



**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

# Ackerbau – technische Lösungen für die Zukunft

## Landtechnische Jahrestagung 2017



**Schriftenreihe**

6  
2017  
ISSN 1611-4159

## **Impressum**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
Internet: [www.LfL.bayern.de](http://www.LfL.bayern.de)

Redaktion: Institut für Landtechnik und Tierhaltung  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising  
E-Mail: [TierundTechnik@LfL.bayern.de](mailto:TierundTechnik@LfL.bayern.de)  
Telefon: 08161/71-3450

1. Auflage: November 2017

Druck: ES-Druck, 85356 Freising-Tüntenhäusen

Schutzgebühr: 10,00 Euro

© LfL Die Beiträge in dieser Schriftenreihe geben die Meinung der Autoren wieder.  
Titelfoto: LfL-ILT, John Deere



**KBM**  
Kuratorium Bayerischer Maschinen-  
und Betriebshilfsringe e. V.



Landeskuratorium  
für pflanzliche Erzeugung  
in Bayern e.V.

# **Ackerbau - technische Lösungen für die Zukunft**

**Landtechnische Jahrestagung  
am 21. November 2017  
in Deggendorf**

**Dr. Georg Wendl (Hrsg.)**

**Tagungsband**



# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung und ihre Herausforderungen.....</b>	<b>9</b>
<i>Dr. Markus Gandorfer, Sebastian Schleicher, Sebastian Heuser, Johanna Pfeiffer und Dr. Markus Demmel</i>	
<b>Digitale Landwirtschaft aus der Sicht eines Landmaschinenherstellers.....</b>	<b>21</b>
<i>Dr. Bernhard Schmitz</i>	
<b>Landwirtschaft 4.0 – Erfahrungen aus der Praxis .....</b>	<b>27</b>
<i>Hubertus Paetowt</i>	
<b>Verfahrenstechnische Erkenntnisse zum Einsatz von Zuckerrüben für die Biogaserzeugung .....</b>	<b>37</b>
<i>Rainer Kissel, Simon Tappen, Gabriel Streicher, Dr. Fabian Lichti und Dr. Mathias Effenberger</i>	
<b>Verfahrenstechnik zum Einsatz von Körnermaisstroh in der Biogaserzeugung .....</b>	<b>51</b>
<i>Stefan Thurner, Monika Fleschhut und Dr. Joachim Eder</i>	
<b>Auswirkungen der neuen Düngeverordnung auf die Düngestrategie .....</b>	<b>67</b>
<i>Dr. Matthias Wendland</i>	
<b>Entwicklungen in der Gülleausbringtechnik .....</b>	<b>71</b>
<i>Dr. Fabian Lichti</i>	
<b>Überregionaler Nährstoffausgleich von organischem Dünger – ein Bericht aus der Praxis .....</b>	<b>79</b>
<i>Michael Höhensteiger</i>	



## Vorwort

Die Digitalisierung als ein Megatrend unserer Zeit wird in Wirtschaft, Gesellschaft und Verwaltung einen tiefgreifenden Wandel herbeiführen. In der Landwirtschaft und im Pflanzenbau haben die Digitalisierung und die Automatisierung bereits Eingang gefunden, digitale Lösungen werden aber die Prozesse in der Landwirtschaft weiter umgestalten.

Ebenso wird die von Gesellschaft und Politik geforderte Verringerung der Umweltfolgen die gewohnte Bewirtschaftung unserer Ackerflächen verändern. Die Novellierung der Düngeverordnung ist nur ein Beispiel für den Zwang zur Steigerung der Nährstoffeffizienz und zu einem schonenderen Umgang mit unserer Umwelt.

Viel Ackerfläche wird inzwischen auch für den Anbau von Silomais für die Biogaserzeugung verwendet (ca. 1/3 der Maisanbaufläche in Bayern). Zwar wird Silomais als die ertragsstärkste Ackerkultur für die Biogaserzeugung weiterhin seine Bedeutung haben, aber auch neue Biogassubstrate wie Körnermaisstroh als kostengünstiges Koppelprodukt der Körnermaisproduktion oder auch die Zuckerrübe mit ihren sehr günstigen Fermentations-eigenschaften sind Alternativen.

Um den Ackerbau in Bayern zukunftsfähig zu halten, gilt es die aktuellen Herausforderungen wie Umweltschutz, Biodiversität und gesellschaftliche Akzeptanz proaktiv anzugehen und dabei innovativ alle technischen Möglichkeiten zu nutzen.

Die diesjährige Landtechnische Jahrestagung will daher die drei Bereiche „Landwirtschaft 4.0“, „Düngung unter neuen Voraussetzungen“ und „neue Biogassubstrate“ herausgreifen und aufzeigen, welche Entwicklung sich hier abzeichnen, aktuelle Ergebnisse aus der angewandten Forschung vorstellen und mit Berichten aus der Praxis wertvolle Erfahrungen und Erkenntnisse einbringen.

