifach geimpft“ kein Unterschied. Die Knöllchenbakterien werden durch die Beizung offensichtlich nicht beeinträchtigt.

Tab. 1: Ergebnisse Feldaufgang und Ertrag für die Sorten 1 und 2 im Versuchsjahr 2017

Sorte 1

Behandlung	Feldaufgang (%)		Ertrag (dt/ha)	
	Oberhummel	Rotthalmünster	Oberhummel	Rotthalmünster
Ungebeizt + Impfung	73 ^(a)	69 ^(a)	46,6 ^(a)	44,1 ^(a)
Gebeizt + Impfung	74 ^(a)	72 ^(a)	47,2 ^(a)	42,0 ^(a)
Gebeizt + 2 x Impfung	78 ^(a)	79 ^(b)	46,1 ^(a)	43,8 ^(a)

Sorte 2

Behandlung	Feldaufgang (%)		Ertrag (dt/ha)	
	Oberhummel	Rotthalmünster	Oberhummel	Rotthalmünster
Ungebeizt + Impfung	66 ^(a)	34 ^(a)	46,7 ^(a)	29,4 ^(a)
Gebeizt + Impfung	60 ^(a)	48 ^(b)	46,2 ^(a)	36,7 ^(b)
Gebeizt + 2 x Impfung	62 ^(a)	45 ^(b)	47,3 ^(a)	38,3 ^(b)

Bei der Sorte 2 am Standort Rotthalmünster zeigte sich ein anderes Bild. Hier erzielte die gebeizte Variante einen Ertrag von 36,7 dt. Das entspricht einem Mehrertrag von ca. 25 % gegenüber der ungebeizten Variante.

Das 2. Versuchsjahr 2016 war geprägt von sehr hohen Niederschlägen nach der Saat. Teilweise fielen innerhalb von 10 Tagen mehr als 150 mm Niederschlag. Das hatte Auswirkungen auf den Feldaufgang, der 2016 unter den Werten von 2017 lag. Der Feldaufgang konnte durch Beizung auf beiden Standorten, mit Ausnahme der Sorte 2 auf dem Standort Oberhummel, signifikant verbessert werden (Tab. 2). Durchschnittlich konnte der Feldaufgang um 10 % erhöht werden. Im Ertrag jedoch waren zwischen den ungebeizten und gebeizten Varianten auf keinem Standort und bei keiner Sorte signifikante Unterschiede zu beobachten. Zwar ist die Tendenz zu höheren Erträgen bei den gebeizten Varianten erkennbar, aber statistisch nicht absicherbar. Auch im zweiten Versuchsjahr brachte die Variante „gebeizt und doppelte Impfung“ keinen Mehrertrag im Vergleich mit der gebeizten Variante und einfacher Impfung.

Tab. 2: Ergebnisse Feldaufgang und Ertrag für die Sorten 1 und 2 im Versuchsjahr 2016

Sorte 1

Behandlung	Feldaufgang (%)		Ertrag (dt/ha)	
	Oberhummel	Rotthalmünster	Oberhummel	Rotthalmünster
Ungebeizt + Impfung	61 ^(a)	40 ^(a)	49,9 ^(a)	40,9 ^(a)
Gebeizt + Impfung	71 ^(b)	53 ^(b)	52,1 ^(a)	44,9 ^(a)
Gebeizt + 2 x Impfung	68 ^(b)	46 ^(b)	53,4 ^(a)	45,2 ^(a)

Sorte 2

Behandlung	Feldaufgang (%)		Ertrag (dt/ha)	
	Oberhummel	Rotthalmünster	Oberhummel	Rotthalmünster
Ungebeizt + Impfung	69 ^(a)	49 ^(a)	52,9 ^(a)	42,9 ^(a)
Gebeizt + Impfung	70 ^(a)	56 ^(b)	55,7 ^(a)	45,0 ^(a)
Gebeizt + 2 x Impfung	74 ^(a)	44 ^(a)	55,2 ^(a)	46,4 ^(a)

Tab. 3: Ergebnisse Feldaufgang und Ertrag für die Sorten 1 und 2 im Versuchsjahr 2015

Sorte 1

Behandlung	Feldaufgang (%)		Ertrag (dt/ha)	
	Rotthalmünster	Oberhummel	Rotthalmünster	
Ungebeizt + Impfung	72 ^(a)	42,6 ^(a)	40,0 ^(a)	
Gebeizt + Impfung	74 ^(a)	43,5 ^(a)	40,4 ^(a)	
Gebeizt + 2 x Impfung	77 ^(a)	44,0 ^(a)	40,0 ^(a)	

Sorte 2

Behandlung	Feldaufgang (%)		Ertrag (dt/ha)	
	Rotthalmünster	Oberhummel	Rotthalmünster	
Ungebeizt + Impfung	59 ^(a)	42,0 ^(a)	37,7 ^(a)	
Gebeizt + Impfung	60 ^(a)	42,1 ^(a)	40,0 ^(a)	
Gebeizt + 2 x Impfung	54 ^(a)	41,8 ^(a)	40,7 ^(a)	

Das erste Versuchsjahr 2015 war von der Witterung her betrachtet ein normales Jahr ohne Extreme. Beim Feldaufgang waren keine Unterschiede zwischen den ungebeizten und gebeizten Varianten zu messen (Tab. 3).

Auch bei den Erträgen konnten auf keinem Standort und bei keiner Sorte zwischen den ungebeizten und gebeizten Varianten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Die Variante „gebeizt und doppelte Impfung“ hob sich wiederum nicht von der gebeizten Variante und einfache Impfung ab.

4 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich bei ungünstigen Witterungsbedingungen durch Beizung in der Mehrzahl der Fälle der Feldaufgang um durchschnittlich 10 % verbessern lässt. Der höhere Feldaufgang führte aber nur in einem Jahr, auf einem Standort und bei einer Sorte zu einem signifikant höheren Mehrertrag. In allen anderen Fällen zeigte sich zwischen den ungebeizten und gebeizten Varianten kein signifikanter Unterschied im Ertrag. Die Vermutung, dass durch Beizung die Wirkung der Impfung negativ beeinflusst wird hat sich nicht bestätigt. In keinem der 3 Versuchsjahre führte die Impfung mit der doppelten Menge zu einem signifikanten Mehrertrag.

5 Literaturangaben

International Seed Testing Association (ISTA), 2018: International Rules for Seed Testing (Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut). Zürich, Schweiz.

Voit, B., Salzeder, G., Killermann, B., 2013: Keimfähigkeit, Triebkraft, Feldaufgang und Ertrag bei Sojabohnen (*Glycine max*) mit unterschiedlicher Saatgutqualität. VDLUFA Schriftenreihe Band 69/2014, ISBN 978-3-941273-15-3, 779-784.

Nachweis des Zwergsteinbrands (*Tilletia controversa*) mittels qPCR

M.K. Grundler¹, S. Sedaghatjoo², M. Sedlmeier¹, B. Killermann¹, L. Niessen³

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising, ²Julius Kühn-Institut, Institut für Epidemiologie und Pathogeniagnostik, Braunschweig, ³Technische Universität München, Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie, Freising

1 Einleitung

Die Unterscheidung sowie Quantifizierung der Erreger des Steinbrands (*Tilletia caries* syn. *T. tritici* und *T. laevis* syn. *T. foetida*) und Zwergsteinbrands (*T. controversa* Kühn) ist für den internationalen Saatguthandel aufgrund von Quarantänebestimmungen, aber auch für die Wahl geeigneter Maßnahmen im ökologischen Landbau von entscheidender Bedeutung. Der Nachweis der Teliosporen erfolgt anhand der „optimierten Filtrationsmethode“ (Schumann et al., 2016), basierend auf der Filtrationsmethode nach ISTA (International Seed Testing Association, 1984), Working Sheet No 53. Die Bestimmung der Arten anhand morphologischer Merkmale setzt langjährige Erfahrung des Fachpersonals voraus und ist sehr zeitintensiv. Zur Unterstützung der Saatgutlabore wird deshalb eine Nachweismethode mittels quantitativer Real-Time PCR (qPCR) und am JKI mittels Loop mediated-isothermal amplification (LAMP) entwickelt (Sedaghatjoo et al., 2018). Für die Entwicklung und Validierung der neuen Methoden wird Referenzmaterial der nachzuweisenden *Tilletia*-Arten mit verschiedener geographischer Herkunft benötigt. Dieser Beitrag fasst die Sammlung und Bestimmung des Referenzmaterials zusammen und zeigt einen ersten erfolgreichen Nachweis von Zwergsteinbrand (*T. controversa*) an reinem Sporenmateriale sowie an Routineproben der Saatgutuntersuchung mittels qPCR.

2 Material und Methoden

Gemeinsam wurde von den Projektbeteiligten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und des Julius-Kühn Institutes (JKI) eine umfangreiche Sammlung von *Tilletia* spp., mit Schwerpunkt auf *T. caries*, *T. laevis* und

T. controversa erstellt, die als Referenzmaterial für die Entwicklung und Validierung der Methoden (LAMP und qPCR) dient. Hierfür wurden 107 *Tilletia*-Akzessionen aus Deutschland, Österreich, Frankreich, Italien, Tschechien, der Schweiz und den USA anhand morphologischer Merkmale (Russel und Mills, 1994) und des arttypischen Keimverhaltens (Lowther, 1950, Meinser und Waldher, 1959) identifiziert (Grundler et al., 2017). Zudem wurde eine neue Methode zur Charakterisierung der *Tilletia*-Arten in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie der TU München entwickelt: Die Matrix–Assistierte Laser–Desorption–Ionisierung mit der Flugzeitanalyse (Time of Flight) freigesetzter Ionen zur Massenspektrometrie (MALDI-TOF MS) wurde zur Proteombasierten Charakterisierung von 67 der 107 analysierten Akzessionen verwendet. Durch die Kombination der drei Methoden wurden die *Tilletia*-Akzessionen charakterisiert und identifiziert.

Für die Entwicklung art-spezifischer Marker zur Unterscheidung der *Tilletia*-Arten wurde gemeinsam mit dem JKI eine Gesamtgenom Sequenzierung von elf Akzessionen dieser Sammlung durchgeführt (5 *T. controversa*, 4 *T. caries*, 2 *T. laevis*). Ergänzt um öffentlich verfügbare „Draft Genomes“ weiterer *Tilletia*-Arten konnten elf Fragmente als diagnostische Markergen-Regionen vorselektiert werden. Die Spezifität der daraus entwickelten PCR-Primer wurde an der isolierten Sporen-DNA der Akzessionen der Referenzsammlung sowie weiterer *Tilletia*-Akzessionen und phytopathogener Pilzarten mittels qPCR verifiziert. Die Anwendbarkeit und Sensitivität des Sporennachweises an Saatgutproben mit verschiedenen Befallsstärken wurde getestet. Hierfür wurden die anhaftenden Sporen abgewaschen (Probenvorbereitung der Filtrationsmethode, leicht modifiziert), zentrifugiert und dann der Sporennachweis an der daraus isolierten DNA überprüft.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die morphologische Bestimmung der 107 *Tilletia*-Akzessionen durch sieben Fachkräfte ergab bei 75 Akzessionen eine einheitliche und bei 26 eine mehrheitlich übereinstimmende Artbestimmung. Sechs Akzessionen wurden von den Fachkräften im Verhältnis 4:3 als zwei unterschiedliche Arten bestimmt. Anhand des arttypischen Keimverhaltens konnten 106 Akzessionen in zwei Gruppen, *T. controversa* und *T. caries*/*T. laevis* eingeordnet werden. Jedoch ist hierbei keine Unterscheidung zwischen *T. caries* und *T. laevis* möglich. Bei

einer Akzession konnte keine Keimung beobachtet werden. Dies kann auf eine reduzierte Lebensfähigkeit aufgrund des Alters der Teliosporen oder deren Lagerung zurückgeführt werden. Mittels MALDI-TOF MS erfolgte eine Charakterisierung der 67 ausgewählten Akzessionen in zwei Hauptgruppen. Die Gruppe „Steinbrand“ umfasst eine Untergruppe mit *T. caries* Akzessionen aus Europa, sowie eine zweite Untergruppe mit *T. caries* und *T. laevis* Akzessionen aus den USA. In der Gruppe „Zwergsteinbrand“ erfolgte keine Unterscheidung der *T. controversa* Akzessionen anhand der Herkunft. Fünf Akzessionen (*T. caries* und *T. laevis*) wurden keiner dieser Gruppen zugeordnet. Durch die Identifizierung der *Tilletia*-Akzessionen anhand aller drei Kriterien (60 Akzessionen) sowie mittels zweier Kriterien (Morphologie und Keimverhalten, ohne MALDI-TOF MS; 37 Akzessionen) konnten 97 Akzessionen als Referenzmaterial bestimmt werden. Darunter sind 61 *T. caries*, 28 *T. controversa* und 8 *T. laevis*, die für die weiteren Analysen und die Methodenentwicklung zur Verfügung stehen.

Die Entwicklung der PCR-Primer, basierend auf einem der elf vorselektierten anonymen Loci, spezifisch für den Nachweis von *T. controversa* Teliosporen war erfolgreich. Die Spezifität des Markers wurde am Referenzmaterial und weitergehend an insgesamt 116 *Tilletia*-Akzessionen (*T. caries*, *T. controversa*, *T. laevis*) verschiedener geographischer Herkunft und 32 weiteren phytopathogenen Pilzarten nachgewiesen. Weiterhin konnte erreicht werden, dass nicht nur die aus reinem Sporenmaterial (gewonnen aus Brandbutten) isolierte DNA von *T. controversa* in der qPCR amplifiziert wird, sondern auch die DNA der Sporen aus Routineproben der Saatgutuntersuchung. Dies gilt sowohl für die Verwendung eines interkalierenden Farbstoffes, sowie eines sondenbasierten Ansatzes. Als unterste Nachweisgrenze zeigte sich bisher ein Besatz von zwei Sporen pro Korn bei einer Weizenprobe mit reinem *T. controversa* Befall. Dieser konnte eindeutig von den Negativkontrollen (u. a. auch Proben mit *T. caries* Besatz) unterschieden werden.

4 Fazit und Ausblick

Die Identifikation der *Tilletia*-Arten anhand morphologischer Merkmale, dem arttypischen Keimverhalten und der Proteom-Analyse mittels MALDI-TOF MS hat gezeigt, dass derzeit nur eine Bestimmungsmethode allein oft nicht für eine sichere Identifikation der *Tilletia*-Arten ausreicht. In Kombination konnten

allerdings 97 Akzessionen zuverlässig bestimmt werden und damit steht eine umfangreiche Referenzsammlung für die weitere Entwicklung und Validierung der Nachweismethoden zur Verfügung. Auf dieser Grundlage konnten die erfolgreich entwickelten molekularen Marker für den spezifischen Nachweis von *Tilletia controversa* verifiziert werden. Rechnerisch ist bei Einsatz einer reinen Sporensuspension ohne Inhibitoren ein Nachweis von weniger als einer Spore pro Korn möglich. Anhand von Routineproben aus der Saatgutuntersuchung konnte bislang eine untere Nachweisgrenze von 2 Sporen/Korn bestätigt werden. Proben mit geringerer Befallsrate müssen noch eingehend untersucht und die Nachweismethode hinsichtlich der Quantifizierung weiter optimiert werden.

5 Danksagung

Unser Dank gilt dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft für die Förderung des Forschungsprojektes aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

6 Literaturangaben

- Grundler, M. K., Sedaghatjoo, S., Sedlmeier, M., Killermann, B., Maier, W., Niessen, L., 2017: Steinbrand (*Tilletia caries*) oder Zwergsteinbrand (*T. controversa*)? – Entwicklung einer qualitativen sowie quantitativen Nachweismethode. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 74/2017, 663-669, Kongressband 2017 Freising, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- ISTA, International Seed Testing Association, 1984: Working Sheet No. 53, *Triticum aestivum*, *Tilletia contraversa* Kühn, *Tilletia caries* (DC) Tul., *Tilletia foetida* (Wallr.) Liro. In: International Seed Testing Association (Hrsg.) ISTA Handbook on Seed Health Testing, Zurich, Switzerland, 1-4.
- Lowther, C., 1950: Chlamyospore germination in physiologic races of *Tilletia caries* and *Tilletia foetida*. *Phytopathology* 40(6), 590-603.
- Meiners, J.P., Waldher J.T., 1959: Factors affecting spore germination of twelve species of *Tilletia* from cereals and grasses. *Phytopathology* 49, 724-728.
- Russel, B.W., Mills, D., 1994: Morphological, physiological, and genetic evidence in support of a conspecific status for *Tilletia caries*, *T. controversa*, and *T. foetida*. *Phytopathology* 84(6), 576-582.

- Schumann, S., Büttner, P., Hertel, B., Preiß, U., Krämer, S., Maier, W., 2016: Nachweis von *Tilletia spp.* an Getreidesaatgut mittels Filtrationsmethode – Eine neue optimierte Untersuchungsmethode. Beschlussammlung der Fachgruppe Saatgut im VDLUFA, 1-3.
- Sedaghatjoo, S., Grundler, M.K., Geissler, A.J., Niessen, L., Karlovsky, P., Killermann, B., Maier, W., 2018: Detection of *Tilletia controversa* using loop-mediated isothermal amplification (LAMP). In: Meeting of the Working Group Seed Science and Certification (GPZ/GPW) & Section IV Seeds (VDLUFA) „Testing Methods and Research on Seed Quality“, 10-12 April 2018, IPK Gatersleben, Book of Abstracts, S. 19.

Bewertung, Zertifizierung und Überprüfung der Qualität von Online-Sensoranwendungen bei der Digitalisierung in der Landwirtschaft

G. Henkelmann

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Analytik von Nährstoffen, Wirkstoffen und biologischen Systemen und Bioenergie (AQU 1), Freising-Weihenstephan

1 Einleitung

Mit der Neuregelung der Düngeverordnung wird sich die Düngepraxis in der Landwirtschaft in den kommenden Jahren drastisch verändern. Dabei kommen die Änderungen und die neuen Formen der Digitalisierung, sowohl der guten fachlichen Praxis der Düngung, dem Gewässerschutz, der Umwelt und letztendlich der Artenvielfalt und auch der Landwirtschaft selbst zugute. Gemeinsam mit dem angepassten Düngegesetz wird mit dem so genannten „Dünge-Paket“ die EG-Nitratrichtlinie in Deutschland umgesetzt. Zwingend notwendig für diese Maßnahmen ist eine standortgerechte Düngebedarfsermittlung für Stickstoff auf Acker- und Grünland und eine ertragsabhängige laboranalytische Messung des Stickstoffgehalts (N-Gehalts) am Standort. Dies bedeutet nahezu eine Verdoppelung der bisherigen mineralischen Stickstoffproben (N_{\min} -Proben). Weiterhin ist eine möglichst präzise Messung der ausgebrachten Düngemenge erforderlich um eine standort- und kulturartenbezogene Obergrenze für die Stickstoff-, Phosphat-, die Gülle- und Gärrestdüngung und die 170 kg N/ha Regelung durchzuführen. Dafür werden jedoch die vorhandenen Kapazitäten der Labordienstleister nicht ausreichen.

Für diese Messungen an den ausgebrachten Wirtschaftsdüngern oder Gärresten gibt es mehrere Ansätze:

- Ein schnelles und effektives Labornetzwerk, das sehr effizient und genau die Inhaltsstoffe der Gülle- und Gärrestbehälter misst wobei hier ein problematischer Faktor die „manuelle“ Probenahme ist
- Automatisierung der Probenahme und Messung an den Güllegruben oder Biogas Endlagern um schnell und effizient die Ergebnisse vor Ort bereitzustellen
- Nutzung der Online-Messtechnik, wie sie bereits von Firmen wie z. B. John

Deere auf Güllefässern angeboten wird. Hier entfällt dann die Probenahme. Aber die nachhaltige Nutzung solcher Messsysteme entspricht zum jetzigen Zeitpunkt nicht den gesetzlichen Anforderungen. So ist eine kontinuierliche Validierung und Zertifizierung solcher Messtechnik erforderlich.

2 Nah-Infrarot-Reflexions-Messtechnik (NIR) in der digitalisierten Landwirtschaft

Mittels eines Sensors soll der Durchfluss und die Güllezusammensetzung aus der Gülleleitung direkt ermittelt werden. Die Gülle kann nach Aussagen von Geräteherstellern stationär, beim Befüllen, Ausbringen oder Rühren untersucht werden. Neben Stickstoff (N) sollen auch andere Parameter wie Kalium (K), Phosphat (P) oder Trockenmasse (TM) aufgezeichnet werden. Je nach System können noch weitere Parameter parallel bestimmt werden. Eine Anbringung des Systems an älteren Gülle-Zugfahrzeugen ist nur bedingt möglich.

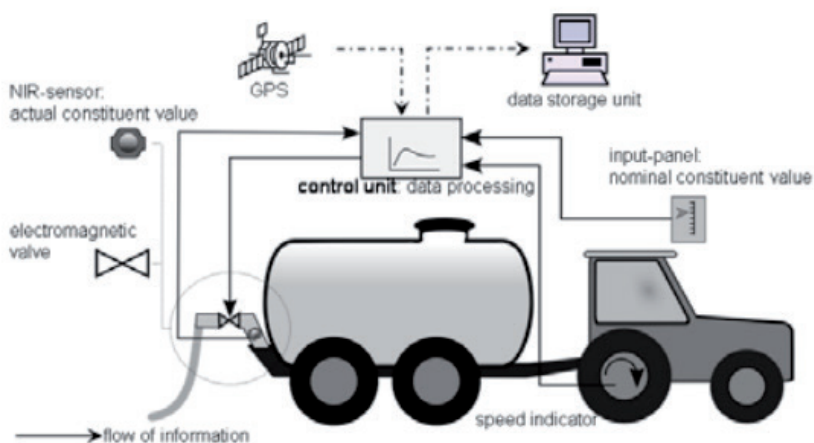


Abb. 1: Darstellung eines durch NIRS-Technik gesteuerten Güllewagen (schematisch) - Abbildung entnommen aus: „Einsatz von Nahinfrarotspektroskopie für eine nährstoffgesteuerte Gülleausbringung“ (Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik - Christian-Albrechts-Universität - Kiel)

Durch die Anwendung der Online-NIRS-Technik sollte die gezielte Ausbringung von Nährstoffen in Form von Gülle in Echtzeit präzise gesteuert werden. Der

Landwirt könnte durch die Dosierung der vorgegebenen Nährstoffe, die Vorschriften der DüV einhalten sowie zusätzlich seine eigenen Düngekosten senken. Die Aufzeichnung der Daten kann live ausgewertet werden und für spätere Analysen gespeichert werden.

Neben der Analytik im Güllewagen wie oben dargestellt hat sich die NIRS-Technik auch bereits bei der Ernte von z. B. Grasschnitt oder Mais bewährt. Hier kann z. B. der Nährstoffgehalt/Mineralstoffgehalt des Schnitts ermittelt werden. Durch die vollautomatische Messung ergeben sich weitere Vorteile, so entfällt die Probennahme, die häufig fehlerbelastet ist. Die Messwerte werden automatisch erzeugt und normiert.

So oder ähnlich wird die Digitalisierung die Landwirtschaft verändern. Um jedoch hier den Landwirt nicht mit dieser modernen Messtechnik allein zu lassen, muss er geschult werden. Auch zwingend erforderlich ist ein Verfahren zur Überprüfung/Validierung, Zertifizierung und Bewertung von Spektroskopischen Methoden in der Landwirtschaft. Mit Hilfe der etablierten Biogas-Ringversuche an der LfL sollen vor Ort Validierungen eingeführt werden. Somit kann die LfL ein Instrument zur Kontrolle, Verifizierung und letztlich Zertifizierung der NIRS-Messsonden in der landwirtschaftlichen Praxis bereitstellen.

3 Fragestellung

Die Frage ist jedoch, ob die Online-Verfahren in der Landwirtschaft schon so ausgereift sind, um die Laboranalytik zu ersetzen. Wie sehr kann man sich im Zuge der Digitalisierung auf solche Messverfahren verlassen und wie kann eine Messtechnik, die organische Moleküle misst, auch anorganische Substanzen wie z. B. Phosphor messen?

4 Technik – Vor- und Nachteile

Die spektroskopischen Schnellverfahren, insbesondere Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS), die bereits in vielen Bereichen der Landwirtschaft Einzug gehalten hat, können bei ausreichender Genauigkeit in fast allen Bereichen der produzierenden Landwirtschaft zur qualitativen und quantitativen Beurteilung und Analyse von Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen eingesetzt werden.

Das grundlegende physikalische Prinzip der Nah-Infra-Rot Spektroskopie (NIRS) basiert auf der Anregung von Molekülen durch Wärmestrahlung. Die Wärmestrahlung oder Infrarotstrahlung ist eine vom menschlichen Auge nicht wahrnehmbare elektromagnetische Strahlung.