Die Vortragstagung wird gemeinsam vom Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft und der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern (ALB) in Zusammenarbeit mit dem Kuratorium bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe (KBM) und dem Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung in Bayern (LKP) veranstaltet. Wir wollen mit dieser Tagung neue Entwicklungen und Techniken für den Ackerbauern darstellen und Hilfen bei der Umsetzung geben.

Allen Teilnehmern wünschen wir eine interessante Tagung, einen intensiven Informationsaustausch, viele fachliche Anregungen und aufschlussreiche Gespräche.



Dr. Georg Wendl  
Institutsleiter





---

# Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung und ihre Herausforderungen

Dr. Markus Gandorfer, Sebastian Schleicher, Sebastian Heuser,  
Johanna Pfeiffer und Dr. Markus Demmel

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

## Zusammenfassung

Digitalisierung ist einer der Megatrends in der Landwirtschaft und im Agribusiness und betrifft alle Akteure landwirtschaftlicher Wertschöpfungsketten. Aufgrund der vielfältigen Entwicklungen ist jedoch eine Systematisierung digitaler Technologien in der Landwirtschaft schwierig. Ein möglicher Ansatzpunkt zur Systematisierung besteht darin, Smart Farming als Überkategorie für die beiden Bereiche digitale Entscheidungsunterstützung/Management sowie Precision Farming zu verstehen. Digitale Entscheidungsunterstützung/Management subsummiert dann die drei Gruppen Farm-Management-Informationssysteme, Agrar-Apps sowie digitale Marktplätze. Automatisierung, Agrarrobotik und Teilflächenbewirtschaftung hingegen sind eher zum Bereich Precision Farming zu zählen. Digitale Datenplattformen könnten zukünftig das Bindeglied zwischen den einzelnen Technologiegruppen darstellen und damit zu einer vernetzten Landwirtschaft 4.0 führen.

Trotz der enormen Medienpräsenz des Themas Digitalisierung in der Landwirtschaft zeigen aktuelle Befragungsergebnisse, dass die Verbreitung digitaler Technologien in Bayern, von wenigen Ausnahmen abgesehen, noch sehr begrenzt ist. Mit Hilfe einer Medienanalyse konnten wichtige Akzeptanzhemmnisse für diese zurückhaltende Investitionsbereitschaft identifiziert werden. Zu diesen zählen insbesondere der oftmals hohe Investitionsbedarf und die damit verbundene fragliche Wirtschaftlichkeit, Inkompatibilität, fehlende Entscheidungsalgorithmen sowie die mangelnde Anwenderfreundlichkeit. Aspekte wie Datenschutz und Datenhoheit gewinnen dagegen erst in den letzten Jahren an Bedeutung. In diesem Kontext scheint es langfristig wichtig, dass ein transparenter Markt für betriebliche Daten entsteht. Landwirtschaftliche Betriebe müssen unmittelbar davon profitieren, wenn Dritte ihre Daten nutzen wollen, damit Landwirtschaft 4.0 Realität wird. Schließlich zeigt die Anwendung von ADOPT (Adoption and Diffusion Outcome Prediction Tool) am Fallbeispiel teilflächenspezifische Stickstoffdüngung mit Sensortechnik, dass insbesondere die Bereiche Bedienerfreundlichkeit und Investitionsbedarf Schlüsselbereiche darstellen, um die Verbreitung dieser Technologie in der Praxis zu erhöhen. Deshalb wird die Projektgruppe Digitalisierung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft unter anderem ein Konzept für den überbetrieblichen Einsatz von Sensoren zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung erarbeiten und einen Leitfaden entwickeln, der einen möglichst einfachen Einstieg in die Technologie erlaubt.

## 1 Einleitung

Digitalisierung ist einer der Megatrends in der Landwirtschaft und im Agribusiness und betrifft alle Akteure landwirtschaftlicher Wertschöpfungsketten - vom vorgelagerten Bereich über Produktion, Handel, Verarbeitung und Lebensmitteleinzelhandel bis zum Konsumenten. Neben diesen Akteuren sind aber auch die Bereiche Forschung, Bildung, Beratung und die Verwaltung von den rasanten Entwicklungen im Bereich Landwirtschaft 4.0 sowie der Digitalisierung maßgeblich betroffen.

Zur Illustration zeigt Abbildung 1 aktuelle Fragestellungen bzw. Herausforderungen für die verschiedenen Akteure in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten exemplarisch auf.

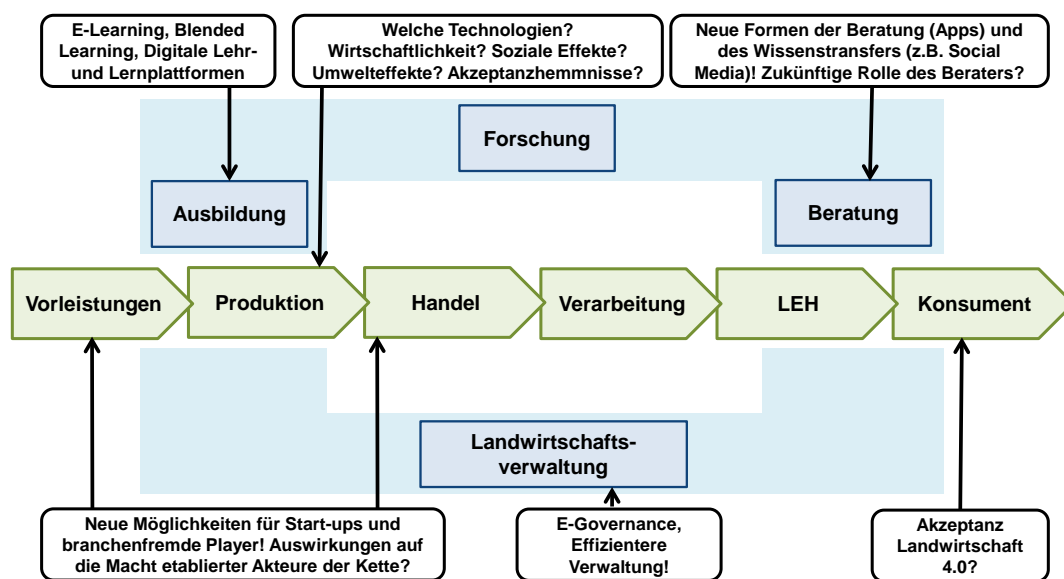


Abb. 1: Einfluss der Digitalisierung und Landwirtschaft 4.0 auf die Akteure landwirtschaftlicher Wertschöpfungsketten. Quelle: Wertschöpfungskette verändert nach BUROSE (2014)

Was aber bedeutet eigentlich Landwirtschaft 4.0? Ein zentrales Kernelement von Landwirtschaft 4.0 ist die intelligente Vernetzung von Produktionsprozessen nicht nur auf dem landwirtschaftlichen Betrieb, sondern über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg - also auch im vor- und nachgelagerten Bereich. Die Lenkung dieser vernetzten Produktionsprozesse soll zudem vom Konsumenten- bzw. Gesellschaftsinteresse aus erfolgen (VGL. INNOVATIONSINITIATIVE DES LEIBNIZ-FORSCHUNGSVERBUNDS „NACHHALTIGE LEBENSMITTELPRODUKTION & GESUNDE ERNÄHRUNG“ (2016)).

## 2 Systematik Digitalisierung im Pflanzenbau

Um die verschiedenen Teilbereiche der Digitalisierung im Pflanzenbau erläutern zu können, bedarf es einer gewissen Systematik. Vor nahezu 20 Jahren hat AUERNHAMMER (1999) eine einprägsame Gliederung mit den damals relevanten Technologien entwickelt. Unter dem Oberbegriff „Präziser Ackerbau“ (Precision Farming) verstand AUERNHAMMER (1999) die vier Teilbereiche Dokumentation, Teilflächenbewirtschaftung, Flottenmanagement und Feldrobotik. Aufgrund umfangreicher Entwicklungen haben die digitalen Technologien im Zeitverlauf an Vielfalt und Komplexität gewonnen. Ein Ansatzpunkt zur

Systematisierung (siehe Abb. 2) besteht heute darin, Smart Farming als Überkategorie für die beiden Bereiche digitale Entscheidungsunterstützung/Management sowie Precision Farming zu verstehen. Digitale Entscheidungsunterstützung/Management subsummiert dann die drei Gruppen Farm-Management-Informationssysteme (FMIS), Agrar-Apps sowie digitale Marktplätze. Wohingegen Automatisierung, Agrarrobotik und Teilflächenbewirtschaftung zum Bereich Precision Farming zu zählen sind. Digitale Datenplattformen könnten zukünftig das Bindeglied zwischen den einzelnen Technologiegruppen darstellen und damit zu einer vernetzten Landwirtschaft 4.0 führen.

### 3 Einsatz Digitaler Technologien in Deutschland und Bayern

Wissenschaftlich belastbare Informationen zum Einsatzumfang digitaler Technologien sind für die deutsche bzw. bayerische Landwirtschaft nur sehr eingeschränkt verfügbar beziehungsweise meist nicht aktuell. So haben beispielsweise REICHARDT und JÜRGENS (2009) im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundforschungsprojekts *preagro* im Zeitraum von 2001 bis 2006 Landwirte befragt, die bereits Precision Farming Technologien nutzten. Ein wesentliches Ergebnis dieser Befragungen war, dass zwar relativ viele der befragten Landwirte Technologien zur digitalen und georeferenzierten Erfassung von Boden- und Ertragsheterogenität einsetzten, diese Informationen aber nur sehr begrenzt in Form eines teilflächenspezifischen Managements umgesetzt wurden. Wie sich das Verhältnis zwischen „Datensammeln“ und „Datennutzung“ zur verbesserten Entscheidungsfindung aktuell darstellt, ist empirisch nicht belegbar und stellt daher ein wichtiges Forschungsfeld dar. Es kann aber gemutmaßt werden (vgl. Abschnitt 4. Akzeptanzhemmnisse), dass sich dieses Verhältnis noch nicht grundlegend zum Besseren verändert hat.