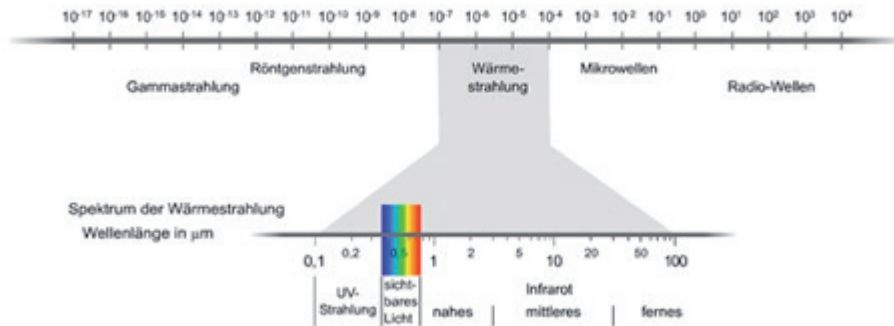


Abb. 2: Spektrum der elektromagnetischen Strahlung (Günzler und Gremlich, 2003)

Sie schließt an die langwellige Grenze (Rot) des sichtbaren Lichtes an. NIR-Messungen erstrecken sich im Bereich von 780 nm bis etwa zu einer Wellenlänge von 2500 nm (siehe Abb. 2). Durch die Aufnahme von Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung kommt es zu Valenz- und Deformationsschwingungen der Moleküle.

Die Vorteile der NIRS-Schnellmethode hat sich vor allem die Lebensmittel- und Pharmaindustrie und der landwirtschaftlichen Laborbereich zu Nutze gemacht. Beispielsweise bei der Qualitätssicherung von Milch, aber auch bei der Trockensubstanzbestimmung von Getreide (im Lagerhaus) oder bei der Bestimmung des Humusgehalts im Boden sind spektroskopische Verfahren mittlerweile ein unerlässlicher Teil der Agrar-Analytik geworden.

Um eine korrekte Analytik zu gewährleisten, müssen die Online Messsonden „richtige Werte“ generieren. Dafür müssen diese regelmäßig überprüft, kalibriert und verifiziert werden. Dies ist nur über Ringversuche möglich. Ein teilnehmender Landwirt hat somit künftig die Sicherheit, dass die auf dem Feld erhobenen Messergebnisse den Anforderungen der Düngeverordnung genügen und gleichwertig zu den Laborergebnissen sind.

Dabei hat die NIR, MIR, IR-Spektroskopie in modernen Messgeräten einen hohen Probendurchsatz und kann evtl. sogar vor Ort zu minutenschneller Routineanalytik verwendet werden. Ein weiterer großer Vorteil liegt in der simultanen Bestimmung mehrerer Parameter, und einer zerstörungsfreien Messung des Probenmaterials. Dadurch bieten sich solche spektroskopischen Verfahren als ein universelles Werkzeug zu Beurteilung von vielen analytischen Problemfällen an, die in der Landwirtschaft nur unzureichend, zu langsam oder zu teuer untersucht werden können.

5 Die Düngeverordnung

Im Zuge der Aktualisierung der Düngeverordnung (DüV) vom 26.05.2017 ergibt sich für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (wie Gülle oder Gärrest) eine Grenze in Höhe von maximal 170 kg N/ha vor. Nach § 6 Absatz 4 DüV gilt:

„Aus organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln, einschließlich Wirtschaftsdüngern, auch in Mischungen, dürfen unbeschadet der Vorgaben der §§ 3 und 4 Nährstoffe nur so ausgebracht werden, „dass die ausgebrachte Menge an Gesamtstickstoff im Durchschnitt der landwirtschaftlich genutzten Flächen des Betriebes 170 Kilogramm Gesamtstickstoff je Hektar und Jahr nicht überschreitet“. Für die Ermittlung der ausgebrachten Stickstoffmenge sind die im Sinne des § 3 Absatz 4 bekannten, ermittelten oder festgestellten Gehalte, bei im Betrieb anfallenden Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft einschließlich des Weideganges und Düngemitteln, bei denen es sich um Gärrückstände aus dem Betrieb einer Biogasanlage handelt, mindestens die Werte nach Anlage 1 Tabelle 1 der Düngeverordnung anzusetzen.“

Somit ergeben sich für den Landwirt enge Grenzen hinsichtlich der erlaubten Menge an Gesamtstickstoff, die pro Hektar und Jahr ausgebracht werden dürfen. Hier bietet die landwirtschaftliche Technik, im Bereich der Gülleausbringung, verschiedenste Lösungen für die Landwirte und Lohnunternehmer an. Speziell ein System auf Basis der Nahinfrarotspektroskopie scheint zukunftsfruchtig zu sein.

6 Lösungsansatz

Neben den bestehenden Ringversuchsgruppen und Parametern führt die LfL eine neue Ringversuchsgruppe: „NIRS-Analytik Wirtschaftsdünger“ ein. Die

Parameter dieser Gruppe sollen explizit nur mittels NIRS-Analytik untersucht werden dürfen.

Die mit einem NIRS-Sensor ermittelten Untersuchungsergebnisse werden mit einem externen Standard validiert und abgeglichen. Denn um eine korrekte Analytik zu gewährleisten müssen die NIRS-Messsonden richtige Werte generieren. Dafür müssen diese regelmäßig überprüft, verifiziert und die herstellerseitig eingebauten Kalibrationen neu angepasst werden. Gülle ist eben nicht Gülle! Unterschiedliche Matrices erfordern unterschiedliche angepasste Kalibrationen. Eine solche Anpassung ist aber nur über Ringversuche möglich.

Die von der LfL seit vielen Jahren durchgeführten Ringversuche im Bereich der Wirtschaftsdünger haben in der Vergangenheit wesentlich dazu beigetragen, die Qualität der Laboruntersuchungen zu steigern. Die Erfolge der Ringversuche sind in Abbildung 3 dargestellt.

Aus der Grafik wird ersichtlich, dass durch konsequente Teilnahme an den Ringversuchen, die analytische Laborleistung stetig gesteigert werden konnte. Daher ist es unserer Ansicht nach zwingend erforderlich, eine weitere, regelmäßige Durchführung der Ringversuche zu gewährleisten und auch die Qualität mobiler Messsysteme einzubeziehen.

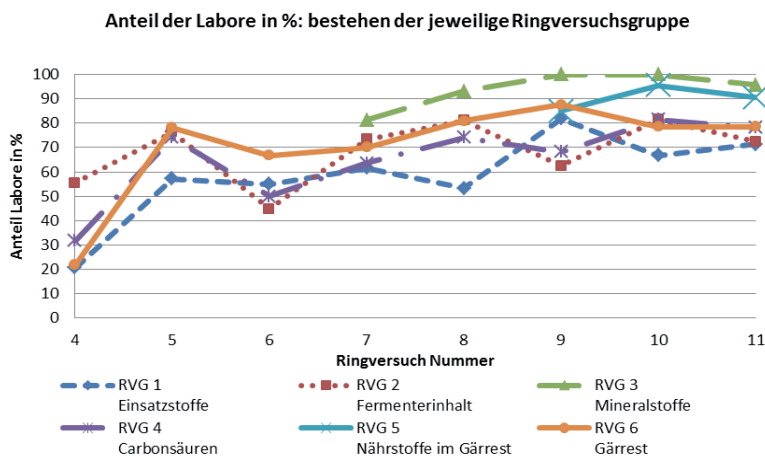


Abb. 3: Anteil der Labore in % die nach den Bewertungskriterien der einzelnen Ringversuche die jeweilige Ringversuchsgruppe bestanden haben

7 Fazit

Durch den weltweit starken Ausbau der Erzeugung von Bioenergie und dem entsprechend hohen Anfall von Gärresten und Wirtschaftsdüngern (Gülle) aus der Tierhaltung, stellt die Ausbringung dieser wichtigen Düngemittel eine Herausforderung für die Zukunft dar. Nicht zuletzt wegen der Aktualisierung der DüV (Düngeverordnung) gibt es neue Richtlinien, denen Rechnung getragen werden muss. Im landwirtschaftlichen Betrieb soll nur so viel wie nötig und so wenig wie möglich Nitrat, Ammonium und Phosphat ausgebracht werden. Um aber die Inhaltsstoffmengen an N, P, K ... genau beurteilen zu können sind nach aktuellem Recht, Laboranalysen unabdingbar. Die Qualität dieser Analysen ist bestimmt durch die Genauigkeit und Präzision im Labor.

Wenn nun neue, mobile Labors in Form von NIRS-Messstationen am Gülletank, im Feld und auf der Ausbringtechnik eingesetzt werden sollen, so können diese eines Tages, nur dann anerkannt werden, wenn diese Systeme zeigen, dass sie ebenfalls von hoher und mit dem Labor vergleichbarer Qualität sind. So ist es zwingend erforderlich, die Qualität dieser „mobilen, digitalen Labors“ zu überprüfen und zu zertifizieren um die Einhaltung der Düngeverordnung und der umweltpolitischen Aspekte zu wahren.

8 Literaturangaben und weitere Informationen

LfL, 2012: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland - Gelbes Heft. 10. unveränderte Auflage 2012 (mit aktualisiertem Anhang), Anhang 8 und 9, S. 94-97.

Meyer zu Köcker, K. Henkelmann G., 2011: Ringversuche für Laboranalytik – der Weg zur Qualität, Biogas Journal, Heft 1 2011, Seite 85-88.

Henkelmann G., 2011: Meyer zu Köcker, K., Götz, J., Beck, J., Schlüsselparameter zur Kontrolle des Gärprozesses und Motivation, Voraussetzung und Möglichkeiten für die Prozessüberwachung, LfL-Information und Internetbeitrag.

Henkelmann G., 2011: Tagungsband: „Gülle 11“ - Gülledüngung und Gärrestdüngung auf Grünland am Landwirtschaftlichen Zentrum, Baden Württemberg, Tagungsband 2011.

- Henkelmann G., Bauer, J.; 2011: Biogastechnologie zur umweltverträglichen Flüssigmistverwertung und Energiegewinnung in Wasserschutzgebieten; Tagungsband zur internationalen Tagung in Aulendorf; 17.-18.10.2011 Kloster Reute.
- Meyer zu Köcker, K. Henkelmann G., 2011: Ringversuche für Laboranalytik – der Weg zur Qualität, Biogas Journal, Heft 1 2011, Seite 85-88.
- Redaktioneller Beitrag in der Zeitschrift „joule“ u. a. Gaul, Th., G. Henkelmann., 2012c: „Was Labore können“, joule, (Agrarenergie, Technik, Politik, Wirtschaft) Heft Nr. 5 (Sept./Okt. 2012), S. 47-50.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) in der Fassung vom 26.05.2017; http://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html.
- Vogt, Ch., Henkelmann, G., 2015: Labordienstleistung als Basis einer effektiven Biomassenutzung, Agrarwissenschaftliches Symposium 2015, Posterpräsentation 24.10.2015 + Beitrag im Tagungsband.
- Vogt, Ch., Henkelmann, G., 2017: Entwicklung eines Qualitätssicherungssystems für Labordienstleister im Bereich der Biogasproduktion in Bayern, Fachvortrag, Messe-Offenburg, biogas - expo & congress, 09.02.2017.
- Zimmermann, A., Thiessen, E., Andree, H., Hartung, E., 2009: Einsatz von Nahinfrarotspektroskopie für eine nährstoffgesteuerte Gülleausbringung; Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik - Christian-Albrechts-Universität Kiel.

Trennung von Kohlenstoff- und Stickstofffraktionen im Boden mit einer Temperaturrampe

F. Alt, A. Loos, L. Lange

Elementar Analysensysteme GmbH, Langenselbold

Detaillierte Kenntnisse über Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte in Böden sind essentiell für das Verständnis der ablaufenden biogeochemischen Prozesse und dementsprechend auch für die Landnutzung und Düngung. Die methodische Herausforderung bei der Bestimmung der Kohlenstoffgehalte in Feststoffen liegt in der Trennung der organischen und anorganischen Kohlenstofffraktion und insbesondere der Möglichkeit den elementaren Kohlenstoff von diesen zu unterscheiden. Wir prüfen deshalb die Vor- und Nachteile der Nutzung einer Temperaturrampe (DIN 19539, siehe Tab. 1) gegenüber der klassischen Differenz- oder Direktmethode (EN 13137, EN 15936).

Tab. 1: DIN 19539 zur Trennung der C-Fractionen

Parameter	Start Temp. [°C]	Heizrate [K/min.]	Zieltemp. [°C]	Haltezeit [s]	Träger gas
TOC400	150	70	400	120	O ₂
ROC	400	70	600	100	O ₂
TIC900	600	70	900	100	O ₂

Der soli TOC[®] cube bietet die Möglichkeit eine zwischen 150 °C und 900 °C frei konfigurierbare Temperaturrampe zu fahren, bzw. isotherm nach EN 15936 zu arbeiten. Darüber hinaus kann die Zersetzung von Stickstoffverbindungen simultan miterfasst werden. Um die Zweckmäßigkeit dieser Methode zu testen wurden die mit der Temperaturrampe differenzierten Kohlenstoffgehalte mit den durch die Differenz- und Direktmethode erzielten Ergebnissen für eine Vielzahl (n=128) von Böden mit unterschiedlichen Eigenschaften verglichen.

Die mit dem Direktverfahren ermittelten organischen Kohlenstoffgehalte stimmen für die meisten Böden sehr gut mit der Summe der organischen und elementaren Kohlenstofffraktion, die mit der Temperaturrampe bestimmt wurde,

überein (s. Bsp. in Tab. 2, Abb. 1). Auch die simultan erfassten Gesamtstickstoffgehalte weisen keine signifikanten Unterschiede zu den Ergebnissen etablierter Vergleichsmethoden auf (Tab 3). Darüber hinaus bietet die Vielseitigkeit der Temperaturrampe die Möglichkeit außer den Fraktionen auch einzelne Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen über die Zersetzungsbedingungen zu trennen und zu erfassen.

Tab. 2: Bestimmung von C-Fractionen in einer Kalkmarsch mit unterschiedlichen Methoden

Probe	Methode	TOC(400) [%]	ROC [%]	TIC(900) [%]	TC [%]
Kalkmarsch	DIN 19539 A	2,41	0,45	0,24	3,11
10 cm	EN 15936	2,86	–	0,21	3,07
Kalkmarsch	DIN 19539 A	1,48	0,32	0,40	2,20
20 cm	EN 15936	1,75	–	0,46	2,22

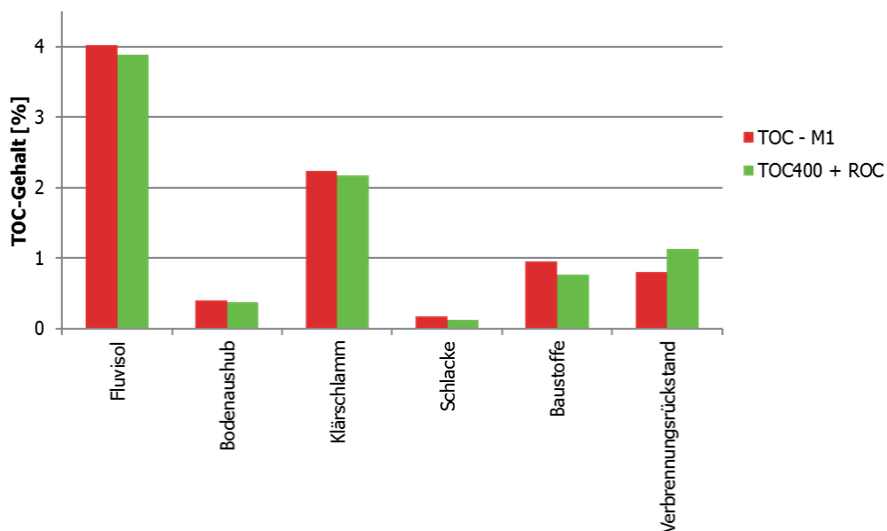


Abb. 1: Bestimmung der TOC-Gehalte in unterschiedlichen Proben mittels verschiedener Methoden: TOC – M1: TIC-Entfernung durch Ansäuern und anschließende TOC-Bestimmung nach EN 15936, TOC400 + ROC: TOC-Bestimmung nach DIN 19539

Tab3: Ergebnisse für Stickstoff Vergleichsmessungen

Probe	erwartet % N (nach Dumas)	gemessen % N (NO-Bildung)
AgNO ₃	8,25	8,26±0,14
Boden STSD4	0,3	0,303±0,005
Boden CP 1	0,34	0,308±0,003
Boden ISE971	0,41	0,408±0,015
Boden ISE921	0,29	0,302±0,001
Boden CP3	0,13	0,124±0,001
Boden 0.028 % N	0,028	0,032±0,001
Boden BvCv	0,053	0,057±0,001

Bestimmung des Gehalts von Precursor-Substanzen auf PFC-belasteten Versuchsflächen über den TOP-Assay

M. Mechler¹, F.X. Steemann², B. Schneider¹, K. Müller¹, T. Nagel¹, J. Breuer¹

¹LTZ Augustenberg, Karlsruhe, ²RP Freiburg, Freiburg

1 Problemstellung

In Baden-Württemberg (Rastatt/Baden-Baden und Mannheim) sind knapp 900 ha landwirtschaftlicher Produktionsflächen mit per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) belastet. Nach derzeitigem Kenntnisstand wurde in der Vergangenheit mit Papierschlämmen versetzter Kompost auf diesen Flächen ausgebracht. Da PFC zur Beschichtung von z.B. fettdichten Verpackungspapieren verwendet werden, kommen Papierschlämme als Quelle für die persistenten Verbindungen in Betracht (RP Karlsruhe 14.10.2018).

Die Untersuchung der Bodenproben zur Ermittlung der Belastung erfolgt derzeit auf wenige einzelne perfluorierte Verbindungen, bei denen es sich vermutlich lediglich um die Abbauprodukte der ursprünglich in der Papierindustrie eingesetzten technischen Produkte handelt (Buck et al., 2011). Somit spiegelt die Analytik von Einzelverbindungen nur einen Bruchteil der tatsächlich vorliegenden Menge an PFC im Boden wieder. Die genaue Zusammensetzung der eingesetzten Ausgangsverbindungen, auch Precursorsubstanzen genannt, ist aufgrund von Betriebsgeheimnissen nicht bekannt. Die quantitative Analytik der Precursorsubstanzen gestaltet sich als äußerst anspruchsvoll, da mehrere tausend fluorierte Substanzen in Frage kommen und für viele dieser Verbindungen keine analytischen Standardsubstanzen kommerziell erhältlich sind (KEMI, 2015).

Die Precursorverbindungen werden im Boden zu kurzkettingen PFC umgesetzt, für welche ein starker Übergang in die Pflanzen und dort vor allem in die vegetativen Pflanzenteile beobachtet werden kann (Lewis et al., 2016; Eriksson, 2016; Lee et al., 2014). Diese Biomagnifikation von kurzkettingen PFC in den Pflanzen gegenüber dem Boden ist u. a. auch aus dem Vorerntemonitoring und Versuchen des LTZ bekannt. Da der Gehalt an Precursorsubstanzen im Boden

unbekannt ist, lässt sich das Aufnahmeverhalten der Pflanzen nur schwer abschätzen. Zur besseren Lagebeurteilung dieses großflächigen Umweltschadensfalles wurde in einem vom Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (MLR) geförderten Projekt eine literaturbekannte Methode zur Analytik von PFC-Vorläuferverbindungen in Wasserproben auf die Untersuchung von Bodenproben übertragen.

2 Material und Methoden

In dieser von Houtz publizierten Methode werden die Precursor-Substanzen chemisch größtenteils zu den bereits analytisch etablierten PFC oxidativ umgesetzt und als diese quantifiziert (Houtz, 2013). Der Vergleich von PFC-Gehalten derselben Probe ohne Precursor-Abbau erlaubt eine Aussage über das Vorhandensein der Vorläuferverbindungen. Nach dem Originalprotokoll von Houtz wird die Probe (Wasserprobe oder Bodenextrakt) mit einer Lösung von Kaliumperoxodisulfat und 10 N Natronlauge versetzt und die Lösung 6 Stunden lang bei 85 °C zur Reaktion gebracht. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur wird der pH-Wert mit Salzsäure auf pH = 4-10 eingestellt und Methanol zugesetzt. Die Proben werden über eine Festphasenextraktion aufgereinigt und via HPLC/MS analysiert. Die Untersuchung von Bodenproben auf PFC-Einzelsubstanzen erfolgt nach der Methode des VDLUFA (2011). Bestimmt wurden die Substanzen PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS, PFOS und PFDS.

3 Ergebnisse und Diskussion

Perfluoralkylphosphatester (PAPs) werden u. a. in der Papierindustrie als Vorläuferverbindungen verwendet. Analytische Standardsubstanzen einiger Vertreter dieser Stoffgruppe sind kommerziell erhältlich (Houtz, 2013; Lewis et al., 2016; Liu et al., 2016). Durch Dotierung von unbelasteten Bodenproben mit PAP-Standardsubstanzen und anschließender Extraktion und Umsetzung unter Variation der Extraktions- und Reaktionsbedingungen wurde der TOP-Assay auf Bodenproben übertragen.

Um den Verlauf der Reaktion und der Produktbildung zu beobachten wurde eine Mischung aus 6:2-PAP, 8:2-PAP, di(6:2)-PAP, di(8:2)-PAP und di(6:2/8:2)-PAP

oxidiert und die Reaktionsdauer variiert. Die Reaktionsmischungen wurden nach 2, 4, 6 und 14 Stunden untersucht. Abbildung 1 zeigt die Wiederfindung der entstandenen Produkte bezogen auf die eingesetzte Stoffmenge an PAPs in Abhängigkeit von der Reaktionszeit. Die anfängliche Abnahme der Produktausbeuten kann möglicherweise durch Folgereaktionen der Produkte untereinander erklärt werden. Da im Zeitraum von 6–14 Stunden ein Anstieg der Produktausbeuten zu beobachten ist, ist eine Reaktionszeit von 6 Stunden, wie im Protokoll von Houtz beschrieben, nicht ausreichend und die Oxidation wird in weiteren Experimenten über Nacht (mind. 14 h) durchgeführt.

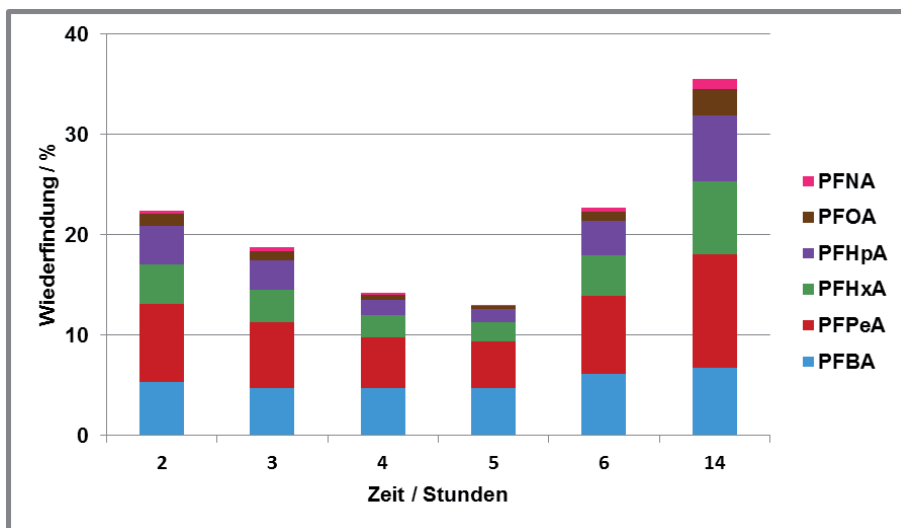


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Produktbildung bei der Oxidation einer Mischung aus PAP-Standardsubstanzen.

Um zu prüfen, ob die matrixfreien PFC-Standardsubstanzen gegenüber den Reaktionsbedingungen stabil sind, wurde der PFC-Mischstandard umgesetzt. Die Wiederfindungsraten der einzelnen Substanzen sind in Abbildung 2 (rechts) graphisch dargestellt und sind für die meisten Standardsubstanzen zufriedenstellend. Auffällig sind jedoch die geringen Wiederfindungen von PFUnA, PFDoA und PFDS. Da das Oxidationsmittel im Überschuss eingesetzt wird, wird die Aufreinigung via SPE vermutlich durch die hohe Salzfracht, gestört. Es wurde ein zusätzlicher Extraktionsschritt eingebaut, um die PFC in die organische Phase zu überführen und die Salze abzutrennen. Als Extraktionsmittel wurde in Anlehnung an die VDLUFA Vorschrift Acetonitril verwendet und es wur-

den zur Phasentrennung Puffersalze hinzugegeben. Die beiden Aufreinigungsvarianten sind ebenfalls in Abbildung 2 (links) dargestellt.

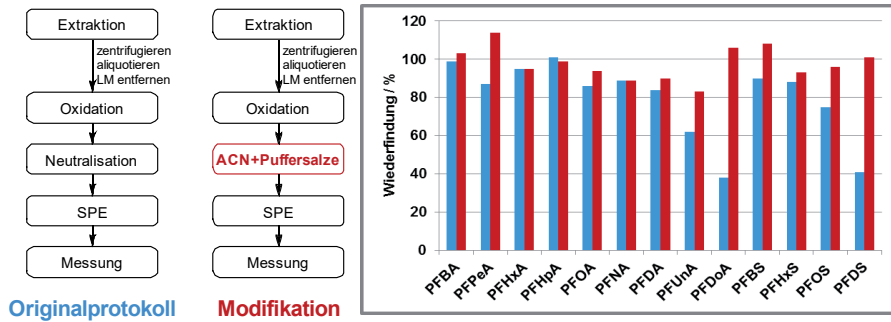


Abb. 2: Schematische Darstellung der Aufreinigungsvarianten und Wiederfindungsraten der einzelnen Standardsubstanzen.

Um die Extraktion von Precursorsubstanzen aus Böden möglichst zu optimieren, wurden verschiedene Extraktionsmittel getestet. Dazu wurden jeweils 2 g Boden eingesetzt, extrahiert wurde mit 10 mL Lösungsmittel und 1 h im Ultraschallbad. Ein Aliquot des Extraktes wurde anschließend eingeeengt und oxidiert. Dotiert wurde jeweils mit 6:2-PAP, 8:2-PAP, di(6:2)-PAP und di(8:2)-PAP. Als Extraktionsmittel wurden zunächst Methanol, wie im Originalprotokoll und eine Mischung aus Acetonitril und Wasser nach der VDLUFA Methode verwendet. Die Ausbeuten an Oxidationsprodukten bezogen auf die eingesetzte Stoffmenge an PAPs sind in Tabelle 1 zu sehen. Durch die Extraktion von di(6:2)- und di(8:2)-PAP mit MeOH werden bessere Ausbeuten erzielt als mit dem ACN/H₂O-Gemisch, jedoch werden bei der Extraktion mit ACN/H₂O alle Substanzen erfasst

Tab. 1 Dotierversuche mit PAP-Standardsubstanzen: Ausbeuten an Oxidationsprodukten unter Verwendung verschiedener Extraktionsmittel.

Extraktionsmittel	6:2-PAP	8:2-PAP	di(6:2)-PAP	di(8:2)-PAP
MeOH	0	1	38	46
ACN:H ₂ O(1:1)	5	13	21	21

Neben den bereits getesteten wurden weitere Lösungsmittel aus einer Veröffentlichung von Liu et al. (2016) ausgewählt, welche sich bei Versuchen zur

Extraktion von 6:2- und 8:2-mono- und diPAP aus Böden bewährt haben. Liu erzielte die besten Wiederfindungen mit einer Mischung von Acetonitril und 1 M Essigsäure im Verhältnis 4:1. Unter Anwendung der modifizierten Aufarbeitungsbedingungen wurden die mit einer PAP-Mischung dotierten Bodenproben mit den in Abbildung 3 aufgeführten Lösungsmitteln extrahiert. Die höchste Ausbeute von 17 % wurde mit einer Mischung aus Acetonitril und Wasser (1:1) erzielt. Zwei aufeinanderfolgende Extraktionen mit Methanol und anschließend mit Acetonitril und Wasser (1:1) erbrachten überraschenderweise eine geringere Ausbeute von 13 %. Auch eine Veränderung des Acetonitril/Wasser-Verhältnisses oder die Verwendung einer Mischung von Acetonitril bzw. Methanol mit 1 M Essigsäure nach Liu führten zu keiner Steigerung der Ausbeute.

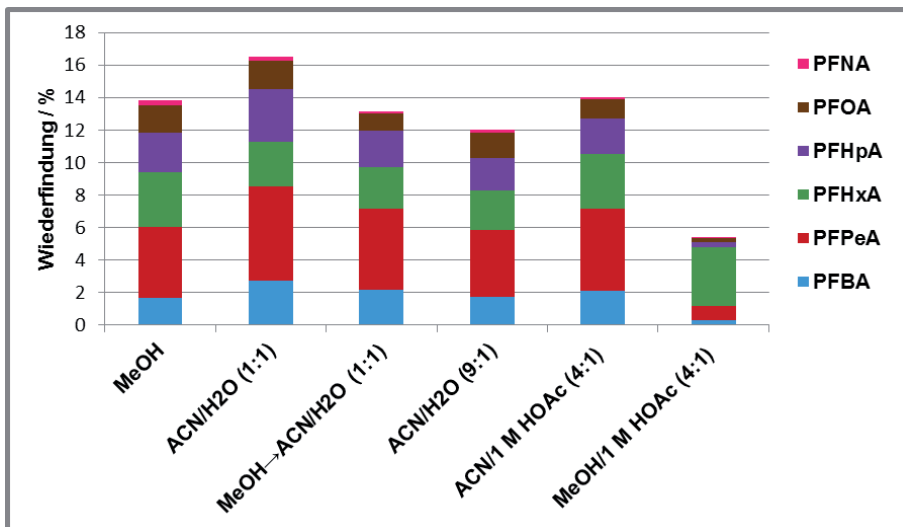


Abb. 3: Screening verschiedener Extraktionsmittel zur Optimierung der Ausbeute.

Unter Anwendung des soweit optimierten TOP-Assays wurden hochbelastete reale Bodenproben untersucht. Aufgrund der sehr hohen Belastung wird davon ausgegangen, dass auf diesen Flächen Precursorverbindungen vorliegen. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Einzelstoffanalytik und des Top-Assays aufgeführt. Die Differenz spiegelt den Anteil an Precursorverbindungen wieder. Der über den TOP-Assay bestimmte Gesamtgehalt der betrachteten Flächen übersteigt den in der Routineanalytik erfassten Gehalt bei weitem. Die Untersuchung von Proben drei verschiedener Bodentiefen zeigt, dass die Vorläuferverbindungen hauptsächlich im Oberboden vorliegen.

Tab. 2 Untersuchung von real belasteten Bodenproben mit dem TOP-Assay. Die Summe des PFC-Gehalts ist in $\mu\text{g}/\text{kg}$ angegeben.

	TOP-Assay	Gehalt vorher	Differenz
Fläche 1	1275	563	712
Fläche 2	2408	1211	1197
Fläche 3 (0-30 cm)	352	154	198
Fläche 3 (30-60 cm)	29	14	15
Fläche 3 (60-90 cm)	14	0	14

4 Ausblick

Je nachdem welche Precursorsubstanzen in einer Bodenprobe vorliegen und abhängig davon zu welchen Abbauprodukten sich diese unter den hier angewendeten Oxidationsbedingungen zersetzen, wird ein unterschiedlicher Anteil der Vorläuferverbindungen erfasst, da nicht alle Abbauprodukte in der Einzelstoffanalytik abgebildet werden. Durch Erweiterung des Analysespektrums von PFC auf weitere potentielle Abbauprodukte der PAPs wie z. B. die 5:3- oder 7:3-Fluortelomersäure oder die kurzkettigen Reaktionsprodukte wie TFA (C2) und PFPrA (C3) kann die Aussagekraft des TOP-Assays noch weiter verbessert werden.

5 Literaturangaben

Buck, R.C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J.M., Cousins, I.T., de Voogt, P., Jensen, A.A., Kannan, K., Mabury, S.A., Van Leeuwen, S.P, 2011: Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins, *Integr. Environ. Assess. Manag.*, 7(4), 513-541.

Eriksson, U., 2016: Dissertation, Örebro University.

Houtz, E.F., 2013: Dissertation, University of California.

Kemi (Swedish Chemicals Agency), 2015: Occurrence and use of highly fluorinated substances and alternatives. www.kemi.se/en/global/rapporter/2015/report-7-15-occurrence-and-use-of-highly-fluorinated-substances-and-alternatives.pdf (abgerufen am 10.03.2018).

- Regierungspräsidium Karlsruhe: [https://rp.baden-wuerttemberg.de /rpk/Abt5/Ref541/PFC/Seiten/Einfuehrung_PFC.aspx](https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpk/Abt5/Ref541/PFC/Seiten/Einfuehrung_PFC.aspx) (abgerufen am 14.10.2018).
- Lee, H., Telvin, A. G., Mabury, S. A., 2014, *Environ. Sci. Technol.*, 48, 340-349.
- Lewis, M., Kim, M.H., Liu, E.J., Wang, N., Chu, K.-H., 2016: *J. Hazard. Mat.*, 320, 479-486.
- Liu, C., Liu, J., 2016: *Environ. Pollut.*, 212, 230-237.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2011: Methode 3.3.2.6, Bestimmung von Perfluoroktancarbonsäure (PFOA) und Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) als Leitsubstanzen der perfluorierten Chemikalien (PFC) in Klärschlamm mittels Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. VII Umweltanalytik, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Einsatz von Kaninchenkot als Inokulum im Hohenheimer Futterwerttest

D. Jacobs¹, J. Lenz², K.-H. Südekum¹, P. Steuer²

¹Institut für Tierwissenschaften, Universität Bonn, ²Senzyme GmbH, Troisdorf

1 Einleitung

Für eine optimale tierische Leistung und einen ökonomischen Einsatz von Futterkomponenten ist eine korrekte Futtermittelbewertung zwingend erforderlich. Der Wert eines Futtermittels ist von vielen Faktoren abhängig, doch wird dem Energiegehalt allgemein die größte Bedeutung zugesprochen, da Nährstoffdefizite leichter durch Ergänzungsfuttermittel auszugleichen sind. Die sicherlich genauesten Verfahren zur Ermittlung des energetischen Wertes eines Futtermittels sind aufwendige und teure *in vivo* Bilanzversuche am Tier. Diese eignen sich jedoch weder für die schnelle Analyse von Proben, noch zur Testung einer großen Anzahl von Futtermitteln. Daher wurden in der Vergangenheit eine Vielzahl an alternativen *in vitro* Methoden zur Schätzung des Futterwertes entwickelt. In Deutschland hat sich in den 1980ern der Hohenheimer Futterwerttest (HFT) etabliert, welcher von Menke et al. (1979) standardisiert wurde. Für dieses Verfahren ist die Haltung von pansenfistulierten Tieren von Nöten, was den Arbeits- und Kostenaufwand steigert. Zur Vereinfachung des Verfahrens schlugen erstmals Aiple et al. (1992) vor, das Inokulum Pansensaft durch frischen Kot zu ersetzen. Der Fokus lag in der Vergangenheit auf der Verwendung von Rinder-, Schaf- oder Pferdekot, aber auch Schweine und Vögel wurden genutzt (Mauricio et al., 2001, Can et al., 2009; Pandian et al., 2016). In diesen Studien hat sich gezeigt, dass die Nutzung von Kot als Inokulum im Allgemeinen möglich ist. Die Haltung dieser Tierarten ist allerdings relativ aufwendig. Kaninchen jedoch sind relativ einfach und auf kleinem Raum zu halten. Kaninchenkot wurde bisher nicht auf seine Eignung als Ersatz für Pansensaft im HFT getestet.

Der Gastrointestinaltrakt (GIT) des Kaninchens unterscheidet sich deutlich von dem der Wiederkäuer. Das Kaninchen ist ein monogastrischer Herbivore, seine Ernährung ähnelt aber eher der der Wiederkäuer als der von anderen Monogastriern wie Schweinen und Geflügel. Der größte Teil der Fermentation findet in dem sehr großen Blinddarm der Kaninchen statt. Dieser macht bis zu 50 % des Volumens des GIT aus (Carbaño et al., 2010).

Studien über das Mikrobiom im GIT der Kaninchen haben ergeben, dass die Gattung *Bacteria* den Hauptteil des Mikrobioms ausmacht (Boulharouf et al., 1991). Die wichtigsten zellulolytischen Bakterien, welche im GIT von Wiederkäuern gefunden werden (*Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens* und *Ruminococcus albus*), finden sich ebenfalls im Caecum des Kaninchens (Abecia et al., 2005).

In dieser Studie wurde untersucht, in wie weit es möglich ist, den Pansensaft (PS) im HFT durch Kaninchenkot (KK) zu ersetzen. Zu diesem Zweck wurde mit beiden Inokula (PSI, KKI) ein Futtermittelscreening durchgeführt. Die Fermentationskenngrößen Gesamtgasmenge und Menge an kurzkettigen Fettsäuren (FFS) wurden erfasst.

2 Material und Methoden

Futtermittel

Die getesteten Futtermittel (Tab. 1) wurden, sofern erforderlich, bei 50 °C vortrocknet und anschließend durch ein 1 mm Sieb gemahlen. Die Trockenmasse (TM) wurde nach der Methode 3.1 des VDLUFA (2007) bestimmt. Die Futtermittelanalyse der in Tabelle 1 aufgeführten Futtermittel wurde mit der „near infrared reflectance spectroscopy“ (NIRS) Technik ermittelt. Hierfür wurden die Proben bei 60-65 °C bis zu einer Restfeuchte von 50-80 g/kg getrocknet. Danach wurden die Proben mittels einer Zentrifugalmühle durch ein 0,5 mm Sieb gemahlen. Für die Bestimmung der Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung (aNDF) wurden die Proben zunächst mit einer hitzestabilen Amylase inkubiert, wieder getrocknet und mittels NIRS analysiert. Die mit Amylase behandelten Proben wurden nach der Messung bei 550 °C verascht und der aNDFom- Gehalt wurde berechnet. Die NIRS Berechnungen wurden mittels Ergebnissen aus klassischen nasschemischen Analysen, welche nach den Richtlinien des VDLUFA (2007) durchgeführt wurden, kalibriert. Für jedes Futtermittel standen mindestens 400 Ergebnisse aus nasschemischen Analysen für die Kalibration zur Verfügung.

Tab. 1: Futterwertmerkmale (g/kg Trockenmasse) der im Screening eingesetzten Substrate

Material	XA	XP	aNDFom	ADFom	Stärke	Fett
Weizen	14	109	92	26	603	19
Körnermais	13	91	109	36	630	45
Kraftfutter	84	84	n.a.	n.a.	324	58
Weizenkleie	53	156	389	113	193	41
Weizenstroh	56	26	854	585	<5	57
Gerstenstroh	44	30	867	604	<5	62
Dinkelspelzen	67	18	871	529	<1	50
Hirsespelzen	132	26	831	588	5	51
Lignozellulose	1	7	944	794	<5	54
Süßlupine, gelb	47	429	n.a.	n.a.	45	55
Eiweißerbse	n.a.	239	111	71	435	21
Ackerbohne	55	276	n.a.	n.a.	402	20
Sojabohne	50	356	99	96	7	221
RapsES	69	322	334	202	n.a.	45
SoES	71	291	429	312	n.a.	13
Grassilage A	98	187	442	255	<5	42
Grassilage B	85	47	593	348	<5	25
Maissilage A	24	86	444	251	422	29
Maissilage B	26	69	395	230	315	28
Luzerneheu	94	151	451	340	<5	18
Luzernesilage	69	196	399	339	<5	33

(ADFom = Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung; aNDFom = Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung; n.a. = nicht analysiert; RapsES = Rapsextraktionsschrot, SoES = Sonnenblumenextraktions-schrot, XA = Rohasche, XP = Rohprotein)

Hohenheimer Futterwerttest

Die *in vitro*-Fermentation der Futtermittel erfolgte mittels des HFT (Menke et al., 1979). Der Pansensaft stammte von zwei fistulierten Hammeln und wurde kurz vor der Morgenfütterung gesammelt. Die Ration der Spendertiere bestand aus 50 % Grasheu und 50 % Kraftfutter. Aus beiden Tieren wurde anteilig der Pansensaft gewonnen und durch zwei Lagen Mulltuch gefiltert. Das PSI wurde nach der HFT-Standardprozedur vorbereitet (1 Teil Pansensaft und 2 Teile Puffer; Menke et al., 1979). Die Messung der produzierten Gasmenge erfolgte in den Intervallen: 2, 4, 6, 8, 12, 24, 32 und 48 Stunden. Für jedes Futtermittel erfolgte eine dreifache Bestimmung. Drei Proben des PSI dienten als Blindwert. Die Futtermittel wurden mit 200 mg TM eingewogen und mit 30 ml Inokulum, bei 39 °C und konstanter Rotation, inkubiert (Menke et al., 1979).

Präparation des Kötinokulums

Interne Tests hatten gezeigt, dass der Kaninchenkot, welcher in der Nacht abgesetzt wurde, nicht für die Analysen geeignet ist. Die Lagphase in der Gasbildung war zu lang. Um diesem Umstand entgegen zu wirken, wurden 120 g Frischkot mittels eines Mixers zerkleinert und mit einer Puffer-Futter-Mischung inkubiert: 1,16 L HFT-Puffer, 0,87 L H₂O dest., 62 g TM einer Mischration (32 % Grassilage, 28 % Maissilage, 16 % Luzernesilage, 14 % Pressschnitzel, 6 % Rapsextraktionsschrot, 4 % Weizen, 0,2 % Mineralstoffgemisch), 28 g TM Grassilage und 28 g TM gemahlener Mais. Dies entspricht in etwa einem Kot:Futter-Verhältnis von 1:1. Für diese Vorinkubation wurde ein gasdichtes Glasgefäß gewählt, welches für die Druckentlastung ein kleines Loch im Deckel besaß. Auf diese Weise bildete sich nach der Inkubation zügig ein anaerobes Milieu in dem Gefäß. Die Vorinkubation wurde in einem Inkubator bei 39 °C für 20 h durchgeführt. Das Gemisch wurde in dieser Zeit ständig gerührt. Nach der Vorinkubation wurde des KKI wie das PSI behandelt.

Bestimmung der kurzkettigen Fettsäuren

Zur Bestimmung der durch die Fermentationsprozesse gebildeten absoluten Menge der FFS und des relativen Anteils von Essigsäure (C2), Propionsäure (C3) und n-Buttersäure (C4) wurde nach 24 h Inkubation eine Probe genommen. Die Proben wurden zunächst zentrifugiert und daran anschließend mit 100 µl Methansäure behandelt. Die Analyse erfolgte mittels eines Gaschromatographen „PE Nelson 600“ mit Flammenionisationsdetektor der Firma Perkin Elmer

(Perkin-Elmer, Inc., Shelton, CN, USA). Das Trägergas war Helium. Zur Kalibrierung wurden neben den Proben stets auch zwei definierte Standards analysiert. Die Auswertung der Chromatogramme erfolgte mittels Flächenintegration durch die gerätere Software.

3 Ergebnisse

Gasbildungswerte

Ein direkter Vergleich der Gasbildungen nach 24 h bzw. 48 h Inkubation im HFT mit den beiden verschiedenen Inokula wird in Abbildung 1 gezeigt.

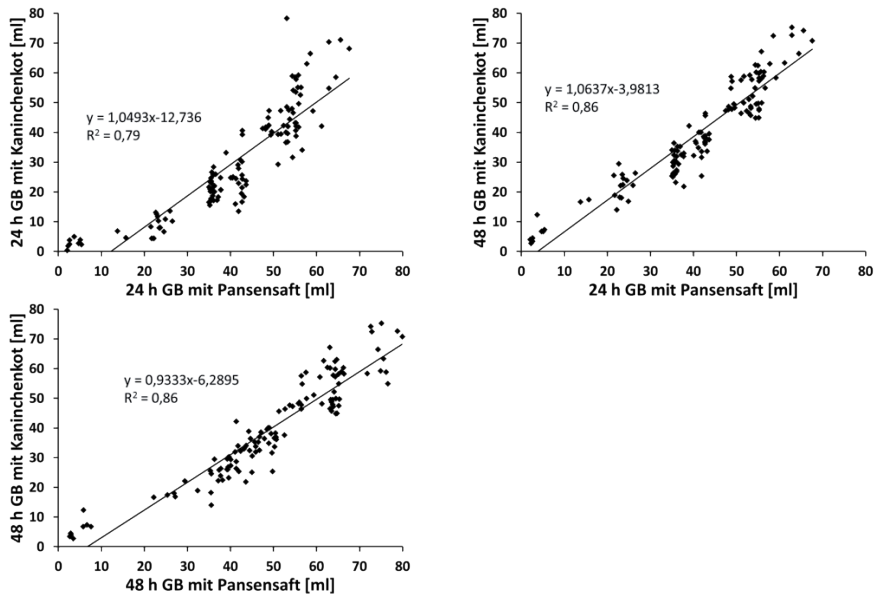


Abb. 1: Vergleich der Gasbildungs-(Gb)-Werte nach 24 h oder 48 h Inkubation in Kaninchenkot- bzw. Pansensaftinokulum

Es zeigt sich bei allen Vergleichen eine lineare Beziehung zwischen den beiden Inokula. Die beiden besten Übereinstimmungen finden sich bei 48 h Inkubation mit Kaninchenkot und 24 h Inkubation in Pansensaft und bei dem Vergleich der Gasbildungen mit jeweils 48 h Inkubationszeit.

Kurzketttige Fettsäuren

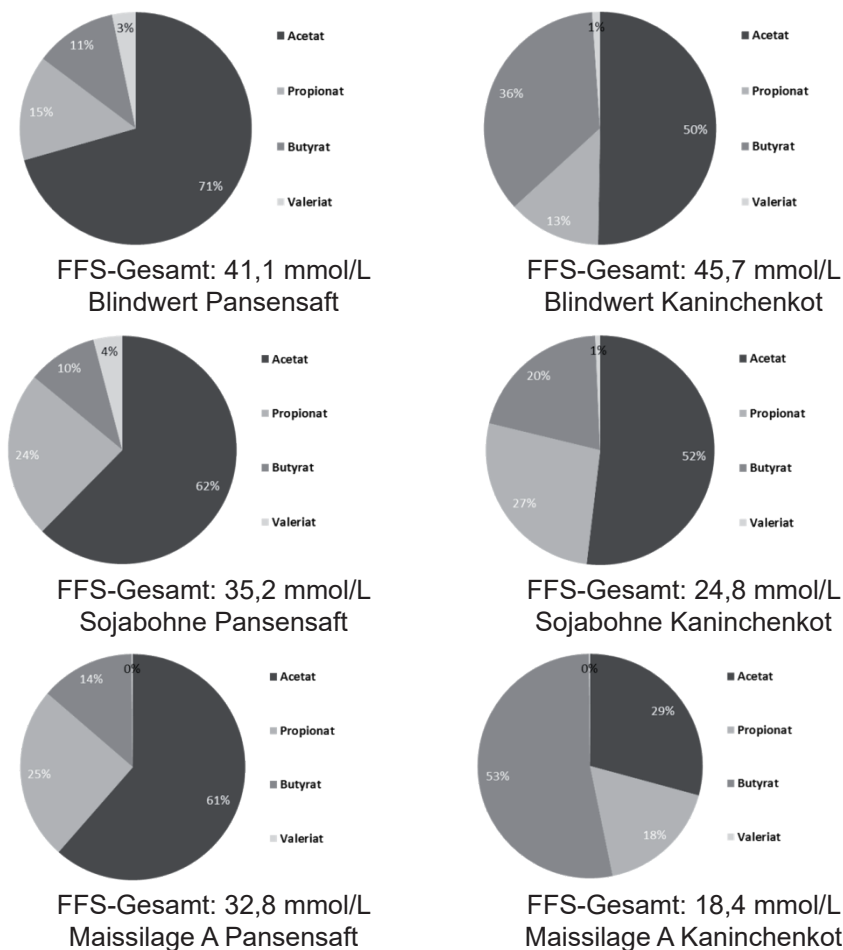


Abb. 2: Zusammensetzung der kurzkettigen Fettsäuren (FFS) beispielhaft für den Blindwert, eine Sojabohne und eine Maissilage. Zusätzlich ist der Gesamtgehalt (mmol/L) an FFS angegeben. (Bei Sojabohne und Maissilage ist der Blindwert abgezogen.)

Die höchsten relativen Anteile an C2 konnten mit PSI bei Lignozellulose (86 %) und mit KKI bei Dinkelspelzen (71 %) gemessen werden. Alle Futtermittel wiesen bei KKI geringere relative Anteile an C2 auf. Die höchsten relativen Anteile an C3 konnte bei PSI mit Hirsespelzen (31 %) und bei KKI mit Weizenkleie

(34 %) verzeichnet werden. Die Mehrzahl der Substrate (n=15) zeigte höhere C3-Anteile bei KKI als bei PSI. Die Futtermittel Körnermais, Hirsespelzen, Maissilage A, Maissilage B und Lignozellulose wiesen niedrigere Gehalte auf. Die höchsten relativen Anteile an C4 konnte mit PSI bei Körnermais (18 %) und bei KKI bei Maissilage A (53 %) gemessen werden. Mit Ausnahme von Weizenstroh, Dinkelspelzen, Hirsespelzen und Rapsextraktionsschrot waren die relativen Anteile von C4 bei KKI höher.

4 Diskussion

Bei dem Vergleich der Gasbildungsraten in PSI und KKI fällt auf, dass bei stärkereichen Futtermitteln kein Unterschied zwischen den beiden Inokula besteht. Aiple et al. (1992) stellten fest, dass im Vergleich zur ad-rektum Sammlung von bovinem und ovinem Kot die Sammlung vom Boden bei aeroben Bedingungen und Raumtemperatur zu einer schnelleren Reduktion der zellulolytischen Bakterien kommt, während die amylolytischen Bakterien eine langsamere Abnahme ihrer Aktivitäten zeigten. Ein weiterer Grund könnte in der Vorinkubation des Kaninchenkotes liegen. Das Anzuchtfutter kann mit 20 % Stärke in der TM als stärkereich angesehen werden, was das Wachstum der amylolytischen Mikroorganismen begünstigt haben dürfte. Zudem könnte das Fehlen von Protozoen im KKI zu schnellerem Stärkeabbau führen, was wiederum eine erhöhte Gasbildung zur Folge hätte. Bei faserreichen Substraten wurde durchgehend eine niedrigere Gasbildung beim Einsatz von KKI gemessen. Dies kann an der aeroben Lagerung des Kotes über Nacht liegen, welche die zellulolytischen Bakterien benachteiligt (Aiple et al., 1992).