Auf die Frage: „Nutzen Sie digitale Anwendungen im Sinne von Landwirtschaft 4.0?“ haben bei einer im Jahr 2016 durchgeführten repräsentativen Befragung von 521 Landwirten und Lohnunternehmen in Deutschland 53 % der Befragten mit „ja“ geantwortet (Bitkom Research zitiert in ROHLER und KRÜSKEN, 2016). Für nur 16 % der Befragten ist der Einsatz solcher Technologien kein Thema. Mit direktem Bezug zu Bayern ist die von ROOSEN und GROß im Februar/März 2017 durchgeführte Befragung von 92 bayerischen Landwirten (ROOSEN und GROß, 2017) die jüngste und belastbarste Quelle (vgl. Abb. 3). Wie Abbildung 3 illustriert, kann die Situation insgesamt als eher zurückhaltend beschrieben werden. Am häufigsten werden von bayerischen Betrieben in der Außenwirtschaft demnach digitale Ackerschlagkarteien und Agrar-Apps eingesetzt, wohingegen der Einsatz von verschiedenen Technologien zur Teilschlagbewirtschaftung im Bereich von 10 bis 13 % anzusiedeln ist. Komplexere Farm-Management Software setzten 11 % der Befragten ein. Regelspurverfahren bzw. intelligente landwirtschaftliche Maschinen nutzten 17 % bzw. 20 % der Befragten. Diesen beiden Kategorien sind vermutlich Spurführungssysteme zuzuordnen, die, wie auch aus anderen Quellen (z.B. SCHÖFBECK und GANDORFER, 2012) bekannt ist, aufgrund vielfältiger Vorteile eine relativ große Akzeptanz besitzen. Auch die Ergebnisse zur zukünftigen Investitionsneigung zeigen für die befragten bayerischen Landwirte ein eher zurückhaltendes Bild. So gaben 17 % der Befragten an, dass sie sicher in eine Ertragskartierung investieren möchten. Ertragskartierung ist damit die Technologie, in die am meisten Landwirte investieren möchten (vgl. Abb. 3).