Der Blindwert des KKI zeigt eine höhere Konzentration an FFS als das PSI (Abb. 3). Frischer Kaninchenkot enthält nach Bovera et al. (2006) eine FFS-Konzentration von 1,94 mMol/100 g, womit der FFS-Eintrag durch den Kot selbst als relativ gering anzusehen ist. Jedoch wurde in diesem Versuch der Kaninchenkot, um die mikrobielle Aktivität zu steigern, mit einem Anzuchtfutter etwa 20 h vorinkubiert. Eine mögliche Erklärung für die höheren FFS Werte ist, dass die bei der Vorinkubation gebildeten FFS akkumulieren und nicht wie bei den Fermentationsprozessen im Pansen durch Absorptionsprozesse reduziert werden.

5 Fazit

Die Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass es nicht pauschal möglich ist, PS als Inokulum im HFT durch KK zu ersetzen. Insbesondere bei faserreichen Futtermitteln bestehen hier teilweise erhebliche Abweichungen bei den Gaserträgen. Angesichts der guten Ergebnisse, im Hinblick auf die Residuen der linearen Regression des Vergleichs der Gasbildungen im HFT mit PSI bzw. KKI, könnte jedoch die Möglichkeit bestehen, die Gasbildung mit PSI mit Hilfe einer rechnerischen Korrektur aus der Gasbildung mit KKI zu ermitteln. Dazu müsste die Methode der Messung der Gasbildung mit KKI im HFT weiter verfeinert werden. Vergleiche des jeweiligen Mikrobioms könnten hierfür neue Ansatzpunkte liefern.

6 Literaturangaben

- Abecia, L., Fondevila, M., Balcells, J., Edwards, J. E., Newbold, C.J., McEwan, N.R., 2005: Molecular profiling of bacterial species in the rabbit caecum. *FEMS Microbiol. Lett.* 244, 111-115.
- Aiple, K.P., Steingass, H., Menke, K.H., 1992: Suitability of a buffered faecal suspension as the inoculum in the Hohenheim gas test. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 67, 57-66.
- Boulharouf, A., Fonty, G., Gouet P., 1991: Establishment, counts, and identification of the fibrolytic microflora in the digestive tract of rabbit. Influence of feed cellulose content. *Curr. Microbiol.* 22, 21-25.
- Can, A., Hummel, J., Mobashar, M., Boeser, U., Südekum, K.-H., 2009: Comparison of sheep ruminal fluid with sheep and horse faeces as inoculum for in vitro gas production measurements. *J. Appl. Anim. Res.*, 35, 143-148.
- Carabaño, R., Piquer, J., Menoyo, D., Badiola, I. 2010: The digestive system of the rabbit. In: de Blas, C., Wiseman, J., (Eds.), *Nutrition of the Rabbit* CAB Int., Wallingford, UK, 1-18.
- Mauricio, R.M., Owen, E., Mould, F.L., Givens, I., Theodorou, M.K., France, J., Davies, D.R., Dhanoa, M.S., 2001: Comparison of bovine rumen liquor and bovine faeces as inoculum for an in-vitro gas production technique for evaluating forages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 89, 33-48.

- Menke, K.H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., Schneider, W., 1979: The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *J. Agric. Sci.* 93, 217-222.
- Pandian, C.S., Reddy, T.J., Sivaiah, K., Blummel, M., Reddy, Y.R., 2016: Faecal matter as inoculum for in-vitro gas production technique. *Anim. Nutr. Feed Technol.* 16, 271-281.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2007: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Messunsicherheit bei NIRS-Messungen

P. Tillmann

VDLUFA Qualitätssicherung NIRS GmbH, Kassel

1 Einleitung

Die Messunsicherheit ist in der Analytik z. B. von unerwünschten Stoffen von zentraler Bedeutung für die Interpretation von Analyseergebnissen. Ferner wird eine Angabe dazu oft im Rahmen der Akkreditierung eines Labors gefordert. Eine einfache Übernahme der Berechnung der Messunsicherheit aus anderen Methoden ist für die NIRS-Analytik nicht möglich, da diese immer ein auf eine bestimmte Referenzmethode kalibriertes Verfahren ist.

2 Definition

Die Messunsicherheit versucht einzelnen Messwerten einen Vertrauensbereich zuzuordnen. Dieser Vertrauensbereich wird für die verwendete Messmethode und für einen Wertebereich bestimmt, er kann ggf. matrixbezogen sein. Grundlegend wird unterstellt, dass die Messunsicherheit aus den Komponenten Präzision (nicht-systematischer Anteil) und Richtigkeit (systematischer Anteil) besteht und stets der „wahre Wert“ die Zielgröße ist (z. B. durch Nutzung von zertifiziertem Referenzmaterial).

Standardmessunsicherheit: $U_c = \text{Wurzel}(U_{RW}^2 + U_b^2)$

erweiterte Messunsicherheit: $U_e = 2 * U_c$

(Faktor 2 für ein 95% Konfidenzintervall)

mit:

U_b = systematische Abweichung der Methode (Richtigkeit)

U_{RW} = zufällige Fehler der Methode (Präzision)

Exkurs: „Wahrer Wert“

Zum Verständnis der Messunsicherheit ist es wichtig, den „wahren Wert“ als Zielgröße zu erkennen. Der „wahre Wert“ ist ideeller Natur, das Ziel aller Messungen und in der Regel unbekannt (DIN 1995).

3 Bestimmung der Messunsicherheit

3.1 NIRS-Modelle und Validierung mit zertifiziertem Referenzmaterial

Bei Nutzung einer „Hausmethode“ schlägt der Leitfaden (EURACHEM 2004) verschiedene Möglichkeiten zur Überprüfung der Analysenqualität vor. Die Verwendung von zertifiziertem Referenzmaterial (7.7.4 in EURACHEM 2004) kann zur Bestimmung der Präzisionsdaten und des systematischen Fehlers genutzt werden.

Im Rahmen der NIRS-Analytik wird dieser Schritt (Bestimmung der Richtigkeit und Präzision) in der Validierung erfüllt. Die Kenndaten sind der S_{RMSEP} (Standardfehler der Vorhersage, gesamter Fehler) mit seinen Komponenten bias (systematischer Anteil) und S_{SEP} (zufälliger Anteil).

Standardmessunsicherheit: $U_c = S_{RMSEP}$

erweiterte Messunsicherheit: $U_e = 2 * S_{RMSEP}$

Voraussetzungen:

1. Datenerhebung für die Validierung über einen längeren Zeitraum
2. Die Validierung ist im eigenen Labor mit zertifiziertem Referenzmaterial durchzuführen.
3. Es sind - wie für die NIRS-Validierung gewöhnlich - mehrere Proben zu nehmen, um den S_{RMSEP} sowie die Komponenten bias und S_{SEP} absichern zu können.

3.2 NIRS-Modelle und Validierung mit einer Referenzmethode

Eine Alternative zur Bestimmung der Messunsicherheit ist die Überprüfung einer Hausmethode mit einer Referenzmethode (7.7.5 in EURACHEM 2004), um neben den Präzisionsdaten einen systematischen Fehler zu bestimmen.

Im Rahmen der NIRS-Analytik wird dieser Schritt (Bestimmung der Richtigkeit und Präzision) in der Validierung erfüllt. Die Kenndaten sind der S_{RMSEP} (Standardfehler der Vorhersage, gesamter Fehler) mit seinen Komponenten bias (systematischer Anteil) und S_{SEP} (zufälliger Anteil).

Standardmessunsicherheit: $U_c = S_{RMSEP}$

erweiterte Messunsicherheit: $U_e = 2 * S_{RMSEP}$

Dieser Berechnungsweg der Messunsicherheit aus dem S_{RMSEP} der Validierung wird auch in der Entwurfsfassung zur Überarbeitung der ISO 12099 vorgeschlagen (ISO 2015).

Voraussetzungen:

1. Datenerhebung für die Validierung über einen längeren Zeitraum
2. Die Validierung ist an eigenen Proben im eigenen Labor durchzuführen.
3. Es sind mindestens 10 Proben für die Validierung zu verwenden.

Die Richtigkeit der für die Berechnung des S_{RMSEP} genutzten Referenzmethode wird bei diesem Vorgehen unterstellt. Die Richtigkeit der Referenzmethode ($bias_{ref}$) ist mit zertifiziertem Referenzmaterial zu bestimmen. Sollte die Referenzmethode eine fehlende Richtigkeit aufweisen, ist dieses bei der Bestimmung des Standardmessunsicherheit zu berücksichtigen.

3.3 NIRS-Modelle mit zentraler Validierung und Ringversuchen

Ausgangspunkt ist die Feststellung (A6.5 in EURACHEM 2004), dass die Messunsicherheit für genormte, empirische Methoden aus der Vergleichbarkeit von laborübergreifenden Versuchen abgeleitet werden kann. Voraussetzung: Es sind keine anderen Fehlerquellen im Rahmen der „Ermittlung der Messunsicherheitskomponenten“ (Stufe 3 in EURACHEM 2004) gefunden worden und die laborinterne Wiederholbarkeit in dem Labor ist identisch mit der allgemeinen Wiederholbarkeit aus dem laborübergreifenden Versuch.

Standardmessunsicherheit: $U_c = s_R$

erweiterte Messunsicherheit: $U_e = 2 * s_R$,

mit

s_R = Vergleichsstandardabweichung aus Ringversuchsdaten
(z. B. nach ISO 5725)

Deckungsgleich auch in UBA 2008 und VDLUFA 2011.

Voraussetzungen:

1. keine weiteren bekannten Fehlerquellen
2. Die laborinterne Wiederholbarkeit ist identisch mit der im Ringversuch ermittelten Wiederholbarkeit..
3. erfolgreiche Teilnahme des Labors an dem Ringversuch
4. mind. 6 Ringversuchsproben

Die Richtigkeit der NIRS-Kalibrierung wird bei diesem Vorgehen unterstellt. Ist ein systematischer Fehler der NIRS-Kalibrierung bekannt, z. B. paralleler Ringversuch mit Referenzmethoden an den gleichen Proben, muss die Messunsicherheit diesen zusätzlich berücksichtigen.

3.4 Vorläufige Messunsicherheit unter idealen Wiederholbedingungen

Im Positionspapier der FG VI und VIII des VDLUFA (VDLUFA 2012) wird als Variante A vorgeschlagen, die erweiterte Messunsicherheit aus der Wiederholbarkeit einer Messmethode abzuschätzen.

Standardmessunsicherheit: $U_c = s_r$

erweiterte Messunsicherheit: $U_e = 4 * s_r$,

m i t

s_r = Wiederholstandardabweichung

Die Bestimmung der Wiederholstandardabweichung wird wie gewohnt unter idealen Wiederholbedingungen durchgeführt: mit identischer Methode und Apparatur, in einem kurzen Zeitraum, von einer Person und an einer Probe. Es wird unterstellt, dass idealerweise die Wiederholbarkeit halb so groß wie die Vergleichbarkeit ist (Seite 6 in VDLUFA, 2012).

Bei diesem Ansatz bleibt die Richtigkeit der Methode vollends unberücksichtigt. Die so ermittelte Messunsicherheit soll folgerichtig als „vorläufige Messunsicherheit“ bezeichnet werden.

3.5 Vorläufige Messunsicherheit unter nicht-idealen Wiederholbedingungen

Im Positionspapier der FG VI und VIII des VDLUFA (VDLUFA, 2012) wird als Variante B vorgeschlagen, die erweiterte Messunsicherheit aus der Wiederholbarkeit einer Messmethode ohne ideale Wiederholbedingungen abzuschätzen.

Standardmessunsicherheit: $U_c = s_r$

erweiterte Messunsicherheit: $U_e = 2 * s_r$,

mit

s_r = Wiederholstandardabweichung

Die Bestimmung der hier genutzten Wiederholstandardabweichung wird wie folgt durchgeführt: mit identischer Methode und Apparatur, über einen langen Zeitraum, von unterschiedlichen Personen, an einer Probe. Es wird unterstellt, dass die so bestimmte Wiederholbarkeit sich der Vergleichbarkeit annähert (Seite 6 in VDLUFA, 2012).

Bei diesem Ansatz bleibt die Richtigkeit der Methode vollends unberücksichtigt. Auch die so ermittelte Messunsicherheit soll folgerichtig als „vorläufige Messunsicherheit“ bezeichnet werden.

4 Literaturangaben

DIN, 1995: DIN 1319: „Grundlagen der Messtechnik“, Beuth-Verlag.

EURACHEM, 2004: CITAC Leitfaden „Ermittlung der Messunsicherheit bei analytischen Messungen“. (Feb. 2004).

ISO, 2015: ISO DIN 12099: Animal feeding stuffs, cereals and milled cereal products — Guidelines for the application of near infrared spectrometry. Working draft, vom 2015-03-12. Beuth-Verlag.

Umweltbundesamt, 2008: Angabe der Messunsicherheit bei chemischen Bodenuntersuchungen für den Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlasten-Verordnung.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2011: Methode E 5 Ermittlung der Messunsicherheit. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 6. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Position der Fachgruppen VI und VIII des VDLUFA zur Angabe der Messunsicherheit und Wiederfindungsrate gemäß VO (EG) Nr. 152/2009. Stand 2012-05-10.

5 Anmerkung

Die Notation für die Fehlergrößen und -komponenten in diesem Dokument ist an ISO 12099 (ISO 2015) angelehnt.

Dieser Beitrag ist eine Kurzfassung des Positionspapiers der FG VI im VDLUFA. Der Volltext samt Beispielsrechnungen kann auf der Homepage des VDLUFA eingesehen werden.

ArDB: Eine innovative Datenbank für Analyseergebnisse und Datenvisualisierung

F. Alt¹, S. Barker², K. Taylor², M. Sudnik², M. Seed²

¹Elementar Analysensysteme GmbH, Langenselbold, ²Elementar UK Ltd., Manchester

Für jede Boden- oder Wasserprobe gibt es viele Parameter, die die gemessenen Analyseergebnisse beeinflussen. Zum Beispiel: die geographische Lage, die Bodentiefe, der Abstand zu potenziellen Verschmutzungsquellen, Düngung, Jahreszeiten, Probenlagerung, usw. Diese Parameter werden allgemein als Metadaten bezeichnet. Mit ArDB können Ihre Analyseergebnisse unter Berücksichtigung all dieser Metadaten ausgewertet werden und somit direkt der Einfluss von beispielsweise Landnutzung oder Witterung auf Ökosystemprozesse abgeleitet werden. Die Analyseergebnisse können auf verschiedene Art und Weise visualisiert werden. Anbei zwei Beispiele: in lokalem und zeitlichem Verlauf (Abb. 1) und global (Abb. 2) ohne zeitlichen Verlauf.

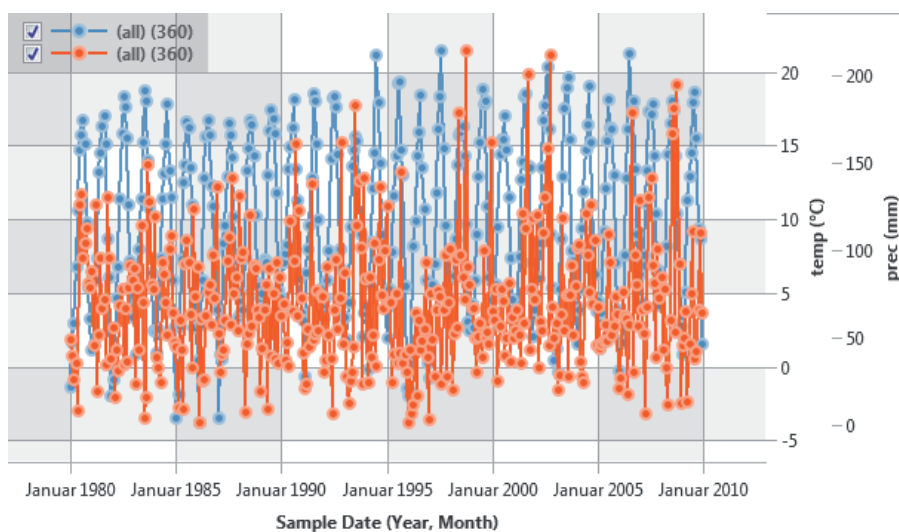


Abb. 1: Temperatur und Niederschläge lokal im zeitlichen Verlauf (als Datenbasis dient im Beispiel das Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) database der IAEA, Wien).

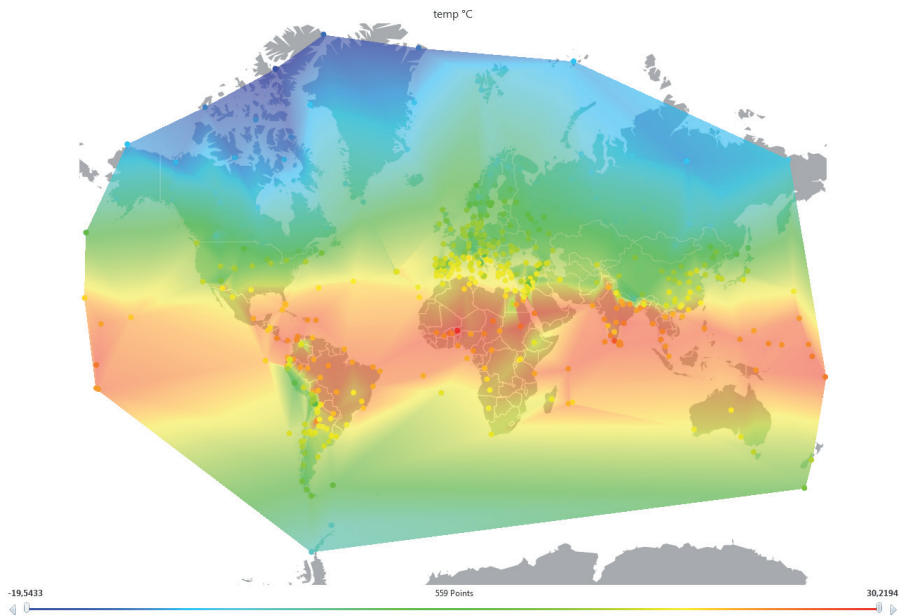


Abb. 2: Temperaturen in der globalen Übersicht (als Datenbasis dient im Beispiel das Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) database der IAEA, Wien).

ArDB steht für Analytical Results Database und ist ein völlig neues Softwareprodukt, das eine Datenanalyse über die einfache Datenverarbeitung hinaus möglich macht. Mit **ArDB** bietet Elementar Analysensysteme GmbH neue, leistungsstarke Messergebnisverwaltungs- und Analysentools vereint in einer Software. Alle wichtigen statistischen Auswertungen, wie zum Beispiel die Hauptkomponentenanalyse (PCA) oder die Diskriminanzanalyse (LDA) sind standardmäßig integriert. Weitere statistische Auswertungen können durch die Integration der Statistiksoftware „R“ einfach zugefügt werden. **ArDB** ermöglicht es Muster innerhalb der erhobenen Daten zu erkennen, eine Bewertung von Korrelationen zwischen unbekanntem und bekannten Proben vorzunehmen oder alle gesammelten Daten mit Karten und Diagrammen zu visualisieren (d. h. **ArDB** kann als Geographisches Informationssystem (GIS) verwendet werden) (Abb. 3, Abb. 4).



Abb. 3: Nutzung von ArDB als Geographisches Informationssystem



Abb. 4: Nutzung von ArDB als Geographisches Informationssystem

Mit all seinen Funktionen kann **ArDB** von der Planung und Koordination der Probenahme, über die Verwaltung der Messergebnisse bis hin zur endgültigen Datenanalyse und -veröffentlichung verwendet werden und garantiert somit die Qualitätssicherung über all diese Prozesse.

Bestimmung von Nitrat, Ammonium und Kalium im Pflanzensaft von Baumschulgehölzen mit Schnelltestmethoden

M.-L. Schachtschneider¹, D. Daum¹, S. Dinklage¹, H. Lösing²

¹Hochschule Osnabrück, ²Versuchs und Beratungsring für Baumschulen Schleswig-Holstein e.V.

1 Einleitung

Die Pflanzenanalyse ist ein etabliertes Verfahren zur Kontrolle des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen. Jegliche Umwelteinflüsse, die für die Nährstoffaufnahme relevant sind, finden hier Berücksichtigung. Bei der klassischen Vorgehensweise werden die Nährelementgehalte in Blättern nach Trocknung und Aufschluss der Pflanzensubstanz mit Hilfe von Laborverfahren bestimmt (Breuer et al., 2003). Als Alternative zu den relativ zeitaufwendigen und teuren Laboranalysen kommen Schnelltests in Betracht, bei denen die Inhaltsstoffe von Pflanzensäften mit speziellen Teststäbchen und/oder tragbaren Messgeräten direkt im Feld ermittelt werden können.

Ziel der im folgenden vorgestellten Untersuchungen war es, die Eignung von verschiedenen Schnelltestmethoden zur Bestimmung von Nitrat, Ammonium und Kalium im Pflanzenpresssaft der Blätter von Gehölzen zu prüfen. Die Untersuchungen erfolgten hierbei an einer Laubgehölzart (*Carpinus betulus*) und einer Koniferenart (*Abies nordmanniana*). In Kooperation mit dem Versuchs- und Beratungsring für Baumschulen in Schleswig-Holstein wurden diese Untersuchungen im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Hochschule Osnabrück durchgeführt.

2 Material und Methoden

In die Untersuchungen wurden neun Schnelltestverfahren einbezogen, die zur Bestimmung stickstoffhaltiger Verbindungen (Nitrat, Ammonium, Chlorophyll) bzw. von Kalium erhältlich sind. Beide Nährelemente haben einen besonders starken Einfluss auf das Wachstum von Baumschulgehölzen im Kreis Pinneberg, dem Arbeitsgebiet des Versuchs- und Beratungsrings. Die geprüften Schnelltestverfahren unterscheiden sich zudem in ihrer Funktionsweise.

Die Horiba LAQUAtwin Nitrat- und Kaliumelektroden arbeiten mit einer ionenselektiven Elektrode. Teststäbchen zur reflektometrischen sowie visuellen Auswertung fanden ebenfalls Anwendung. Die Verfärbung der Teststäbchen beruht dabei auf einer chemischen Reaktion mit dem jeweiligen Nährstoff. Das Reflektometer RQflex®10 plus eignet sich hierbei für die Bestimmung von Nitrat, Ammonium und Kalium im Pflanzensaft. Ebenfalls reflektometrisch wertet Nit-rachek die Nitratteststäbchen aus. Die Quantofix-Teststäbchen für Ammonium und Kalium werden hingegen visuell vom Anwender ausgewertet. Neben der Analyse von Nährstofffraktionen wurde auch ein zerstörungsfreies Verfahren eingesetzt. Das SPAD-Meter beruht auf der indirekten Messung des Chlorophyll-Gehaltes.

Die Eignung der Schnelltestverfahren für die Pflanzenanalyse wurde in vier Evaluierungsschritten geprüft. Zunächst wurde die Messgenauigkeit der Testverfahren mittels Standardlösungen ermittelt. Dafür wurden definierte Konzentrationen in wässrigen Lösungen angesetzt. Anschließend wurden aus den Blättern bzw. Nadeln gewonnene Pflanzensäfte untersucht und die Ergebnisse mit analytischen Referenzmethoden (Ionenchromatographie, Flammenphotometrie) verglichen. Zusätzlich wurde der Matrixeinfluss der Pflanzensäfte anhand des Standardadditionsverfahrens erfasst. Der Einfluss des Nährstoffangebotes im Boden auf die Nährstoffgehalte im Pflanzenpresssaft wurde im Rahmen eines Felddüngungsversuches mit Hainbuchen untersucht. Dafür wurden gedüngte und ungedüngte Parzellen auf einem nährstoffarmen Standort angelegt.



Abb. 1: Ablauf der Saftgewinnung aus Tannennadeln (A: Nadeln vor dem Mixen; B: Nadeln nach dem Mixen; C: Saftgewinnung aus der Knoblauchpresse; D: gepresster Saft der Tanne)

Für die Gewinnung des Pflanzensaftes wurden die Blätter bzw. Nadeln vom Holz getrennt. Dafür wurde die Probenahme der Blätter standardisiert. Während

bei der Hainbuche wurde das erste vollentwickelte Blattpaar verwendet wurde, wurde bei der Nordmannstanne sowohl der Vorjahresaustrieb als auch der Neuaustrieb untersucht. Dieses Vorgehen hat den Hintergrund, dass die Nordmannstanne den Großteil ihres Wachstumes zu Beginn der Vegetationsperiode zeigt. Im nächsten Schritt wurde das Material zerkleinert mit einem Mixer sowie mit einer Knoblauchpresse ausgedrückt. Der Ablauf der Saftgewinnung für die Nordmannstanne ist in Abb. 1 dargestellt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Nitratkonzentration in Standardlösungen konnte mittels Nitrachek (Abb. 2) und RQflex®10 plus sehr präzise bestimmt werden. Die weiteren Schnelltestmethoden haben die Gehalte in den Standardlösungen teilweise systematisch unterschätzt (Ergebnisse nicht dargestellt).