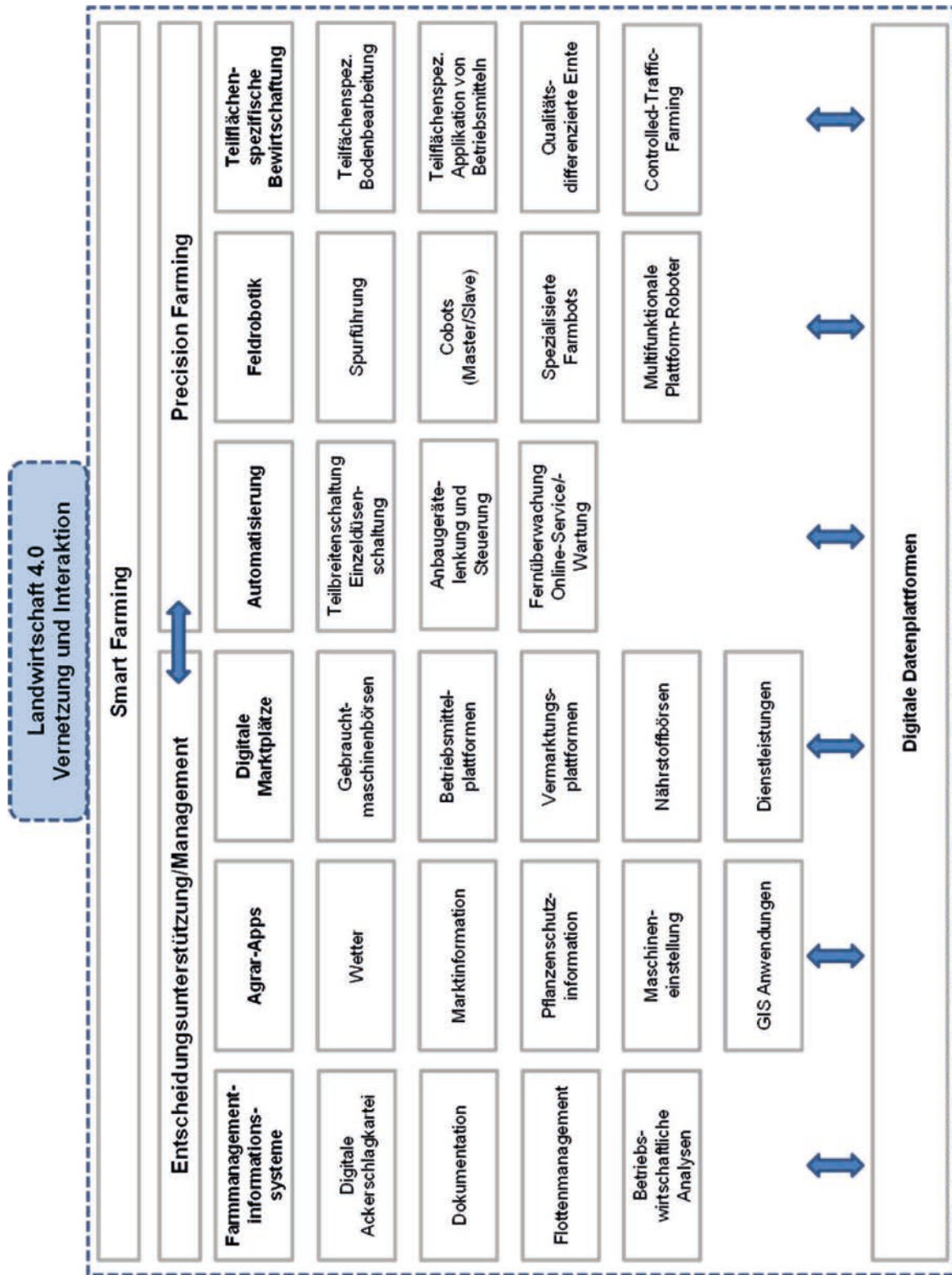


Abb. 2: Systematik Landwirtschaft 4.0 – Smart Farming – Precision Farming

Diese Ergebnisse relativieren das positive Bild, das durch die Ergebnisse der vorher dargestellten Bitkom Research Befragung gewonnen wurde. ROOSEN und GROß (2017, S. 193) kommen daher zum Schluss, dass „vor allem kostengünstige sowie einfach zu handhabende digitale Lösungen genutzt werden“.

Damit bleibt festzuhalten, dass das Thema Digitalisierung und Landwirtschaft 4.0 eine enorme Präsenz in den Fachzeitschriften und auf diversen Veranstaltungen besitzt, es gibt auch kaum ein landwirtschaftsnahes Gremium (Verbände, wissenschaftliche Beiräte, etc.) das sich diesem Thema nicht in Form eines Positionspapieres oder einer Stellungnahme angenommen hätte. Dies darf aber nicht darüber hinweg täuschen, dass der tatsächliche Praxiseinsatz aktuell noch als gering einzustufen ist, insbesondere in kleinstrukturierten Agrarregionen, wie sie in Bayern vorherrschen. Es stellt sich damit die Frage nach den relevanten Akzeptanzhemmnissen.

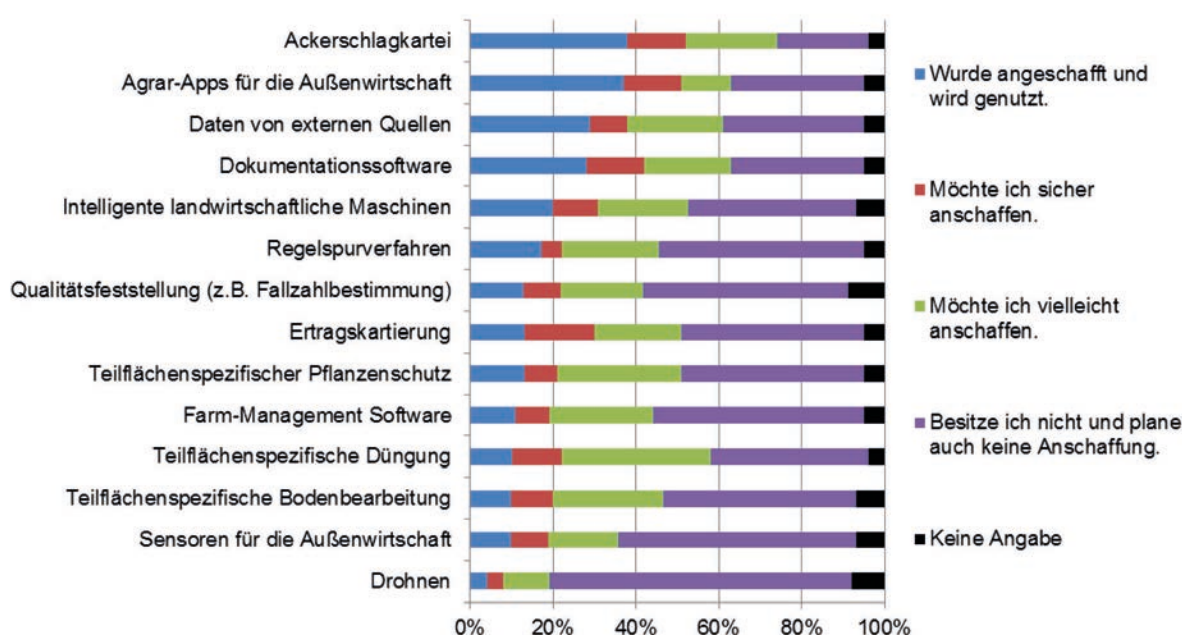


Abb. 3: Welche digitalen Anwendungen und Technologien benutzen Sie bzw. planen Sie innerhalb der nächsten zwölf Monate anzuschaffen? Befragung von 92 bayerischen Landwirten. Quelle: Abbildung verändert nach ROOSEN und GROß (2017)