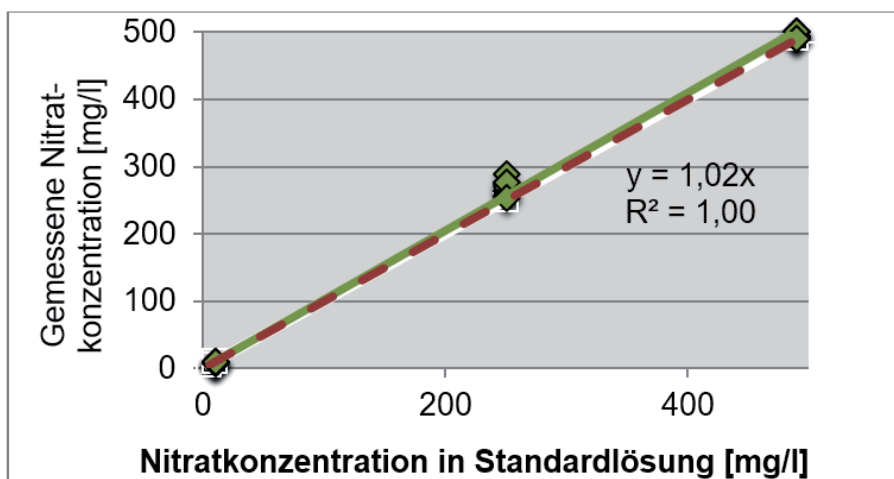


Abb.2: Genauigkeit der Nitratbestimmung in Standardlösungen mittels reflektometrischer Auswertung von Nitratsteststäbchen mit Nitrachek, Winkelhalbierende ist als gestrichelte Linie dargestellt.

Der Nitratgehalt konnte im Saft von Hainbuchenblättern sowie neuausgetriebenen Tannennadeln reproduzierbar und genau mittels Nitratsteststäbchen in Kombination mit einer reflektometrischen Auswertung (Nitrachek, RQflex®10 plus) bestimmt werden (Abb. 3). In Nadeln der Vorjahrestriebe (Probenahme Anfang Mai) kam es hingegen matrixbedingt zu einer deutlichen Unterschät-

zung der Nitratgehalte. Messungen mit einer Nitratelektrode (NO_3^- LAQUAtwin) erwiesen sich bei der Untersuchung von Pflanzensäften teilweise als störanfällig, besonders wieder bei der Konifere (Abb. 3). Ursächlich hierfür waren vermutlich die hohen Gehalte an Harzen und anderen organischen Stoffen im Presssaft der Nadeln.

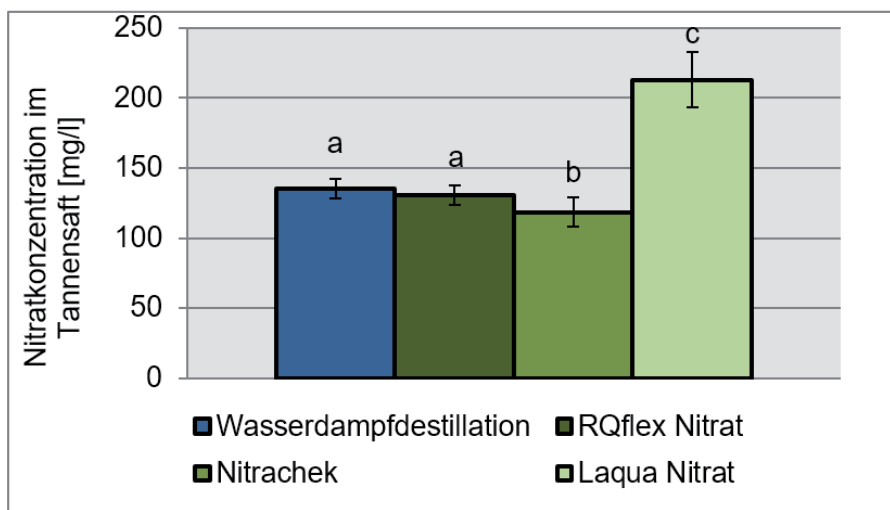


Abb.3: Gemessene Nitratkonzentrationen mit Schnelltestverfahren und Referenzverfahren (blaue Säule) in neu ausgetriebenen Tannennadeln (Mann-Whitney-U-Test; $\alpha=0,05$)

Zur Bestimmung des Kaliumgehaltes war die geprüfte ionenselektive Elektrode (K^+ LAQUAtwin) für Laub- und Nadelblätter gleichermaßen gut geeignet. Die Ammoniumgehalte in den Pflanzenpresssäften waren durchweg sehr niedrig und konnten mit den verwendeten Teststäbchen auch unter Hinzunahme eines Reflektometers nicht hinreichend genau quantifiziert werden (Ergebnisse nicht dargestellt).

Für den Düngungsversuch wurde die Nordmannstanne aufgrund der Laborergebnisse von weiteren Untersuchungen ausgeschlossen. Im Düngungsversuch mit der Hainbuche spiegelten sich die unterschiedlichen Düngeneiveaus bezüglich des Pflanzenwachstumes deutlich wider. Äußerlich zeigten die Pflanzen der ungedüngten Variante bereits einen eingeschränkten Zuwachs. Ebenso konnte ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Düngestufen bezüglich der Nitratkonzentration im Buchensaft sowie dem Nitratangebot des

Bodens festgestellt werden. Im Pflanzensaft der gedüngten Parzelle war zu Beginn des Versuches eine doppelt so hohe Konzentration an Nitrat pro Liter Pflanzensaft als in der ungedüngten Parzelle zu messen (Abb. 4 und 5).

Mit zunehmender Versuchsdauer sank der Nitratgehalt in der durchwurzelten Bodenschicht stetig. Parallel hierzu fiel die Nitratkonzentration im Pflanzensaft. Beide Parameter korrelierten sehr eng ($R^2 = 0,91$). Die Zusammenhänge zwischen dem Stickstoffgehalt in der Trockenmasse (dem herkömmlichen Verfahren zur Pflanzenanalyse) und dem N_{\min} -Gehalt des Bodens war deutlich schwächer ausgeprägt ($R^2 = 0,49$). Offensichtlich ist also die Pflanzensaftanalyse zur Beurteilung der Stickstoffversorgung der Hainbuche besser geeignet.

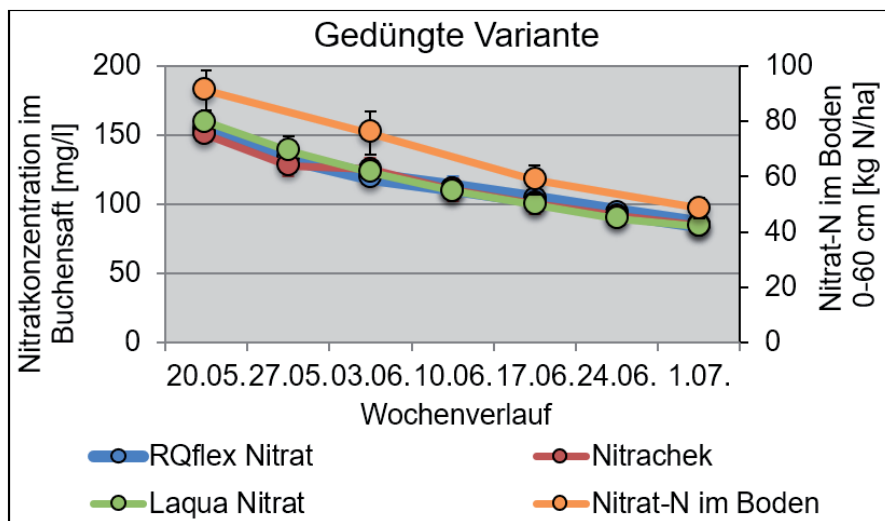


Abb. 4: Verlauf der Nitratkonzentration im Hainuchensaft und im Boden der gedüngten Variante; Fehlerbalken = Standardabweichung ($n=4$)

Die nicht-destruktive Messung der Blattgrünfärbung mit dem SPAD-Meter zeigte zwar Unterschiede in den Dünge­stufen, spiegelt aber die Veränderung des mineralischen Stickstoff­gehaltes im Boden während des Versuches kaum wider. Eine zuverlässige Aussage über die Stickstoffdüngedürftigkeit der Kultur ist mit diesem Verfahren demnach nicht möglich. Der im Hainbuchensaft bestimmte Kalium­gehalt reagierte empfindlicher auf das Kaliumangebot des Bodens als der Kalium­gehalt in der Blatttrockenmasse. Ammonium zeigte hingegen keine Reaktion auf die unterschiedlichen Dünge­stufen im

Verlauf der Messungen. Zudem waren die Konzentrationen an Ammonium im Pflanzensaft sehr gering, sodass eine Bestimmung von Ammonium vernachlässigt werden kann (Ergebnisse nicht dargestellt).

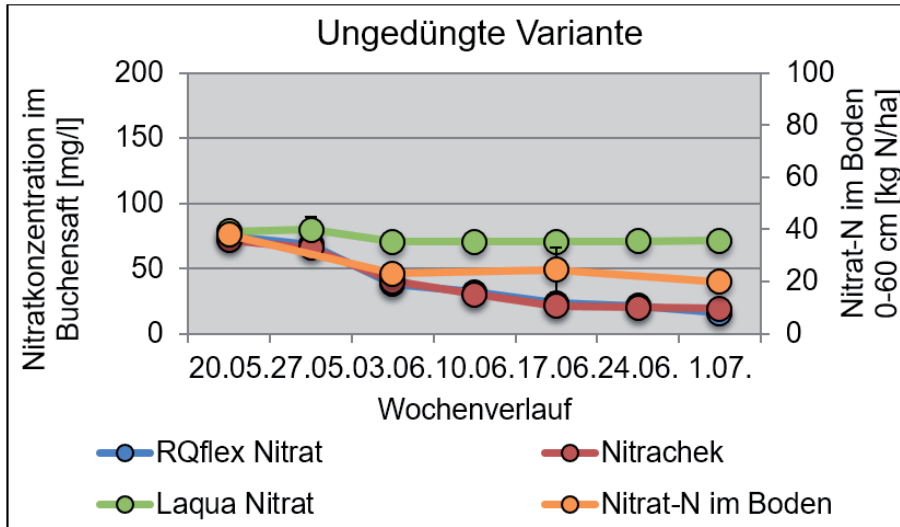


Abb. 5: Verlauf der Nitratkonzentration im Hainbuchsensaft und im Boden der ungedüngten Variante; Fehlerbalken = Standardabweichung (n=4)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Vier unterschiedliche Methoden zur Nährstoffbestimmung in Blättern von Baumschulgehölzen wurden evaluiert. Die Arbeiten im Labor dienten vor allem zur Überprüfung der Messgenauigkeit der Schnelltestverfahren. Dabei waren Unterschiede zwischen den beiden einbezogenen Baumarten festzustellen. Die Nordmannstanne erwies sich aufgrund der Harze im Pflanzensaft als schwierig. Der letzte Versuchsteil umfasste einen Felddüngeversuch, in dem der Einfluss einer differenzierten Bodendüngung auf die Gehalte der Nährstoffe im Pflanzensaft geprüft wurden. Sowohl die Nitrat- als auch die Kaliumkonzentration im Pflanzensaft zeigten Unterschiede zwischen den beiden Düngegraden auf. Dabei war ein enger linearer Zusammenhang zwischen der Konzentration im Pflanzensaft und dem Gehalt im Boden zu erkennen. Hingegen war die Ammoniumkonzentration im Pflanzensaft keinem klaren Verlauf zuzuordnen. Im Laufe des Feldversuches fand zusätzlich das SPAD-Meter für

die indirekte Messung des Chlorophyllgehaltes Verwendung. Erkennbar waren Unterschiede zwischen den zwei Düngestufen, jedoch zeichnete sich hier kein Zusammenhang zwischen den Messwerten des SPAD-Meters und dem Nitratgehalt im Boden ab. Somit wäre es nicht möglich, die Stickstoffversorgung der Kultur mit diesem Verfahren zuverlässig zu beurteilen.

Im Rahmen von weitergehenden Untersuchungen ist geplant, Referenzwerte für ausreichende Nitrat- und Kaliumgehalte im Pflanzenpresssaft von ausgewählten Baumschulgehölzen über den gesamten Kulturverlauf zu ermitteln. Nadelgehölze werden aufgrund der aufgezeigten Schwierigkeiten bei der Messung im weiteren Verlauf nicht berücksichtigt. Ausgewählt wurden für diese Versuchsreihe erneut die Hainbuche sowie die Rispenhortensie, da beide Pflanzenarten von großer Bedeutung in der Baumschulwirtschaft sind.

5 Literaturangaben

Breuer, J., König, V., Merkel, D., Ofs, H.-W., Steingrobe, B., Stimpfl, E., Wissemeyer, A. H., Zorn, W., 2003: Die Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen – Anwendung in Landwirtschaft, Gemüse- und Obstbau. Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme.

Bestimmung von Chlorid, Nitrat und Sulfat in pflanzlichem Material mittels Ionenchromatographie

K. Michels¹, A. Bauherr²

¹Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Karlsruhe,

²Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG)

1 Einleitung

Die Methode 2.2.2.2 VDLUFA 2018, Methodenbuch VII wurde in zwei Ringuntersuchungen (RU)–RU 163-2015 M (Heu, Grünmehl und Geflügelfutter) RU 167-2016 M (Tabak und Sellerie) durch den Arbeitskreis Anorganik revalidiert. Die Revalidierung sollte sich auch auf die Analyten Chlorid, Sulfat und Phosphat erstrecken.

2 Ergebnisse und Diskussion

Die Methode MB VII 2.2.2.2 zur Bestimmung von Nitrat in pflanzlichem Material mittels Ionenchromatographie wurde im Rahmen der regelmäßigen Methodenüberprüfung durch den Arbeitskreis Anorganik der FG VIII kritisch beleuchtet und die Durchführung einer Ringuntersuchung zum Erhalt aktueller Validierungsdaten beschlossen. Zusätzlich zur Revalidierung sollte das Validierungsverfahren auch auf die Analyte Chlorid, Sulfat und Phosphat erweitert werden.

An der ersten RU beteiligten sich nur 7 Teilnehmer, weshalb eine zweite Ringuntersuchung durchgeführt wurde, an der 9 Institute teilnahmen. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Die Reinigung der Probenextrakte erfolgte entweder mittels der Fällung von Carrez-Reagenzien oder alternativ durch die Reinigung an C18-Kartuschen. Für die Detektion wurden sowohl Leitfähigkeits- als auch UV-Detektoren eingesetzt. Zur Bestimmung von Chlorid, Sulfat und Phosphat ist die Leitfähigkeitsdetektion unerlässlich, wobei gerade für die Erfassung von Nitrat die UV-Detektion wertvolle Dienste leisten kann. Abbildung 1 und 2 zeigen Chromatogramme mit beiden Detektions- und Reinigungsverfahren.

Tab. 1: Ergebnisse der RU 163-M 2015 und 167-2017 M

Matrix	Analyt	Teilnehmer	MW [mg/kg]	V_r [%]	V_R [%]
Heu	Chlorid	6	6871	0,86	7,95
	Nitrat*)	7			
	Sulfat	6			
Grünmehl	Chlorid	6	3451	1,04	7,95
	Nitrat	7	263	3,27	
	Sulfat	6	2865	1,04	12
Geflügelfutter	Chlorid	6	2455	1,71	7,95
	Nitrat*)	7			
	Sulfat	6			
Tabak 1	Chlorid	9	2005	3,9	8,5
	Nitrat	9	552	3,4	11,7
	Sulfat	9	8593	1,6	21,3
Tabak 2	Chlorid	9	2019	2,7	7,1
	Nitrat	9	553	3,7	10,1
	Sulfat	9	8535	1,4	24,7
Sellerie	Chlorid	9	2006	1,3	10
	Nitrat	9	4143	1,4	4,8
	Sulfat	9	723	8,3	51,1

*) zu wenig numerische Einzelwerte, keine Auswertung möglich

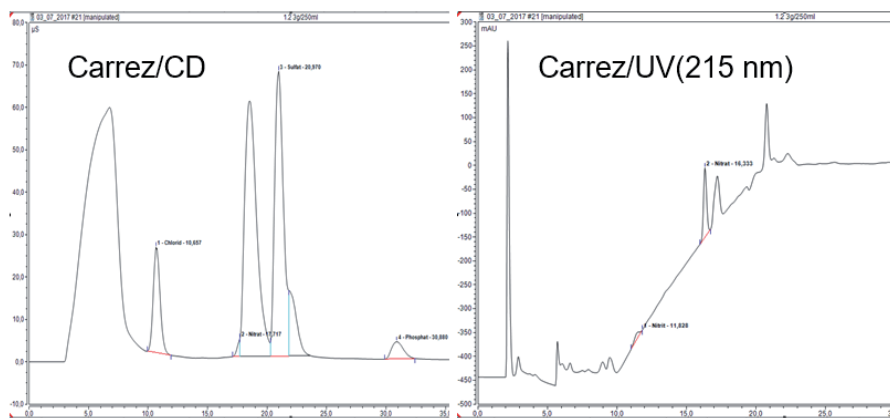


Abb. 1: Chromatogramm einer Tabakprobe (UV= Ultraviolett- CD = Leitfähigkeitsdetektion, Carrez = Fällung mit Carrezreagenzien, IC-Säule AS11-HC, KOH-Konzentrationsgradient)

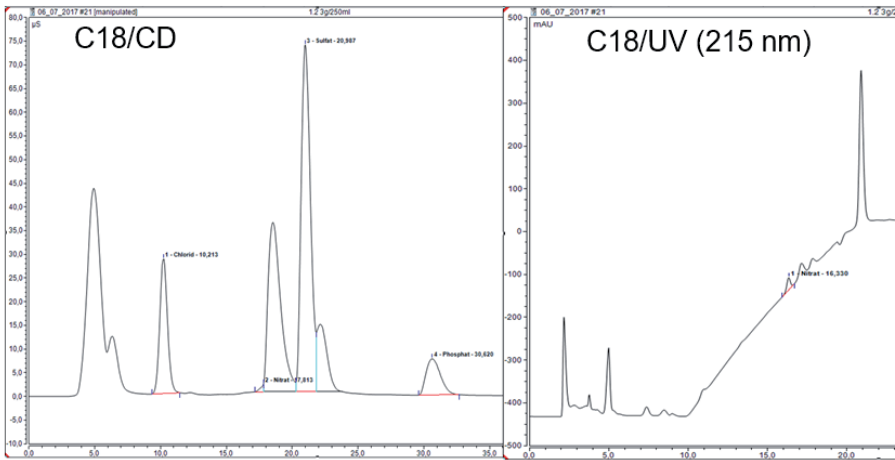


Abb. 2: Chromatogramm einer Tabakprobe (UV=Ultraviolett-CD = Leitfähigkeitsdetektion, C18=Reinigung an C18-Kartuschen, IC-Säule AS11-HC, KOH-Konzentrationsgradient

Auf Grund der unbefriedigenden Situation stark schwankender Ergebnisse, vor allem bei den Analyten Phosphat und Sulfat im Rahmen der Ringuntersuchungen sowie die Rückmeldung eines RU-Teilnehmers über den festgestellten Verlust an Phosphat bei Anwendung der Carrez-Fällung, wurden im Anschluss an die beiden Ringuntersuchungen am LTZ Augustenberg ein Vergleich der Carrez-Fällung mit der C18-Reinigung durchgeführt. Parallel dazu ging eine umfassende Nachfrage über die analytischen Bedingungen an die RU-Teilnehmer, die Auswertung dieser Umfrage erfolgte durch das LTZ.

An den verwendeten Proben kann der Phosphatverlust durch die Nachuntersuchung zwar nicht eindeutig bestätigt werden, die Ausfällung von Phosphat bei Einsatz von Carrez-Lösungen kann aber nicht ausgeschlossen werden.

In den Tabellen 3 und 4 sind die Ergebnisse aller RU-Teilnehmer für Sulfat und Phosphat sowie die verwendeten Chromatographiesysteme aufgelistet. Neben den hauptsächlich am Markt angebotenen Anionentrennsäulen setzten die RU-Teilnehmer Carbonatpufferlösungen oder verdünnte Kalilauge (KOH) als Eluenten ein.

Tab. 2: LTZ-Vergleich der Carrez-Fällung mit der C18-Reinigung

Labor	RU-Probe	RU-Mittelwert	Carrez/IC	C18/IC
Chlorid	167-1		1969	2229
	167-1		1959	2246
	167-1		2001	2295
	Mittelwert	2005	1976	2257
	167-3		2966	2278
	167-3		3002	2345
	167-3		2789	2276
	Mittelwert	2006	2919	2300
Sulfat	167-1		8849	9499
	167-1		8753	9641
	167-1		8560	9059
	Mittelwert	8593	8721	9400
	167-3		787	813
	167-3		773	1153
	167-3		268	884
	Mittelwert	724	609	950
Phosphat	167-1		1713	3470
	167-1		1758	3432
	167-1		1686	3123
	Mittelwert	2918	1719	3342
	167-3		7785	6949
	167-3		5931	6541
	167-3		5802	7176
	Mittelwert	10010	6506	6889

Tab.3: Sulfatergebnisse und verwendete Chromatographiesysteme

Labor	Probe	Labor-MW	Trennsäule	Eluent	IC-Gerät
1	167-1	8413	AS19	KOH	ICS 5000
2	167-1	11 308	AS11-HC	KOH	ICS 5000
3	167-1	6512	AS22	Carbonat	ICS 2500
4	167-1	21 234	MA Supp5	Carbonat	M 881
5	167-1	8996	AG14/AS14	Carbonat	DX 100
6	167-1	23 872	MA Supp5	Carbonat	Metrohm
7	167-1	8349	MA Supp7	Carbonat	M 881
8	167-1	8488	AS14A	Carbonat	ICS-1100
9	167-1	8086	AS11-HC	Carbonat	ICS-2100
1	167-2	8301	AS19	KOH	ICS 5000
2	167-2	11 130	AS11-HC	KOH	ICS 5000
3	167-2	6630	AS22	Carbonat	ICS 2500
4	167-2	21 018	MA Supp5	Carbonat	M 881
5	167-2	8977	AG14/AS14	Carbonat	DX 100
6	167-2	22 787	MA Supp5	Carbonat	Metrohm
7	167-2	8268	MA Supp7	Carbonat	M 881
8	167-2	8447	AS14A	Carbonat	ICS-1100
9	167-2	7989	AS11-HC	Carbonat	ICS-2100
1	167-3	589	AS19	KOH	ICS 5000
2	167-3	1880	AS11-HC	KOH	ICS 5000
3	167-3	599	AS22	Carbonat	ICS 2500
4	167-3	9281	MA Supp5	Carbonat	M 881
5	167-3	943	AG14/AS14	Carbonat	DX 100
6	167-3	8542	MA Supp5	Carbonat	Metrohm
7	167-3	662	MA Supp7	Carbonat	M 881
8	167-3	545	AS14A	Carbonat	ICS-1100
9	167-3	496	AS11-HC	Carbonat	ICS-2100

Tab. 4: Phosphatergebnisse und verwendete Chromatographiesysteme

Labor	Probe	Labor-MW	Trennsäule	Eluent	IC-Gerät
1	167-1	1376	AS19	KOH	ICS5000
2	167-1	2049	AS11-HC	KOH	ICS5000
3	167-1	3201	AS22	Carbonat	ICS2500
4	167-1	3769	MASupp5	Carbonat	M881
5	167-1	37854	AG14/AS14	Carbonat	DX100
6	167-1	3941	MASupp5	Carbonat	Metrohm
7	167-1	3327	MASupp7	Carbonat	M881
8	167-1	33119	AS14A	Carbonat	ICS-1100
9	167-1	2760	AS11-HC	Carbonat	ICS-2100
1	167-2	1475	AS19	KOH	ICS5000
2	167-2	2066	AS11-HC	KOH	ICS5000
3	167-2	3319	AS22	Carbonat	ICS2500
4	167-2	3746	MASupp5	Carbonat	M881
5	167-2	37712	AG14/AS14	Carbonat	DX100
6	167-2	3990	MASupp5	Carbonat	Metrohm
7	167-2	3473	MASupp7	Carbonat	M881
8	167-2	32967	AS14A	Carbonat	ICS-1100
9	167-2	2819	AS11-HC	Carbonat	ICS-2100
1	167-3	4506	AS19	KOH	ICS5000
2	167-3	6982	AS11-HC	KOH	ICS5000
3	167-3	11925	AS22	Carbonat	ICS2500
4	167-3	8949	MASupp5	Carbonat	M881
5	167-3	26052	AG14/AS14	Carbonat	DX100
6	167-3	9740	MASupp5	Carbonat	Metrohm
7	167-3	978	MASupp7	Carbonat	M881
8	167-3	28241	AS14A	Carbonat	ICS-1100
9	167-3	8173	AS11-HC	Carbonat	ICS-2100

Auffällig sind die Sulfatwerte der Laboratorien 4 und 6. Sie weichen systematisch mit nahezu identischer Größenordnung von den Mittelwerten der anderen RU-Teilnehmer ab. Beide Laboratorien verwenden sowohl die gleiche IC-Säule als auch den gleichen Eluenten. Je nach verwendetem Chromatographiesystem kann es bei Sulfat zu Überlagerungen mit Matrixpeaks kommen und es werden deutlich höhere Sulfatgehalte vorgetäuscht. Der Anwender der Methode muss die ausreichende Trennleistung seines Systems verifizieren, dann ist die Methode auch zur Sulfatbestimmung einsetzbar

In Tabelle 4 fallen die Phosphatwerte der Laboratorien 5 und 8 auf. Auch diese weichen systematisch mit nahezu identischer Größenordnung von den Mittelwerten der anderen RU-Teilnehmer ab. Beide Laboratorien verwenden sowohl die gleiche IC-Säule als auch den gleichen Eluenten. Wegen äußerst schlechter Variationskoeffizienten der RU-Ergebnisse für den Analyten Phosphat, wurde vom Arbeitskreis Anorganik der FG VIII befunden, dass die Untersuchungsmethode für die Bestimmung von Phosphat nicht geeignet ist.

Labor 4 war bereit, gemeinsam mit dem LTZ die Proben nach Druckaufschluss mit Salpetersäure und ICPOES-Messung auf die P- und S-Gehalte zu prüfen. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist Tabelle 5 zu entnehmen.

Aus den Elementgehalten wurden durch Verrechnung mit den Faktoren 3,066 bzw. 2,996 theoretische Gehalte an Phosphat und Sulfat ermittelt. Die errechneten Gehalte liegen zum Teil deutlich über den Mittelwerten der Ringuntersuchung. Sie geben aber trotzdem eine Hilfestellung beim Vergleich mit den Messergebnissen der Ionenchromatographie. Diese dürfen keinesfalls größer sein als die aus quantitativen Elementgehalten errechneten Werte. Andernfalls werden wohl Matrixbestandteile zusammen mit dem Analyten eluiert. Im Zusammenspiel mit der sehr unspezifischen Leitfähigkeitsdetektion können deshalb extrem abweichende Befunde nicht ausgeschlossen werden.

Tab. 5: Ermittlung der Elementgehalte (ICPOES nach Druckaufschluss mit Salpetersäure)

Labor	RU-Probe	P	Phosphat	S	Sulfat
4	167-1	1765	5412	3597	10777
LTZ	167-1	1740	5335	4035	12089
LTZ	167-1	1760	5396	4055	12149
LTZ	167-1	1740	5335	4023	12053
LTZ	167-2	1740	5335	4028	12068
LTZ	167-2	1740	5335	4054	12146
LTZ	167-2	1775	5442	4059	12161
4	167-2	1777	5449	3854	11547
4	167-2	1755	5381	3481	10430
LTZ	167-3	4799	14714	1073	3215
LTZ	167-3	4813	14757	1087	3257
LTZ	167-3	4787	14677	1084	3248
4	167-3	4863	14911	1049	3143
4	167-3	4609	14132	888	2661

3 Zusammenfassung

Je nach verwendetem Chromatographiesystem kann der Sulfatpeak mit Matrixpeaks überlagert werden. Die Methode ist nicht zur Bestimmung von Phosphat geeignet, da der Phosphatpeak von späteluiierenden Matrixbestandteilen überlagert wird. Extraktion mit kaltem oder heißem Wasser führt zu vergleichbaren Werten. Die Verwendung der Carrezfällung und der C18-Reinigung führt eigentlich zu vergleichbaren Ergebnissen.

4 Literaturangaben

- Deutsches Institut für Normung (DIN), 1988: DIN 38 405, TEIL 19, Ausgabe Februar 1988: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung: Anionen (Gruppe D). Beuth-Verlag, Berlin.
- Schmidt, B., Schwedt, G., 1984: HPLC-Verfahren zur Nitratbestimmung in pflanzlichen Lebensmitteln im Vergleich zur photo- und potentiometrischen Analyse. Dtsch. Lebensm. Rdsch. 80, 137-140.
- Weiss, J, 1991: Handbuch der Ionenchromatographie, 2. Aufl. VCH-Verlags-gesellschaft, Weinheim.
- DIN EN 12014-2:1997-08 Lebensmittel – Bestimmung des Nitrat- und/oder Nitritgehaltes – Teil 2: HPLC/IC-Verfahren für die Bestimmung des Nitratgehaltes in Gemüse und Gemüseerzeugnissen, Deutsche Fassungen EN 12014-2:1997.
- DIN EN 12014-2:1997-08 Lebensmittel – Bestimmung des Nitrat- und/oder Nitritgehaltes – Teil 2: HPLC/IC-Verfahren für die Bestimmung des Nitratgehaltes in Gemüse und Gemüseerzeugnissen, Deutsche Fassungen EN 12014-2:2017.

Anpassung von Labormethoden für die Online-Bodenuntersuchung im Feld

E. Najdenko¹, C. Neuhaus², F. Lorenz¹

¹LUFA Nord-West, Oldenburg, ²LUFA Nord-West, Hameln

1 Einleitung

In dem durch das BMEL geförderten Forschungsprojekt „soil2data“ wird ein mobiles Feldlabor für Trägerfahrzeuge entwickelt, welches während der Überfahrt auf dem Feld eine repräsentative Mischprobe sammelt, die Bodennährstoffanalyse durchführt und den Boden nach der Messung auf dem Acker belässt (Hinck et al., 2018). Abschließend werden die Analyseergebnisse gespeichert beziehungsweise zu einer Datenplattform gesendet. Das Verfahren der Online-Bodenuntersuchung eröffnet die Möglichkeit, die Analyseergebnisse dem Bewirtschafter ohne zeitliche Verzögerung zur Verfügung zu stellen und zeitnah eine geplante Düngemaßnahme durchzuführen. Dazu werden feldfeuchte Bodenproben in kurzer Zeit aufbereitet, extrahiert und mittels eines speziell für die Bodenuntersuchung entwickelten ISFET-Sensors die Nährstoffe NO_3^- , K^+ , H_2PO_4^- der pH-Wert im Extrakt vor Ort gemessen.

Für die Messungen im Feld steht nur ein kurzer Zeitraum von maximal 15 min zur Verfügung. Diese Messungen bedingen daher eine schnelle Aufbereitung der frischen Bodenproben. Nichtsdestotrotz soll die Aufbereitung unkompliziert und die Extraktionsmittel umweltfreundlich sein. Am besten sollte nur ein oder möglichst wenige Extraktionsmittel verwendet werden. Die einzusetzende Menge an Extraktionsmittel sollte dabei so gering wie möglich sein, um die Trägerplattform gewichtsmäßig zu entlasten. Gleichzeitig muss das Verhältnis von Boden zu Lösungsmittel weit genug sein, um eine ausreichende Nährstoffmenge zu extrahieren, die im Messbereich des Sensors liegt. Außerdem muss der Bodenextrakt einen bestimmten pH-Bereich aufweisen, um Phosphor in Form von H_2PO_4^- messen zu können.

Im Folgenden wird die Entwicklung einer Bodenuntersuchungsmethode für die Extraktion im Feld und deren Prüfung im Vergleich zu den VDLUFA-Standardmethoden beschrieben.

2 Material und Methoden

2.1 Voruntersuchungen zur Auswahl und Anpassung der Extraktionsbedingungen

An 6 ausgewählten sandigen, lehmigen und tonigen Bodenproben wurden unterschiedliche Extraktionsbedingungen zur Entwicklung einer neuen schnellen Bodenuntersuchungsmethode allein oder in Kombination getestet. Die Proben wurden unter standardisierten Laborbedingungen in trockenem, gemahlenem und homogenisiertem Zustand untersucht. Das Bodenmaterial wurde in einem 10 cm breiten Aluminiumbecher mit einem Propellerrührer in der Extraktionslösung aufbereitet.

Als Versuchsparameter für die Methodenanpassung wurden Extraktionszeit, Extraktionsintensität und Extraktionsmittel ausgewählt und im Folgenden genauer betrachtet.

Für die Extraktion wurden die drei Intensitätsstufen 1500 / 2000 / 2500 min⁻¹ mittels einer Standbohrmaschine getestet. Dabei betrug die Extraktionszeit 5 bis 30 min in 5-Minuten-Intervallen.

Weil die Untersuchung im Feld mit möglichst wenig Lösungsmittelmenge erfolgen soll, wurden ebenfalls unterschiedliche Verhältnisse von Boden zu Lösung (1:2,5 – 5 – 10) in Kombination mit unterschiedlichen Lösungsmitteln (CaCl₂ und H₂O_{dest.}) auf die Nährstofffreisetzung untersucht.

Die Bestimmung von Nitrat und pH-Wert kann sowohl in H₂O_{dest.} als auch in CaCl₂ erfolgen (VDLUFA, 2018: I, A, 5.1.1; A, 5.1.1 (8.1 s. 8 – 12); A, 6.1.4.1). Für die Kalium- und Phosphorbestimmung eignen sich H₂O_{dest.} und CaCl₂ ebenfalls. Die Nährstoffgehalte in diesen Extrakten wurden mit den Gehalten im standardmäßig gewonnenen H₂O_{dest.}- (A, 6.2.3.2) oder CAL-Extrakt (A, 6.2.1.1) verglichen. Weil die Analyseergebnisse im Messbereich des ISFET-Sensors liegen sollen, erschien es sinnvoll, eine „aggressivere“ Extraktion zu erstellen und dafür die CAL-Standard-Gebrauchslösung aufzukonzentrieren (1,5 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6-fache Aufkonzentrierung). Wegen der starken Abhängigkeit der Phosphat-Formen von der Acidität der Extraktionslösung und wegen der Pufferkapazität kalkhaltiger Böden war es notwendig, die Entwicklung des pH-Werts während der Aufkonzentrierung der CAL-Lösung zu beobachten.

2.2 Probenaufbereitung und Extraktionsbedingungen für die „soil2data“-Methode

Nachdem das Extraktions- und Aufbereitungsverfahren festgelegt war (die sogenannte „soil2data“-Methode), folgte die Extraktion von 92 verschiedenen repräsentativen, nach Bodenart und Nährstoffgehalten unterschiedlichen feldfeuchten Bodenproben (Gehaltsklassen: GK pH: A-D; GK P: A-D; GK K: A-D). Diese „soil2data“-Bodenuntersuchung wurde im Labor mit den je nach Nährstoff vorgeschriebenen Standardverfahren nach VDLUFA verglichen, um die Übereinstimmung der beiden Untersuchungsmethoden zu ermitteln.

2.3 Beschreibung der „soil2data“-Methode

Die eingewogene Menge des feldfeuchten Bodenmaterials beträgt immer 100 g. Als Extraktionsmittel in der ersten Aufbereitungsstufe wird 0,01 molare CaCl_2 -Lösung (100 ml) im Boden:Lösung-Verhältnis 1:1 verwendet. Nach 5-minütigem intensivem Aufrühren wird, während des Rührens, ein Aliquot der Suspension von 50 ml für pH-Wert- und NO_3^- -Bestimmung abgenommen, mittels Unterdruck filtriert und dem ISFET-Sensor für die Messung zugeleitet. Anschließend werden zu der restlichen Suspension 2 Teile der 4-fach aufkonzentrierten 0,2 molaren CAL-Standard-Gebrauchslösung (100 ml) dazugegeben, sodass das Verhältnis Boden:Lösung 1:[1+2] beträgt, was dem finalen Verhältnis 1:3 in der zweiten Aufbereitungsstufe für K^+ und H_2PO_4^- entspricht. Nach 10-minütigem Rühren ($2\,500\text{ min}^{-1}$) wird der filtrierte Extrakt dem ISFET-Sensor für die Messung zugeleitet.

2.4 Nährstoffmessung mittels ISFET-Sensor

Der ISFET-Sensor (ionenselektive Feldeffekttransistoren mit speziell entwickelten Membranen) analysiert NO_3^- , K^+ , H_2PO_4^- -Ionen im Bodenextrakt. Gleichzeitig misst er die Leitfähigkeit, Temperatur und den pH-Wert des Eluates. Für das Projekt „soil2data“ wurde die Phosphormessung weiterentwickelt (Tsukor et al., 2018).

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Entwicklung der „soil2data“-Methode

Die Vorversuche für die Entwicklung der Schnellmethode wurden mit 6 unterschiedlichen vorbehandelten Ackerböden (getrocknet, gemahlen, homogenisiert) unter Laborbedingungen durchgeführt. Die Untersuchungen zeigten, dass die Extraktionszeit auf die Kalium- und insbesondere auf die Phosphorfreisetzung einen eindeutigen Einfluss hat. Die Nährstoffkonzentration nimmt mit der Zeit bis zu 30 min linear und unabhängig von der Bodenart zu. Die Aufbereitungsintensität ($1500 / 2000 / 2500 \text{ min}^{-1}$) zeigte dabei kaum einen Einfluss auf die extrahierte Nährstoffmenge. Es ist zu berücksichtigen, dass bei der Untersuchung im Feld verfahrensbedingt nur eine deutlich geringere Zeitspanne als im Labor (ca. 15 min) für die Extraktion zur Verfügung stehen wird.

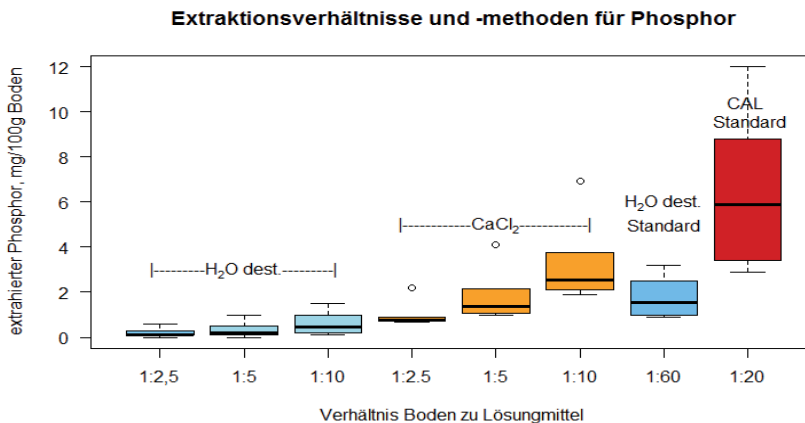


Abb. 1: Extrahierte Phosphormenge bei unterschiedlichen Extraktionslösungen und unterschiedlichen Verhältnissen von Boden zu Lösung, n=6.

Verschiedene Extraktionslösungen (CaCl_2 , $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest}}$, CAL) wurden an 6 Bodenproben auf ihre Eignung zur Extraktion von Phosphor und Kalium verglichen. In diesen Versuchen wurden parallel verschiedene Verhältnisse von Boden zu Lösungsmittel (1:2,5 – 5 – 10) getestet. Dabei wurden die extrahierten Phosphormengen mit den P-Konzentrationen nach CAL- und $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest}}$ -Standardmethoden verglichen (Abb. 1). Mit abnehmendem Verhältnis von Boden zu Extraktionsmittel nimmt die extrahierte Phosphormenge bei allen Bodenarten ab. Auch Fuhrmann et al. (2005) und Adamchuk et al. (2005) kommen zu dem Schluss,

dass die Freisetzung von Nährstoffen vom Verhältnis Boden zu Extraktionsmittel abhängt. Die Kaliumkonzentrationen beweisen dabei eine deutlich steigende Tendenz mit zunehmender Verdünnung (nicht dargestellt).

Die pH-Messung mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ zeigte eine enge Korrelation ($R^2=0,97$; $n=36$) zur VDLUFA-Methode (Bestimmung in 0,1 M CaCl_2).

Die Kaliumextraktion in $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$ ergab eine enge Korrelation zur Standard-CAL-Extraktion (R^2 von 0,88-0,98 bei allen Bodenarten und bei allen Verdünnungen, erweiterte Untersuchung mit 36 nach Bodenart unterschiedlichen Böden). Die Korrelation zwischen P-CAL und P- H_2O nahm mit steigendem Tongehalt zu (R^2 von 0,09-0,26 bei den leichten bis zu 0,68-0,93 bei den bindigen Böden).

Bei der Kaliumbestimmung in CaCl_2 -Lösung zeigte das Bestimmtheitsmaß eine gute Beziehung zur Standard-Extraktion unabhängig von der Extraktionszeit und Verdünnung (R^2 von 0,89-0,98). Die Phosphorbestimmung in CaCl_2 -Lösung deutete auf eine schlechte Übereinstimmung der Methoden mit einem R^2 von 0,12 bei geringer Verdünnung (1:2,5) und einem R^2 von 0,43-0,48 bei Zugabe von mehr CaCl_2 (1:5 und 1:10).

Die mit den Extraktionsmitteln $\text{H}_2\text{O}_{\text{dest.}}$, CaCl_2 und auch CAL in der Konzentration der Standardlösung (nach „soil2data“-Methode) erzielten Phosphorkonzentrationen von 0,01 mg/100 g Boden waren für die Messung mit dem ISFET-Sensor zu niedrig. Die untere Sensorbestimmungsgrenze für Phosphor liegt umgerechnet bei 0,22 mg/100 g Boden.

Um die Kalium- und insbesondere Phosphorfreisetzung zu erhöhen, wurde CAL-Lösung als Extraktionsmittel für die spätere Messung im Feld getestet. Weil damit eine pH-Messung nicht mehr möglich ist, wurde es notwendig, zwei unterschiedliche Extraktionsmittel und Extraktionsverfahren einzusetzen (CaCl_2 für den pH-Wert und Nitrat bzw. CAL-Lösung für Phosphor und Kalium). Aus diesen Gründen ergaben sich zwei Bodenaufbereitungsstufen (s. Kap. 2.3). Die Phosphormengen bei den mit der Standard-CAL-Lösung nach der „soil2data“-Methode untersuchten Böden lagen an der unteren Bestimmungsgrenze des Sensors. Außerdem wurde bei den ersten Versuchen der Verdünnung mit CaCl_2 in der Aufbereitungsstufe I eine weitere Abnahme der Phosphorkonzentration bei allen Böden nachgewiesen (Abb. 2). Aus diesem Grund wurde die Verwendung höher konzentrierter CAL-Lösung geprüft, beginnend von der

1,5-fachen bis zur 6-fachen Aufkonzentrierung der CAL-Gebrauchslösung. Das führte zu ausreichend hohen P-Konzentrationen für die ISFET-Messung im Extrakt, auch bei P-armen Böden (GK A). Da Phosphor für die ISFET-Messung in Form von H_2PO_4^- vorliegen muss (pH-Wert im Bodenextrakt von 4 bis 4,2 erforderlich), spielte dabei der pH-Wert eine entscheidende Rolle für den Grad der Aufkonzentrierung. Es war zu beachten, dass bei den kalkhaltigen Böden erst ab der 3-fachen Aufkonzentrierung der pH-Wert $\leq 4,2$ konstant blieb. Ab der 5-fachen Aufkonzentrierung der CAL wurde eine starke Abnahme von Kaliumkonzentration im Extrakt beobachtet. Alle Auswertungen von Kalium- und Phosphorkonzentrationen haben gezeigt, dass die Aufteilung nach Bodenartengruppen analog den Vorgaben der niedersächsischen Empfehlungen zur Grunddüngung (Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2018) erforderlich ist. Die Bodenartengruppen werden dort wie folgt klassifiziert: 1) für Kalium: Gruppe 1: S; Gruppe 2: l S; Gruppe 3: ttU, t L, sL, lIS, uuT; Gruppe 4: tL, uT, T; 2) für Phosphor wird nach Sand und „andere Böden“ unterschieden.

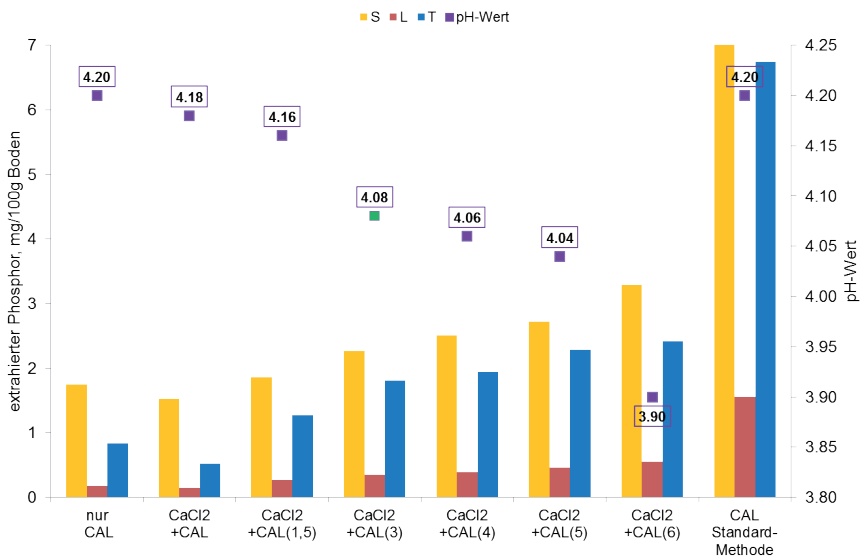


Abb.2: Extrahierte Phosphormengen bei Aufkonzentrierung der CAL-Lösung sowie Entwicklung des pH-Wertes während der Aufkonzentrierung. Mittelwerte von sandigen, lehmigen und tonigen Böden.

Abgeleitet von den unterschiedlichen Anforderungen zur Bodenprobenaufbereitung und den oben beschriebenen Ergebnissen wurde die „soil2data“-Methode festgelegt (s. Kap. 2.3).

3.2 Evaluierung der „soil2data“- Methode

Für die Überprüfung der „soil2data“-Methode standen 92 feldfeuchte Testböden zur Verfügung.

Die beiden Methoden („soil2data“- und VDLUFA-Standardmethode) unterscheiden sich neben der Verweilzeit im Suspensionszustand und dem Verhältnis von Boden zu Lösung in Feuchtegrad und der Aggregatgröße.

Die „soil2data“-Methode liefert für den pH-Wert ($R^2=0,91$) und die Nitratgehalte ($R^2=0,95$) eine gute Korrelation zur Standardmessung im Labor.

Es gibt eine gute Übereinstimmung der Methoden für die Kaliumbestimmung mit einem Bestimmtheitsmass von $R^2=0,8$ im Durchschnitt aller Bodenartengruppen. Eine Aufteilung der Werte nach Bodenartengruppen ergibt für die ersten beiden Bodenartengruppen bessere Korrelationen, für die Gruppe 4 hingegen eine schlechtere (Gruppe 1: $R^2=0,90$; Gruppe 2: $R^2=0,96$; Gruppe 3: $R^2=0,75$; Gruppe 4: $R^2=0,55$). Bei Phosphor wird nach Sand und den übrigen Bodenarten unterschieden, was ein R^2 von 0,71 bzw. 0,66 ergibt. Die „soil2data“-Methode erzielt bei Kalium und Phosphor eine bessere Korrelation zur Standard-Extraktion, wenn Bodenartengruppen getrennt betrachtet werden.

4 Fazit

Die „soil2data“-Methode wurde spezifisch für humusarme und humose Mineralböden entwickelt. Dabei ist zu beachten, dass sich die Methode noch in der Evaluierungsphase befindet und unter Feldbedingungen verifiziert werden muss.

5 Danksagung

Unser Dank gilt dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) für die Förderung des Forschungsprojektes aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Des Weiteren danken wir unseren Projektpartnern sowie allen Beteiligten der Laborstandorte Hameln und Oldenburg für die Zuarbeit. Ein besonderer Dank gilt Herrn Wolfgang Frede für die Unterstützung bei den Messungen im Labor.

6 Literaturangaben

- Adamchuk, V.I., Lund, E.D., Sethuramasamyraja, B., Morgan, M.T., Dobermann, A., Marx, D.B., 2005: Direct measurement of soil chemical properties on-the-go using ion-selective electrodes. *Computers and Electronics in Agriculture* 48, 272-294.
- Fuhrman, J.K., Zhang, H., Schroder, J.L., Davis, R.L., Payton, M.E., 2005: Water-soluble phosphorus as affected by soil to extractant ratios, extraction times, and electrolyte. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36, 925-935.
- Hinck, S., Möller, A., Najdenko, E., Lorenz, Mosler, H., Tesch, H., Nietfeld, W., Scholz, C., Tsukor, V., Mentrup, D., Ruckelshausen, A., 2018: soil2data: Concept for a mobile field laboratory for nutrient analysis. Proceedings of the 17th International Conference on Precision Agriculture. Monreal, CA: International Society of Precision Agriculture. <https://www.ispag.org/proceedings/>.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2018: Empfehlungen zur Grunddüngung. <https://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/22858.html>, (heruntergeladen am 28.09.2018).
- Tsukor, V., Hinck, S., Möller, A., Mentrup, D., Najdenko, E., Lorenz, F., Mosler, H., Nietfeld, W., Ruckelshausen, A., 2018: Concept and first results of a field-robot-based on-the-go assessment of soil nutrients with ion-sensitive field effect transistors. 6th International Conference on Machine Control and Guidance. Berlin, Deutschland 101, 102-109. https://www.atb-potsdam.de/fileadmin/docs/Publikationen/BAB_Heft_101.pdf
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Bestimmung von Phosphor und Kalium im Doppellaktat (DL)-Auszug von Böden mit optischer Emissionsspektroskopie und induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)

K. Weiß, S. Nöther

Humboldt- Universität zu Berlin

1 Einführung

Phosphor (P) und Kalium (K) gehören zu den essentiellen Nährstoffen im Boden, die bei der Düngung entsprechend dem Nährstoffentzug zugeführt werden müssen. Laut VDLUFA-Methodenbuch Bd.I (1991) wird für Böden mit Carbonatgehalten bis 15 % der Calcium-Acetat-Laktat(CAL)-Auszug, bis 5 % der Doppellaktat (DL)-Auszug herangezogen. Die Messung der Elemente erfolgt photometrisch. In der vorliegenden Arbeit wird die Bestimmung von Phosphat-P und K aus dem DL-Auszug mittels ICP-OES der K-Messung mittels Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) bei 769,9 nm flammenphotometrisch bzw. photometrischer P-Messung am Continuos-Flow-Analysensystem (CFA) bei 880 nm mittels Blaufärbung gegenübergestellt.