## 4 Akzeptanzhemmnisse

Wie bereits beschrieben bleibt der tatsächliche Einsatz digitaler Technologien in der Landwirtschaft hinter den Erwartungen zurück und es stellt sich die Frage, welche Faktoren dafür verantwortlich sind. Dieses Wissen ist essentiell, wenn es darum geht, Strategien zu entwickeln, um den Einsatz innovativer digitaler Anwendungen zu befördern. Akzeptanzhemmnisse für den Bereich Precision Agriculture bzw. Precision Farming werden zwar seit längerer Zeit mit verschiedenen methodischen Ansätzen untersucht (z. B. BRAMLEY 2009; AUBERT ET AL. 2012), allerdings liegen kaum aktuelle wissenschaftlichen Untersuchungen für Deutschland bzw. Bayern vor. Um diese Lücke zu schließen, wurde eine Medienanalyse durchgeführt. Für die Medienanalyse wurden drei landwirtschaftliche Fachzeitschriften ausgewählt, die das ganze Spektrum der Landwirtschaft behandeln. Dabei wurden als deutschlandübergreifende Zeitschriften „top agrar“ und „dlz agrarmagazin“

ausgewählt. Weiterhin wurde das „Bayerische Landwirtschaftliche Wochenblatt“ analysiert. Als Analysezeitraum wurde die Zeitspanne vom 01.01.2008 bis zum 30.06.2017 festgelegt. Mit einer thematisch bezogenen Key-Wordliste konnten insgesamt 240 Artikel in den drei Fachzeitschriften im Untersuchungszeitraum identifiziert werden. In 46 der insgesamt 240 Fachbeiträge werden Akzeptanzhemmnisse thematisiert. Die Analyse der wissenschaftlichen Literatur ergab folgende Kategorien für die Akzeptanzhemmnisse: „Datenhoheit“, „Datenschutz“, „fehlende Entscheidungsalgorithmen“, „fehlende Marktkenntnis“, „fehlendes IT-Know-how“, „fragliche Wirtschaftlichkeit“, „hoher Investitionsbedarf“, „Inkompatibilität“, „komplizierte Bedienung“, „technische Störanfälligkeit“, „Unfallgefahr“ und „unzureichender Breitbandausbau“, die für die Zuordnung genutzt werden. Zu beachten ist, dass in der Mehrzahl der analysierten Artikel mehrere Akzeptanzhemmnisse genannt werden. Um Veränderungen im Zeitverlauf diskutieren zu können, werden die beiden gleichgroßen Zeiträume 2009-2012 sowie 2013-2016 im Folgenden getrennt betrachtet und verglichen.

Die Ergebnisse der Medienanalyse zeigen, dass der *hohe Investitionsbedarf* sowie die damit einhergehende *fragliche Wirtschaftlichkeit* im Zeitraum 2009-2012 ein wesentliches Hemmnis darstellten. Ähnliches gilt für die Hemmnisse *fehlendes IT-Know-how*, *Inkompatibilität* und *komplizierte Bedienung* (siehe Abb. 4). Bei einem Vergleich der beiden Untersuchungszeiträume fällt auf, dass mit Ausnahme der *Inkompatibilität* sowie *fehlender Entscheidungsalgorithmen* eine gewisse Verbesserung stattgefunden hat, wobei der *hohe Investitionsbedarf* nach wie vor eine große Bedeutung besitzt. *Inkompatibilität* hat tendenziell sogar an Bedeutung gewonnen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich im Zuge von Landwirtschaft 4.0 und der damit einhergehenden Vernetzung nicht nur Kompatibilitätsprobleme zwischen Traktor, Bedienterminal und Anbaugerät ergeben, sondern vermehrt zwischen Maschinen bzw. Sensoren und Farm-Management-Informationssystemen sowie Digitalen Plattformen. Anders ausgedrückt, durch die angestrebte Vernetzung ergeben sich heute wesentlich mehr Möglichkeiten für Inkompatibilität und dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Medienanalyse wieder. Zu beobachten ist auch, dass *Datenschutz/Datenhoheit* vor allem in den letzten Jahren thematisiert wurde. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass sogenannte Cloud-Anwendungen sowie Datenplattformen, auf denen Daten unterschiedlichen Ursprungs zusammengeführt werden, noch relativ neu sind. Überraschend ist die geringe Bedeutung des Hemmnisses *unzureichender Breitbandausbau* und damit auch kritisch zu hinterfragen.