2 Material und Methoden

2.1 DL-Extraktionslösung von Bodenproben

Die Extraktion von Bodenproben erfolgte entsprechend der VDLUFA-Vorschrift Methodenbuch Bd.I (1991) 6.2.1.2. Die verwendete Extraktionslösung wurde dementsprechend wie folgt hergestellt:

240 g Calciumlaktat $C_6H_{10}CaO_6 \cdot 5 H_2O$ (DL) sind in heißem destilliertem Wasser gelöst, mit 80 mL 10 M HCL versetzt und im 2l-Masskolben bis zur Messmarke aufgefüllt worden. Aus dieser Vorratslösung wurde jeweils frisch zur Extraktion bzw. zur Herstellung der Kalibrationsstandards die DL-Gebrauchslösung aus 250 mL der DL-Vorratslösung im 5l-Maßkolben (mit VE-Wasser bis zur Eichmarke) angesetzt.

2.2 Kalibration des ICP-OES-Spektrometers

Zur Herstellung der Kalibrationslösungen sind folgende Standardlösungen verwendet worden: Single-Elementstandard-Solution (Fa. Roth) K- Konzentration: 1000 mg/l, P- Konzentration: 1000 mg/l.

Es wurde eine 5-Punkt-Kalibration durchgeführt (s. Tab. 1).

Tab. 1: Zusammensetzung der Kalibrationslösungen zur ICP-Messung von Phosphor und Kalium im DL-Extrakt

Standardlösung	Standardlösung, je P und K, in $\mu\text{l}/100\text{mL}$	Konzentration (mg/l)
Blank	0	0
Hochstandard	50	0,5
1	100	1
2	200	2
3	500	5
4	1000	10
5	2000	20

Die Standardlösungen sind mit je 5 mL DL-Vorratslösung auf 100 ml aufgefüllt und somit hinsichtlich der Matrix in den Bodenextrakten angepasst worden.

2.3 Spektroskopische Messung am ICP-OES

Für die Messung kam das iCAP 6300 Duo MFC der Firma Thermo, ein Spektrometer mit Echelle-Optik und CID-Halbleiterdetektor, zum Einsatz. Das Gerät misst im Wellenlängenbereich von 166-847 nm.

Folgende Analysenvoreinstellungen wurden gewählt: 3 Messwiederholungen, eine Probenspülzeit von 50 sec, Probenezufuhr mittels MIRA MIST Nebulizer, Messrichtung (Plasmabetrachtung) sowohl axial als auch radial. Die Plasmaeinstellungen waren: Spülpumprampe von 50 U/min, Analysenpumprate von 50 U/min, HF- Leistung 1150 W, Zerstäuber-Gasstrom 0,5 l/min, Hilfs-Gasstrom 1,5 l/min. Weiterhin wurde ein Argon-Befeuchter eingesetzt, um eine Salzkristallbildung und damit mögliche Verstopfung der Kapillare zu vermeiden.

Tab. 2: Spektrallinien und Nachweisgrenzen

Element	Analysenlinie (nm)	Plasmabe-trachtung	Interferenz durch	NWG* (mg/l)
K	766,4	axial		0,0002
	766,4	radial		0,0250
	769,8	radial		0,0590
P	178,2	axial		0,0041
	213,6	axial	Cu	0,0044
	213,6	radial	Cu	0,1400

* ausgewiesen im Analysenreport (iCAP)

2.4 Vergleichsmessungen

Vergleichsmessungen wurden für Phosphor (P_DL) mit einer kolorimetrischen Methode, für Kalium (K_DL) mit einer flammenphotometrischen Methode im Doppellaktat (DL)-Auszug (VDLUFA, Bd. I, 1991 A.6.2.1.2) durchgeführt.

Die Phosphorbestimmung erfolgte am Continuous-Flow-Analyzer (CFA) der Fa. Skalar (Breda, Niederlande) als Phosphat-P.

Die Messung beruht auf folgender Reaktion: Ammoniummolybdat, katalysiert durch Kaliumantimonyltartrat (KAT), reagiert im sauren Medium (HCl) mit in Lösung befindlichem Phosphat zu einem Antimonylphosphormolybdänsäure-Komplex. Dieser wird durch Ascorbinsäure bei 40 °C Reaktionstemperatur zu einem blau gefärbten Komplex umgewandelt, welcher bei einer Wellenlänge von 880 nm photometrisch bestimmt wird und zur Konzentration an PO₄-P proportional ist.

Chemikalien:

1. Salzsäure
100 mL 32 % ige HCl auf 1L verdünnt, mit 2 mL FFD6 (Dodecyl diphenylo-xide disulphanated sodium salt, 45 %, wässrig)
2. Ammoniummolybdat
20 mL konz. Schwefelsäure (97 %) und 2,4 g Ammoniummolybdat sowie 1 mL FFD6 auf 500 mL verdünnt

3. Ascorbinsäure

9 g Ascorbinsäure in etwas Wasser lösen, 10 mL der KAT-Vorratslösung (300 mg Kaliumantimonyltartrat in etwas dest. Wasser gelöst, auf 100 mL aufgefüllt), auf 500 mL aufgefüllt

Kalibrationslösungen:

1. Stammlösung

4,394 g Kaliumdihydrogen-o-phosphat auf 1 L VE-Wasser
1 ppm: 0,1 mL Stammlösung in 100 mL

2. Standardreihe für Gehalte bis 5 ppm (niedrig):

0,5; 1,0; 1,5; 3,0; 5,0 ppm (0,05; 0,1; 0,15; 0,3; 0,5 mL Stammlösung jeweils auf 100 mL)

3. Standardreihe für Gehalte bis 10 ppm (hoch):

1,0; 2,0; 5,0; 7,0; 10,0 ppm (0,1; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0 mL Stammlösung jeweils auf 100 mL)

Referenzlösung: Phosphatstandard von Merck

1. Niedrig, 1 ppm: 307 μ L auf 100 mL

2. Hoch, 5 ppm: 1,535 mL auf 100 mL

Die Kalium-Bestimmung erfolgte flammenphotometrisch bei 769,9 nm am Atomabsorptionsspektrophotometer (AAS) 4100, Fa. Perkin Elmer.

Chemikalien:

Cäsiumchloridlösung

1,227 g CsCl auf 100 mL

Kalibrationslösungen:

1. Kalium-Standard (Fa. Roth) 1000 mg/l

2. Standardreihe:

1, 2, 4, 6, 8, 10 ppm (jeweils 5 ml DL-Vorratslösung und 1 ml CsCl-Lösung mit 0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 ml Kalium-Standard auf 100 mL)

2.5 Probenmaterial

2.5.1 Modelllösungen

Aus laufenden Untersuchungen und somit bekannten Gehalten wurden Boden-DL-Extraktionslösungen nach Gehaltsklassen ausgewählt und so vereinigt,

dass eine ausreichende Probenmenge je Gehaltsklasse für mindestens 15 Messungen zur Verfügung stand.

Folgende Gehaltsklassen wurden eingestellt:

I P_DL < 10 mg/100 g Boden

II P_DL > 10 mg/100 g Boden

III K_DL < 10 mg/100 g Boden

IV K_DL ≥ 10-20 mg/100 g Boden

V K_DL > 20 mg/100 g Boden

2.5.2 Bodenproben aus Ringversuchen VDLUFA

Es wurden vier Bodenproben aus Ringversuchen der Fachgruppe I des VDLUFA (2008, 2012, 2013, 2014) mit dem Ziel, unterschiedliche Gehaltsklassen zu analysieren, ausgewählt und jeweils in sechsfacher Wiederholung (n=6) extrahiert (siehe 2.1) und mittels ICP-OES gemessen.

2.5.3 Bodenproben

Bodenproben (n=106) aus laufenden Projekten (Dauerfeldversuche am Standort Thyrow, Lehr- und Forschungsstation des Thauer-Institutes) wurden extrahiert (s. 2.1) und sowohl mittels ICP-OES auf den Gehalt an K_DL und P_DL als auch mittels CFA (P_DL, s. 2.4) und AAS (K_DL, s. 2.4) analysiert.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Präzision (Wiederholbarkeit) der ICP-OES-Messung

Zur Ermittlung der Präzision wurden jeweils 15 Messungen einer Bodenextraktionslösung am ICP-OES durchgeführt. Tabelle 3 weist Mittelwerte und relative Vergleichsstandardabweichung (s%) nach Gehaltsklassen für die Elemente P und K in Abhängigkeit von Plasmabetrachtung und Analyselinie aus.

Bei der K_DL-Messung wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Analyselinien 766,4 und 769,8 bei radialer Plasmabetrachtung festgestellt (t-Test, Mittelwertvergleich, $P < 0,05$).

Tab.3: Mittelwert *m* und relative Vergleichsstandardabweichung *s*% der ICP-OES-Messung von K_DL und P_DL in Bodenextraktionslösungen (n=15) in Abhängigkeit von Plasmabetrachtung (axial, radial) und Analyselinie

K_DL Klasse ¹⁾	Axial_766,4		Radial_766,4		Radial_769,8	
	<i>m</i> ²⁾	<i>s</i> %	<i>m</i>	<i>s</i> %	<i>m</i>	<i>s</i> %
I	11,0 ^b	3,0	9,9 ^a	1,9	9,9 ^a	2,9
II	11,0 ^b	2,5	9,9 ^a	2,7	9,9 ^a	2,6
III	8,4 ^b	1,2	7,6 ^a	1,7	7,6 ^a	1,7
IV	15,7 ^b	1,2	14,2 ^a	1,3	14,2 ^a	0,9
V	24,7 ^b	1,5	22,7 ^a	1,4	22,6 ^a	1,1

P_DL Klasse ¹⁾	Axial_178,2		Axial_213,6		Radial_213,6	
	<i>m</i>	<i>s</i> %	<i>m</i>	<i>s</i> %	<i>m</i>	<i>s</i> %
I	6,6 ^b	1,4	6,1 ^a	0,7	6,1 ^a	1,5
II	14,0 ^b	0,9	13,0 ^a	0,6	12,9 ^a	1,6
III	9,4	0,7	9,8	1,5	9,9	0,9
IV	8,5 ^a	0,3	8,9 ^b	1,4	9,0 ^b	0,9
V	8,4 ^a	0,2	9,0 ^b	1,5	9,0 ^b	1,0

1) I: P_DL < 10 mg/ 100 g Boden; II: P_DL > 10 mg/ 100 g Boden; III: K_DL < 10 mg/ 100 g Boden; IV: K_DL ≥ 10 – 20 mg/ 100 g Boden; V: K_DL > 20 mg/ 100 g Boden; 2) Mittelwerte in Zeilen bei verschiedenen Buchstaben sind unterschiedlich (t-Test, $P < 0,05$); n= 15

Dagegen waren die Werte, ermittelt bei axialer Betrachtungsweise und Analyselinie 766,4, signifikant höher im Vergleich zur radialen Betrachtungsweise. Die relative Vergleichsstandardabweichung wurde im Bereich zwischen 0,9 und 2,9% für die radiale Messeinstellung ermittelt.

Bei der P_DL-Messung gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen axialer und radialer Betrachtungsweise und der Analyselinie 213,6. Die Werte, axial und bei 178,2 nm gemessen, waren signifikant höher in der P-Klasse I und II als bei 213,6 nm. Die relative Vergleichsstandardabweichung lag zwischen 0,6 und 1,6% bei radialer und axialer Plasmabetrachtung und der Wellenlänge 213,6 nm.

3.2 Präzision der K_DL- und P_DL-Bestimmung mittels ICP-OES in Bodenproben aus Ringversuchen (VDLUFA)

In Tabelle 4 sind die ICP-Messergebnisse zur Bestimmung von K_DL und P_DL in 4 Bodenproben aus VDLUFA Ringversuchen nach DL-Extraktion ausgewiesen. Die Ergebnisse für K_DL, ermittelt bei radialer Plasmabetrachtung und Wellenlängen 766,4 bzw. 769,8 und P_DL bei Wellenlänge 213,6 (axial und radial) wurden den Ergebnissen (Mittelwert und Toleranzbereich) der VDLUFA-Auswertung der Boden-Ringversuche gegenübergestellt.

Tab. 4: Mittelwert m und relative Vergleichsstandardabweichung s% der ICP-OES-Messung von K_DL und P_DL in Bodenextraktionslösungen aus Ringversuchen VDLUFA (n=6) in Abhängigkeit von Plasmabetrachtung (axial, radial) und Analyselinie im Vergleich zu Mittelwert und Toleranzbereich der VDLUFA- Auswertung

K_DL	Ergebnisse_VDLUFA		Radial_766,4		Radial_769,8	
	m	Toleranz	m	s%	m	s%
Jahr_Probe						
2008_01	4,5	3,1 - 5,9	4,4	6,7	4,3	7,4
2012_01	9,9	7,4 - 12,7	9,6	5,7	9,6	6,0
2013_01	13,1	11,9 - 14,4	12,3	7,0	12,2	7,1
2014_02	20,5	18,1 - 22,9	20,3	7,0	20,3	6,8

P_DL	m	Toleranz	Axial_213,6		Radial_213,6	
2008_01	6,0	4,3 - 7,7	5,4	1,0	5,4	2,7
2012_01	18,1	16,6 - 19,7	20,0	1,4	19,9	3,3
2013_01	14,7	12,5 - 17,0	16,0	1,1	16,0	3,6
2014_02	11,8	10,2 - 13,4	13,8	1,2	14,0	4,5

Die analysierten K_DL-Werte der Bodenproben aus vier Ringversuchen lagen stets im Toleranzbereich der VDLUFA-Auswertung. Die Mittelwerte (n=6) wichen zwischen 1,0 und 6,9 % vom dort VDLUFA- Mittelwert ab. Die Vergleichsstandardabweichung (n=6) bei der Bestimmung mittels ICP wurde mit 5,7 bis 7,4 % ermittelt.

Die P_DL-Werte waren bei zwei von vier Proben um 0,1-0,6 mg/100 g Boden über dem Toleranzwert (s. Tab. 4). Bei den zwei anderen Proben, deren Analysenwerte im Toleranzbereich lagen, betrug die Abweichung des Mittelwertes der ICP-Messung (n=6) vom VDLUFA-Mittelwert 10 %. Die Vergleichsstandardabweichung bei der Bestimmung mittels ICP (n=6) wurde mit 1,0 bis 4,5 % ermittelt und war damit niedriger als bei K_DL.

3.3 Vergleichsanalysen ICP-OES und AAS sowie CFA zur Bestimmung von K_DL und P_DL in Bodenextrakten

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse von 106 K_DL- bzw. 101 P_DL- Analysen unterschiedlicher Bodenextrakte ausgewiesen.

Demnach werden bei der K_DL-Bestimmung mit der AAS-Methode im Mittel geringfügig höhere Werte im Vergleich zur ICP-Methode bestimmt. Die Spannweite der Differenz zwischen beiden Analysenmethoden umfasst einen Bereich von 3,5 mg bei Gehalten < 10 mg/100 g Boden, 4,3 mg/100 g Boden bei > 10 mg/100 g Boden. Die in der Tabelle 4 ausgewiesenen Toleranzbereiche nach VDLUFA-Auswertung liegt in 2008 bei 2,8 und in 2012 bei 5,3 mg bei Werten < 10 mg/100 g Boden bzw. in 2013 bei 2,5 und in 2014 bei 3,8 mg/100 g Boden.

Tab.5: Vergleich der Gehalte in Bodenextrakten zwischen AAS- (K_DL, n=106) bzw. CFA-(P_DL, n=101) Messung zur ICP-Messung, angegeben als Differenz (Mittelwert m der Differenz und Spannweite)

Konzentrationsbereich	K_DL				P_DL			
	[Diff. AAS-ICP_radial]				[Diff. CFA-ICP_213,6]			
Je 100g Boden	n	m	von	bis	n	m	von	bis
<10mg	40	0,3	-1,8	1,7	57	-0,9	-1,6	1,4
>10mg	66	0,7	-1,4	2,9	44	-0,6	-3,1	1,7

Bei der P_DL-Bestimmung mit der CFA-Methode werden dagegen geringere Werte im Mittel im Vergleich zur ICP-Methode analysiert. Die Spannweite der Differenz zwischen beiden Analysenmethoden umfasst einen Bereich von 3,0 mg bei Gehalten < 10 mg/100 g Boden, 4,8 mg/100 g Boden bei > 10 mg/100 g Boden. Die in der Tabelle 4 ausgewiesenen Toleranzbereiche

nach VDLUFA-Auswertung liegt in 2008 bei 3,4 mg bei Werten < 10 mg/100 g Boden bzw. in 2012 bei 3,1, 2013 bei 4,5 und in 2014 bei 3,2 mg/100 g Boden.

4 Zusammenfassung

Die ICP-OES-Messung von K_DL (radial, Linie 766,4 oder 769,8) und P_DL (Linie 213,6 radial oder axial) weist mit s% von 0,9-2,9 (K_DL) und 0,6-1,6 (P_DL) eine ausreichend hohe Präzision und vergleichbare Ergebnisse zur AAS- bzw. CFA-Bestimmung, gemessen an den Enquete-Auswertungen VDLUFA FG II, aus. Weitere Vergleichsmessungen von P_DL und K_DL am ICP-OES zu AAS- und kolorimetrischen Analysenverfahren, auch zwischen verschiedenen Labors, sind zu empfehlen.

5 Literaturangaben

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1991: Methode A.6.2.1.2, Bestimmung von Phosphor und Kalium im Doppellactat (DL) Auszug. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Digitalisierung im Analysenlabor - Beispiele für Anwendungen bei Analysenverfahren und Labororganisation

K. Fischer¹, M. Schuster², G. Strauß¹

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, ²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Grub

1 Digitalisierung

Die Digitalisierung ist in modernen Analysenlabors ein fester Bestandteil der täglichen Routine für Labororganisation und Datenmanagement: Grundlage ist ein IT-gestütztes Labor-Informations- und Management-Systems (LIMS). Im Rahmen der Neuausschreibung für ein LIMS an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) stand im Fokus, innovative Lösungen für Schnittstellen und die Bearbeitung großer Probenserien zu etablieren.

LIMS-FS: Organisationsstruktur

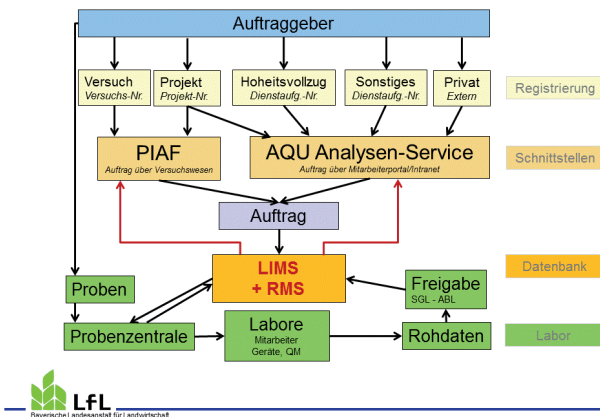


Abb. 1: Organisation in AQU beispielhaft am Standort Freising

Relevante Prozesse sind im Wesentlichen die Verarbeitung und Speicherung von Daten zu Auftraggebern, Aufträgen, Proben, Messergebnissen sowie die Verwaltung von Parametern, Methoden, Geräten, Probenlager u. v. m.

Die Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU) der LfL bietet für die LfL-Institute ein breites Spektrum an Analysenmöglichkeiten zu

unterschiedlichsten Matrices an. Die Auftraggeber der Sachgebiete AQU 1 und AQU 2 am Standort Freising liefern Proben im Rahmen von Versuchen, Projekten und des Hoheitsvollzugs an. Auch Proben von externen Auftraggebern wie z. B. Züchtern werden bearbeitet. AQU 3 am Standort Grub führt Futtermitteluntersuchungen für LfL-Institute und Kooperationspartner wie das Landeskuratorium für tierische Veredelung (LKV) durch.

Gerade vor diesem Hintergrund – heterogenes Analysenspektrum, mehrere Laborstandorte, unterschiedlichste Auftraggeber – spielt die Vernetzung des Analysenlabors mit Auftraggebern eine wesentliche Rolle. Insbesondere für das landwirtschaftliche Versuchswesen bietet dabei die Digitalisierung zahlreiche interessante Aspekte: hier ist vom Feldversuch über das Labor bis hin zur wissenschaftlichen Auswertung eine lückenlose Nachverfolgbarkeit und Dokumentation erstrebenswert – auch im Hinblick auf das Qualitätsmanagement.

2 Schnittstellen zu externen Systemen

Ziel bei der Etablierung des neuen LIMS war es, den Datentransfer zu den vielfältigen Schnittstellen zu Auftraggebern effizient zu gestalten. Analysenaufträge gelangen über drei Kanäle in das LIMS: über PIAF, den AQU Analysen-Service und das WebFuLab. Bei PIAF handelt es sich um ein Planungs-, Informations- und Auswertungssystem für das Versuchswesen in Landwirtschaft, Gartenbau und Agrarforschung. Der AQU Analysen-Service und das WebFuLab stellen elektronische Web-Portale zur Verwaltung der Untersuchungsanträge und Arbeitspläne dar, die eigens für die Zwecke in AQU programmiert wurden. Hier registrieren sich die Auftraggeber als Nutzer und legen anschließend selbständig Arbeitspläne und Analysenaufträge an, bevor sie die Parameter, Methoden sowie Prüfpakete für ihre Proben auswählen.

Nach der Bearbeitung der Proben im Labor und Freigabe der ermittelten Untersuchungsergebnisse werden diese über die Schnittstellen an die externen Systeme PIAF, AQU Analysen-Service oder webFuLab übermittelt. Aus diesen Programmen können sich die Auftraggeber ihre Analysenwerte in unterschiedlichen Formaten herunterladen. Auch eine elektronische Übernahme der Ergebnisse in das Rationsberechnungsprogramm ZIFO 2 ist möglich. Für die Fütterungsberater ist der Wegfall der manuellen Dateneingabe äußerst vorteilhaft. Dies spart Zeit und schließt Fehler bei der manuellen Eingabe aus. Die berech-

neten Mischungen werden direkt auf das Wiegesystem von "Fütterungsmaschinen" z. B. Futtermischwagen, in die Fütterungscomputer von Flüssigfütterungsanlagen übertragen.

Andere digitale Lösungen, wie z. B. die LKV-App des LKV-Kooperationspartners bieten Optionen wie Probennachverfolgung, Übertragung des Bearbeitungsstatus, Plausibilisierung oder online-Ergebnismitteilung und Beauftragung von Folgeanalysen.

3 Codierung von Proben und Gefäßen

Der Einsatz von Barcodes bzw. QR-Codes ist gerade bei der Bearbeitung großer Probenserien im Hinblick auf die Probenlogistik prädestiniert. Dementsprechend wurde dies konsequent bei der Etikettierung von Probensendungen berücksichtigt: Der Auftraggeber verwendet Barcode-Etiketten mit einer laufenden und eindeutigen Labornummer für seine Proben bzw. codierte Versandtaschen. Dies vereinfacht alle Arbeitsschritte von der Probenanlieferung bis hin zur Berichterstattung: das Teilen, Umfüllen, Vermahlen, Suspendieren, Extrahieren von Proben und das Auswerten oder Bewerten von Ergebnissen.

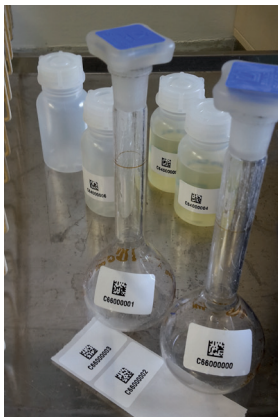


Abb. 2: Laborgefäße mit QR-Code und Gefäßnummer

Gängige Laborpraxis ist noch immer, dass unzählige Beschriftungen auf Laufzetteln oder Probengefäßen angebracht werden müssen – mit allen Konsequenzen: z. B. Zeitbedarf, möglichen Übertragungsfehlern, Reinigungsaufwand. Trotz der offensichtlichen Vorteile des Einsatzes von Barcodes scheitert dieser oft an der mangelnden Verfügbarkeit oder Möglichkeit, Laborgefäße oder Tiegel mit Barcodes zu versehen.

Im Rahmen der Implementierung des LIMS wurden IT-gestützte Anwendungen entwickelt und dauerhafte Codierungen getestet: Ziel war es, vielschichtige und heterogene Arbeitsabläufe auf Basis von QR-Codes steuern und kapazitätsorientiert anpassen zu können.

Bei der Gefäßübergabe, z. B. in Aufschlusskolben, muss das System in speziell programmierten Workflows erkennen, welche Probe sich im Gefäß befindet. In einem Gefäßverwaltungsmodul im Rohdatenmanagementsystem (RMS), das dem LIMS zugrunde liegt, werden die verschiedenen Gefäßtypen erfasst, je Gefäß wird eine Gefäßnummer vergeben (Abb. 2) und der Belegungsstatus mit Zuordnung zur Probe angezeigt.



Abb. 3: Tiegel im Muffelofen mit QR-Code und Gefäßnummer

Die verschiedenen Analysenverfahren stellen hohe Anforderungen an die Spezifikationen der Etiketten, z. B. spülmaschinenfest, hoch- bzw. tief-temperaturgeeignet, etc.

Abbildung 3 zeigt Tiegel für den Muffelofen in Sonderanfertigung mit aufgedrucktem QR-Code. Da hier von Seiten der Laborglas- bzw. Tiegelhersteller noch keine Markierungsmöglichkeiten angeboten werden, müssen im Labor entsprechende Belastungstests mit Prototypen durchgeführt werden.

4 Ausgewählte Beispiele zur Automatisierung im Laborbetrieb

Beispiel 1: Mineralstoffbestimmung in Futtermitteln mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Bereits am Probeneingang werden die Probennummern, bei denen eine Mineralstoffbestimmung mittels RFA durchgeführt werden soll, mit der Futtermittel-ID, der Futterart und der über die Futtermittel-ID zugewiesenen RFA-Applikation in eine

Datei gespeichert und das Probengefäß mit Barcode versehen (Abb. 4). Das RFA-Gerät ist mit einem speziell angepassten Barcode-Lesegerät ausgestattet (Abb. 5). Im Messmodus „Barcode“ fährt der Probengeberarm über die Probenracks, bis ein Barcode einer noch nicht analysierten Probe (Pressling) erkannt wird. Der Aluminiumcup wird in die Probenschleuse des RFA-Gerätes überführt, die zur Futterart zugehörige Applikation wird ausgelesen und die Messung gestartet. Die Analyse von 12 Mineralstoffen und Spurenelementen dauert ca. 10 Minuten. Die Messergebnisse werden per Dateischnittstelle in ein festgelegtes Verzeichnis auf den Laborserver übertragen. Neu gespeicherte Dateien werden von einem Datei-Kontrollprogramm erkannt, von einem File-Reader ausgelesen und die Daten auf dem Laborserver unter der entsprechenden Labornummer gespeichert.



Abb. 4: Barcodes auf Probengefäß und Probenpressling für die automatisierte RFA

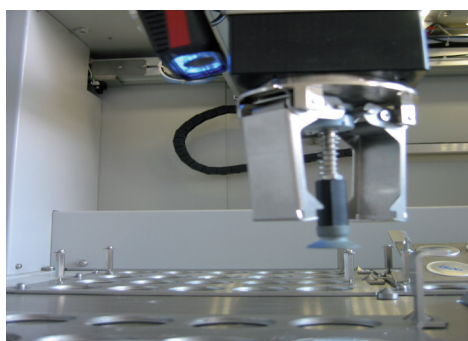


Abb. 5: Am Probenzuführungsarm integrierter Barcodeleser des RFA-Gerätes

Das speziell auf das RFA-Gerät angepasste Vorgehen bietet den Vorteil, dass die Labornummern nicht manuell in eine Analysensoftware geschrieben werden müssen, die Zuordnung der richtigen Messmethode gesichert ist und die manuelle Zuordnung der Probennummer sowie der Probenposition zwischen Probenrack und Software entfällt. Fehlerhafte Zuweisungen und die Eingabe falscher Labornummern sind somit ausgeschlossen.

Beispiel 2: Fettbestimmung in Futtermittelproben

Die Fettbestimmung ist im RMS als eigener Workflow abgebildet. Dieser umfasst die Kolbenleerwaage, die Probeneinwaage (Abb. 6), den Gefäßwechsel zwischen der Probe in der Patrone und dem Kolben sowie die Rückwaage des Extraktionsrückstandes im Kolben unter Berücksichtigung des Tara-Gewichtes mit anschließender Berechnung der Fettgehalte und Prüfung auf Mittelfähigkeit.

Beim Gefäßwechsel wird die Probe in der Patrone einem Kolben in der Extraktionsanlage zugeordnet. Dafür wird ein mobiler Scanner (Datensammler) eingesetzt (Abb. 7). Über ein Modul „Datensammler auslesen“ wird die Zuordnung in das RMS übertragen. Nach erfolgter Rückwaage werden die Fettgehalte berechnet. Beim Überschreiten der hinterlegten Analysentoleranz fordert das System zur Plausibilisierung automatisch zwei Wiederholungen an. Die Freigabe der Ergebnisse erfolgt durch die Labormitarbeiter nach Kennzeichnung der mittelfähigen Ergebnisse.



Abb. 6: Einwaage der auf den Fettgehalt zu untersuchenden Futterprobe in ein Hydrolysegefäß



Abb. 7: Einscannen der Barcodes von Patrone und Glaskolben Mittels Mobil-Scanner

Beide Beispiele zeigen, dass mit geeigneten Digitalisierungsmaßnahmen sowohl die Qualität als auch die Sicherheit der Ergebnisse deutlich verbessert werden. Darüber hinaus werden Zeit-Ressourcen freigesetzt und der Proben-durchsatz gesteigert.

Ein Ende der Digitalisierungsmöglichkeiten im Analysenlabor ist noch nicht abzusehen, da sich mit der Digitalisierung auch ganz neue Analysenansätze eröffnen.

Von Bedeutung für die digitale Weiterentwicklung sind auch die Standardisierung von Schnittstellen zu Analysengeräten und die permanente Kennzeichnung von Laborgefäßen wie z. B. Tiegel und Aufschlusskolben.

Autorenindex

Alert, H.-J.	397	Eißner, F.	171
Alt, F.	442, 467	Engelhard, T.	264
Appel, T.	87	Enggist, A.	238
Barker, S.	467	Ettle, T.	270, 278, 334
Bauherr, A.	478	Falk, J.	95
Baum, M.	325	Fetzer, H.	209
Beck, K.	185	Finke, M.	153
Beintmann, S.	317	Fischer, B.	278
Berger, S.	23	Fischer, K.	504
Bieloch, C.	48	Fritz, M.	48
Bischoff, J.	171	Fröhlingsdorf, A.	257
Bolduan, C.	381	Gerlach, K.	297
Borchert, A.	153	Goebel, M.	56
Bothe, B.	289	Griepentrog, H. W.	209
Böttger, C.	257, 372	Gruber, L.	278, 305, 404
Breuer, J.	23, 445	Grundler, M.K.	429
Brockmeyer, T.	153	Grünewald, K.-H.	247
Brugger, D.	238, 381	Haiger, A.	305
Bruinenberg, M.	325	Halli, K.	358
Brunlehner, E.-M.	416	Hartel, M.	48
Brunner, S.	48	Hartwig, H.	23
Buffler, M.	381	Hauck, D.	104
Bureau, C.	297	Häusler, J.	305
Bürcky, K.	201	Heim, M.	270
Bussink, D.-W.	129	Heinze, A.	247, 377
Butz, A.F.	140, 180, 193, 197	Hengge, H.	209
Callaghan, A.	48	Henkelmann, G.	434
Christen, O.	171	Heßler, M.	95
Daum, D.	214, 471	Heyn, J.	201
Dietzel, J.	9	Hobmeier, T.	381
Dinklage, S.	471	Höcherl, S.	366
Dohme-Meier, F.	372	Holshof, G.	129
Doluschitz, R.	209	Hoppe, S.	317, 325
Doppenberg, G.	129	Horn, D.	87, 104, 201
Dreyern, M.	64	Hoy, S.	350, 358
Dunkel, S.	377, 397	Hülsbergen, K.-J.	145
Eingang, D.	305	Hünting, K.	317

Jacobs, D.	452	Obermaier, A.	270
Jilg, T.	264, 278, 334, 389	Olfs, H.-W.	153, 162
Kießling, G.	23, 120	Ornetsmüller, K.	404
Killermann, B.	424, 429	Oswald, P.	4
Klemisch, M.	185	Ott, J.	140
Koch, C.	56, 201, 264, 278, 358	Paeßens, B.	180, 193
Koch, D.	56, 201	Paradies-Severin, I.	23
Kreuter, T.	171	Paul, H.	64
Kuhla, B.	334	Piepenbrink, S.	297
Kunz, H.-J.	278	Pralle, H.	162
Lange, L.	442	Preißinger, W.	342
Lebuhn, M.	48	Pries, M.	
Leibfried, W.	209	264, 278, 289, 317, 325, 334
Lenz, J.	452	Propstmeier, G.	342
Lichti, F.	48, 366	Puntigam, R.	411
Lichti, F.	48	Ravenschlag, T.	297
Lohr, D.	104	Royer, M.	278, 305
Loos, A.	442	Royer, M.	278
Lorenz, F.	15, 487	Ruland, W.	12
Lösing, H.	214, 471	Sager, M.	69, 222
Maidl, F.X.	145	Salzeder, G.	180
Mechler, M.	445	Sauer, B.	48
Meinken, E.	104	Schachtschneider, M.-L.	471
Meints, F.	214	Schäffler, M.	31
Meyer, U.	278	Schauer, A.	305
Michels, K.	478	Scherb, S.	342
Mohr, U.	334	Schmidhalter, U.	104
Möller, K.	209	Schneider, B.	416, 445
Mühling, K. H.	64	Schneider, S.	416
Müller, K.	209, 445	Schröter, H.	112, 120
Müller, T.	209	Schulz, V.	377
Nagel, T.	445	Schuster, M.	504
Najdenko, E.	487	Schwarz, F.J.	278
Neuenfeldt, R.	23	Schwick, S.	247
Neuhaus, C.	487	Sedaghatjoo, S.	429
Neumann, L.	48	Sedlmeier, M.	429
Niessen, L.	429	Seed, M.	467
Nöther, S.	495	Severin, K.	23

Spiekers, H.	31, 334	van Middelkoop, J.C.	129
Stemann, F.X.	445	van Schooten, H.	129
Steevens, L.	289	Verhoeven, A.	317
Steffens, D.	95	Voit, B.	424
Steuer, P.	452	Wagner, S.	120
Strauß, G.	504	Weber, H.	209
Strenner, M.	145	Weis, M.	209
Ströbel-Fröschle, M.	153	Weiß, K.	495
Südekum, K.-H.		Wetscherek, W.	411
.....	257, 289, 297, 325, 372, 452	Wetscherek-Seipelt, G.	411
Sudnik, M.	467	Wiesler, F.	1
Sundrum, A.	39	Windisch, W.	381
Susenbeth, A.	278	Wolf, P.	397
Tauchnitz, N.	171	Wyss, U.	238, 372
Taylor, K.	467	Young, D.	48
ten Huf, M.	162	Zollitsch, W.	404
Terler, G.	305	Zopf, D.	120
Tillmann, P.	461	Zorn, W.	112, 120
Urbatzka, P.	180		

Adressliste der korrespondierenden Autoren

Dr. Alt, Fabian

Elementar Analysensysteme GmbH
Langenselbold

Prof. Dr. Appel, Thomas

Technische Hochschule Bingen
Bingen

Beck, Kerstin

Bayerische Landesanstalt für Wein-
bau und Gartenbau
Veitshöchheim

Bothe, Bernadette

Landwirtschaftskammer Nordrhein-
Westfalen
Bad Sassendorf

Dr. Böttger, Christian

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Uni-
versität, Institut für Tierwissenschaf-
ten
Bonn

Dr. Bussink, Wim

Nutriënten Management Instituut BV
Wageningen

Dr. Butz, Andreas

Landwirtschaftliches Technologie-
zentrum Augustenberg (LTZ)
Rheinstetten

Prof. Dr. Daum, Diemo

Hochschule Osnabrück Fakultät Ag-
rarwissenschaften und Landschafts-
architektur
Osnabrück

Dunkel, Silke

Thüringer Landesanstalt für Landwirt-
schaft
Jena

Grundler, Monika

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Pflanzenbau und
Pflanzenzüchtung, Saatgutuntersu-
chung/ Saatgutforschung
Freising

Dr. Grünewald, Karl-Hermann

Verein Futtermitteltest (VFT) e. V.
Bad Sassendorf

Halli, Kathrin

Justus-Liebig-Universität, Institut für
Tierzucht und Haustiergenetik
Gießen

Hartel, Mathias

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Landtechnik und
Tierhaltung
Freising

Henkelmann, Günter

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft
Freising

Heßler, Marco

Justus-Liebig-Universität Gießen,
Institut für Pflanzenernährung
Gießen

Höcherl, Susanne

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Landtechnik und
Tierhaltung
Freising

Dr. Jilg, Thomas

Landwirtschaftliches Zentrum für
Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft,
Milchwirtschaft, Wild und Fischerei
Aulendorf

Koch, Dierk

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
Kassel

Dr. Lorenz, Frank

LUFANRW
Oldenburg

Dr. Mechler, Melanie

LTZ Augustenberg
Karlsruhe

Dr. Michels, Klaus

LTZ Augustenberg
Karlsruhe

Prof. Dr. Mühling, Karl Hermann

Institut für Pflanzenernährung und
Bodenkunde
Kiel

Prof. Dr. Müller, Torsten

Universität Hohenheim, Institut für
Kulturpflanzenwissenschaften
Stuttgart

Najdenko, Elena

LUFANord-West, Institut für Boden
und Umwelt
Oldenburg

Prof. Dr. Olf, Hans-Werner

Hochschule Osnabrück, Fakultät Ag-
rarwissenschaften und Landschafts-
architektur
Osnabrück

Paeßens, Benedikt

Landwirtschaftliches Technologie-
zentrum Augustenberg
Rheinstetten

Dr. Preißinger, Wolfgang

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Tierernährung
und Futterwirtschaft
Schwarzenau

Dr. Pries, Martin

Landwirtschaftskammer Nordrhein-
Westfalen
Bad Sassendorf

Dr. Sager, Manfred

AGES - Österreichische Agentur für
Gesundheit und Ernährungssicher-
heit GmbH, Institut für Tierernährung
und Futtermittel Geschäftsfeld Ernäh-
rungssicherung
Wien

Dr. Schneider, Stephan

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Tierernährung
und Futterwirtschaft
Grub

Dr. Severin, Karl

Landwirtschaftskammer Niedersach-
sen Geschäftsbereich Landwirtschaft
Düngebehörde
Hannover

Prof. Spiekers, Hubert

LfL-Tierernährung
Grub

Dr. Steuer, Patrick

Senzyme GmbH
Troisdorf

Dr. Strauß, Gerhard

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft,
Freising

Strenner, Martin

Technische Universität München Wis-
senschaftszentrum Weihenstephan,
Lehrstuhl für Ökologischen Landbau
und Pflanzenbausysteme
Freising

Prof. Dr. Sundrum, Albert

Universität Kassel, Fachgebiet Tierer-
nährung und Tiergesundheit
Kassel

Dr. Tauchnitz, Nadine

Landesanstalt für Landwirtschaft und
Gartenbau Sachsen-Anhalt
Bernburg

ten Huf, Martin

Hochschule Osnabrück
Osnabrück

Dr. Tillmann, Peter

VDLUFA Qualitätssicherung NIRS
GmbH
Kassel

Voit, Benno

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Pflanzenbau und
Pflanzenzüchtung, Saatgutunters-
uchung/Saatgutforschung
Freising

Dr. Weiß, Kirsten

Humboldt-Universität zu Berlin, Al-
brecht Daniel Thaer-Institut für Agrar-
und Gartenbauwissenschaften
Berlin

**Univ.-Prof. Dr. Wetscherek,
Wolfgang**

Institut für Tierernährung, Tierische
Lebensmittel und Ernährungsphysio-
logie
Wien

Prof. Zollitsch, Werner

Institut für Nutztierwissenschaften,
Universität für Bodenkultur Wien
Wien

Dr. Zorn, Wilfried

Thüringer Landesanstalt für Landwirt-
schaft (TLL)
Jena



atfarm
EINFACH. PRÄZISE. DÜNGEN.

www.atfarm.de
Telefon: 030 56 83 94 33

Sehr einfach. Sehr präzise. Sehr übersichtlich.

Atfarm ist in der Lage, kleinste Wachstumsunterschiede aller Schläge zu erkennen und bietet mit Hilfe von Satellitentechnologie die bestmöglichen Empfehlungen zum teilflächenspezifischen Düngen.

Mit Atfarm immer den Überblick über das Pflanzenwachstum der Schläge behalten und im Handumdrehen Applikationskarten erstellen.

Atfarm ist ein
Produkt von



YARAS JAHRZEHNTELANGE
ERFAHRUNG VEREINT IN ATFARMS
INTUITIVER WEB APP

C. Gerhardt gehört zu den führenden Anbietern von Laborgeräten und Verfahren zur Analyse von Futter-, und Lebensmitteln. Wir arbeiten für Bereiche, die eine hohe Anforderung an Präzision und Zuverlässigkeit stellen und für die dauerhafte Partnerschaft, Flexibilität und kontinuierliche Serviceorientierung unabdingbare Voraussetzungen sind. Dafür stehen wir, das kennt man von uns seit 1846.

Produkte

- Automatisches Extraktionssystem zur Fettbestimmung
- Vollautomatisches Hydrolysesystem für den Fettaufschluss
- C/N-Analysensysteme nach der Verbrennungsmethode von Dumas
- Wasserdampf-Destillationssysteme für vielseitige Anwendungsbereiche
- Aufschlussgeräte für die Kjeldahlanalytik sowie Spezialaufschlüsse CSB, SMA und Cyanid
- Automatische Systeme zur Rohfaserbestimmung
- Klassische Heizbänke für den vielfältigen Einsatz im Labor
- Robuste Schüttler und Inkubatoren



Cäsariusstraße 97
53639 Königswinter

info@gerhardt.de
www.gerhardt.de



PRAGMATIS.
LÖSUNGEN AUF DEN PUNKT.



Pragmatis ist Experte für Datenbankanwendungen in Labor und Technik. Wir verfügen über mehr als 30 Jahre Erfahrung in der Verwaltung und Verarbeitung von Messdaten (LIMS, LIS, LES, CAQ, AQS, ELN).

Pragmatis LIMS für Desktop, Tablet und Smartphone

Pragmatisch und modern - unsere Lösungen sind immer auf der Höhe der Zeit, und mit ihnen unsere Kunden, von denen wir die meisten seit vielen Jahren begleiten.

Informieren Sie sich über moderne Datenverarbeitung in Labor und Technik. Nehmen Sie Kontakt mit uns auf - wir freuen uns auf Sie!

www.pragmatis.de sales@pragmatis.de Telefon ++49.8165.999210
Fax ++49.8165.999218

t&p Triestram und Partner GmbH, Bochum

Mit mehr als 25-jähriger Erfahrung haben wir unser Labor-Informations- und Managementsystem lisa.lims sehr erfolgreich am Markt etabliert und in enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden ständig weiter entwickelt. Die aktuelle Version lisa.lims 10 zeichnet sich besonders durch ihre Benutzerfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit aus. Der modulare Aufbau ermöglicht die Anpassung an branchenspezifische Anforderungen.

Wir finden für jedes Labor die passende Lösung, denn die Zufriedenheit und



software.
our profession.

qualifizierte Betreuung unserer Kunden steht für uns im Mittelpunkt. Namhafte Referenzkunden bestätigen uns in dieser Philosophie mit einer

erfolgreichen, in vielen Fällen langjährigen Zusammenarbeit, wie zum Beispiel AGES in Österreich, ART in der Schweiz, LALLF, LUFA Rostock, DTC oder UFA AG in der Schweiz.

www.t-p.com



Unity Scientific GmbH

ein Unternehmen der KPM Analytics

Unity Scientific www.unityscientific.com

Die NIR-Produkte von Unity® Scientific werden zur Qualitätskontrolle in Produktion und Labor eingesetzt. Die Systeme bedienen eine breite Palette für Endmärkte wie Lebensmittel- und Milchprodukte, Landwirtschaft und Umwelt. Der Hauptsitz befindet sich in Milford, MA, USA mit zusätzlichem Büro in Weiler bei Bingen.



Process Sensors Corporation (PSC) www.processsensors.com

Die online NIR Geräte von PSC liefern genaue und zuverlässige Feuchtigkeits- und Temperaturmessungen in Herstellungsprozessen in vielen Bereichen. Der Hauptsitz von PSC ist in Milford, MA, USA mit Vertriebsbüros in Franklin Lakes, New Jersey, USA; Corby, Großbritannien und Warschau, Polen.



AMS Alliance www.amsalliance.com

AMS Alliance bietet eine breite Palette von Systemen, die komplexe Analysen für Forschung und Entwicklung, Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle in Lebensmittel-, Umwelt- und Landwirtschaftsanwendungen automatisieren. Der Vertrieb geht in alle Welt mit Standorten in Italien, Frankreich und den USA.

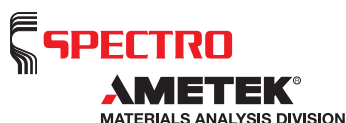


Über **CHOPIN Technologies** www.chopin.fr

Die Produkte von CHOPIN Technologies analysieren die Zusammensetzung und Funktion von Getreide, Mehlen und deren Derivaten. Die Produkte werden weltweit eingesetzt, um sicherzustellen, dass betriebliche Spezifikationen, behördliche Auflagen und Qualitätsstandards eingehalten werden. CHOPIN Technologies mit Hauptsitz in Frankreich bei Paris hat weitere Niederlassungen in USA, Peking, China.

SPECTRO ist einer der weltweit führenden Anbieter von Analysegeräten auf dem Gebiet der Optischen Emissions- und Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie. Als Unternehmensbereich der AMETEK Materials Analysis Division produziert SPECTRO zukunftsweisende Geräte, entwickelt für die verschiedenartigsten Aufgabenstellungen die besten Lösungen und stellt eine hervorragende Kundenbetreuung sicher. SPECTRO-Produkte sind bekannt für ihre einzigartige technische Leistungsfähigkeit mit messbarem Nutzen für den Kunden. Von der Gründung 1979 bis heute wurden weltweit bereits mehr als 40.000 Analysegeräte an Kunden geliefert.

AMETEK, Inc. ist ein führender, weltweit aktiver Hersteller von elektronischen und elektromechanischen Produkten mit 17.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an 150 Produktions-, Vertriebs- und Servicestandorten in 30 Ländern.



Laborservice Onken GmbH

Jann Onken gründete 1997 Laborservice Onken in Gründau-Breitenborn als Dienstleistungsunternehmen für die klassische Aminosäurenanalytik. Aus Laborservice Onken wurde im Jahr 2000 die Laborservice Onken GmbH die sich heute zum führenden Anbieter von Geräten, Verbrauchsmaterialien und Serviceleistungen im Bereich der Aminosäurenanalytik in Deutschland, Benelux, Österreich und der Schweiz entwickelt hat.

Mit dem Biochrom B30 Plus bieten wir den Anwendern im deutschsprachigen Raum und den Benelux-Ländern heute einen der modernsten Aminosäurenanalysatoren, der zurzeit weltweit für die klassischen Aminosäurenanalytik erhältlich ist.

In enger Zusammenarbeit mit der Firma Biochrom in Cambridge beraten wir Anwender in applikativen Fragen zur klassischen Aminosäurenanalytik. Für praktische Ausarbeitungen und für Kontrollanalysen steht uns in Gründau ein eigenes Applikationslabor mit Biochrom Analysatoren zur Verfügung. Die Laborservice Onken GmbH führt für die Aminosäurenanalytik mehrtägige Anwenderseminare an den aktuellen Biochrom Analysatoren durch.

Zu unseren Zielen gehört es Ihnen die Bestimmung von Aminosäuren in Futtermitteln gemäß EG-Verordnung 152/2009 gemäß Richtlinie 98/64/EG zu ermöglichen.

www.laborservice-onken.de

laborservice Onken GmbH

SEAL Analytical GmbH ist führender Hersteller von Segmented-Flow AutoAnalyzern und Discreten Analyzern mit Sitz in Norderstedt bei Hamburg. Des weiteren haben wir Verkaufsbüros in UK, USA und China sowie ein flächendeckendes Vertriebsnetz mit Distributions- und Servicepartnern weltweit.

Die Einsatzgebiete der **SEAL Analyzer** finden sich im Umweltschutz, in der Lebensmittel-, pharmazeutischen und chemischen Industrie und in der Landwirtschaft.

Hier werden die SEAL Analyzer vor allem zur Bodenanalyse und zur Analyse von Wasser und Abwasser eingesetzt.

Gerätespezifisch stehen mehr als 1.000 Applikationen zur Verfügung.

Parameter, wie z.B. NO₃, NO₂, PO₄, SiO₂, NH₄ und viele weiter sind DIN / ISO, UKAS oder USEPA konform.

SEAL Analytical hat mehr als 50 Jahre Erfahrung in Entwicklung, Anwendung und Applikation.