Die dargestellten Ergebnisse der Medienanalyse zu vorhandenen Akzeptanzhemmnissen liefern wertvolle Erkenntnisse für die Branche. Probleme wie *technische Störanfälligkeit*, *komplizierte Bedienung* sowie *fehlendes IT-Know-how* scheinen abzunehmen. Sowohl auf die Reduzierung von Kompatibilitätsproblemen als auch auf zufriedenstellende Konzepte für Datenschutz und Datenhoheit ist jetzt besonders zu fokussieren. In diesem Kontext scheint es langfristig wichtig, dass ein transparenter Markt für betriebliche Daten entsteht. Landwirtschaftliche Betriebe müssen von der Weitergabe ihrer Daten unmittelbar profitieren, damit Landwirtschaft 4.0 Realität wird. Ein Baustein für einen solchen Markt könnten digitale Datenplattformen sein.

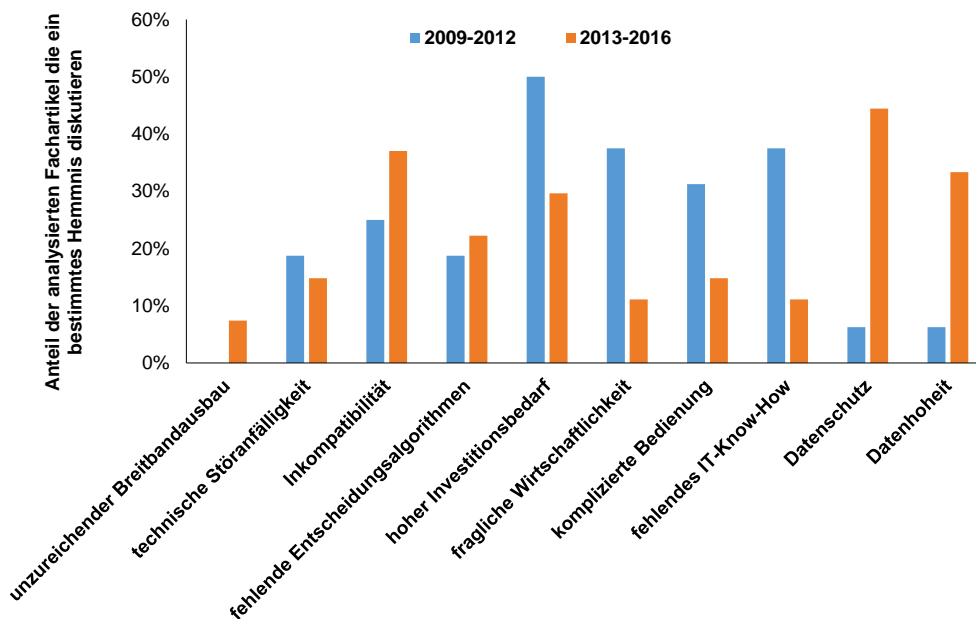


Abb. 4: Medienanalyse zu Akzeptanzhemmnissen

**Exkurs: Akzeptanzhemmnis hoher Investitionsbedarf am Beispiel von RTK-Lenkssystemen**

Am Beispiel von RTK-Lenkssystemen zeigt Abbildung 5 exemplarisch die Bedeutung des hohen Investitionsbedarfs für viele Smart-Farming-Technologien. Selbst unter Berücksichtigung des seit dem 01.10.2017 kostenfreien RTK-Korrektursignals von SAPOS (Landwirtschaftlicher Fahrzeugpositionierungsservice: LFPS) ist eine größere Flächenausstattung notwendig, um die Gewinnschwelle zu erreichen. Aus Befragungen (z. B. SCHÖFBECK und GANDORFER, 2012) wird jedoch deutlich, dass Nutzer von Lenkssystemen die Aspekte Arbeitsentlastung, höhere Arbeitsqualität und Ausdehnung der Arbeitszeit in die Nacht wesentlich wichtiger einschätzen als die Reduzierung der variablen Kosten. Dies hat zur Konsequenz, dass oftmals auch Betriebe mit geringerer Flächenausstattung in solche Smart-Farming-Technologien investieren.

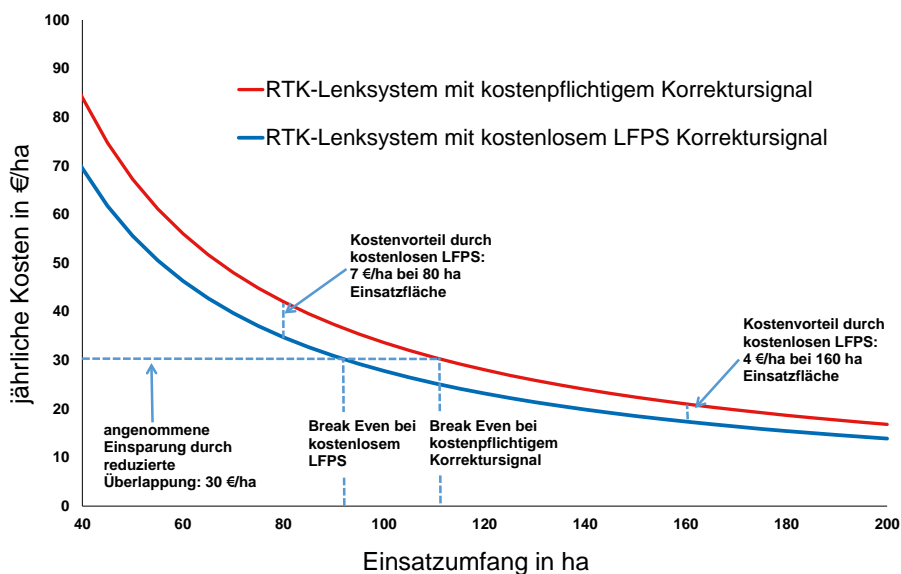


Abb. 5: Break-Even-Analysen RTK-Lenkssystem. Quelle: GANDORFER ET AL. (2017)

## 5 Ausblick: Ansatzpunkte zur Steigerung des Einsatzes von digitalen Technologien in der landwirtschaftlichen Praxis

In welcher Geschwindigkeit und in welchem Umfang digitale Innovationen in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzt werden, wird von vielen Faktoren und Wirkungszusammenhängen determiniert, die weit über die oben dargestellten Akzeptanzhemmnisse hinausgehen. Mit ADOPT (**A**doption and **D**iffusion **O**utcome **P**rediction **T**ool) steht ein Prognosemodell für den landwirtschaftlichen Sektor zur Verfügung, das diese Faktoren und deren Interaktion berücksichtigt (KUEHNE ET AL., 2017). ADOPT prognostiziert dabei die Dauer bis zur Übernahme und den maximalen Verbreitungsgrad von Innovationen in der landwirtschaftlichen Praxis nach der Markteinführung. Die Entwickler des Modells haben es mit sechs in Australien bereits am Markt eingeführten Innovationen (automatische Lenksysteme, Bt Baumwolle, Lupinenanbau, neue Weizensorte, No-Till, Salzbuschanbau) validiert. Die Differenz zwischen vorhergesagtem und tatsächlichem Verbreitungsgrad lag dabei zwischen 0 und 8 %, hinsichtlich des Zeitraums betrug diese Differenz 0 bis 5 Jahre. ADOPT richtet sich insbesondere an Politik, Beratung und Wissenschaft. Durch die Anwendung von ADOPT soll ein besseres quantitatives Verständnis dafür entwickelt werden, welche Faktoren die Einführung von Innovationen in die landwirtschaftliche Praxis beeinflussen. ADOPT berücksichtigt 22 Variablen, die vier Bereichen (siehe Abb. 6) zuzuordnen sind. Die Parametrisierung von ADOPT für eine zu untersuchende Innovation erfolgt über 22 zu beantwortende Fragen. Detaillierte Informationen zu ADOPT finden sich bei KUEHNE ET AL. (2017).

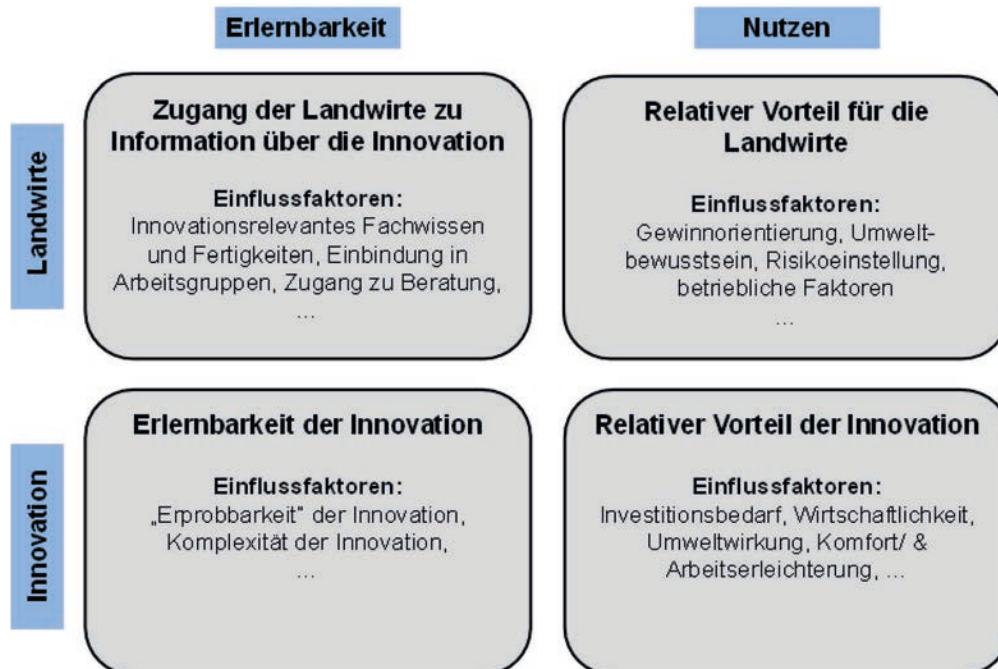


Abb. 6: Theoretischer Rahmen von ADOPT (Adoption and Diffusion Outcome Prediction Tool). Quelle: Abbildung in Anlehnung an KUEHNE ET AL. (2017)

Im Folgenden werden die Ergebnisse einer beispielhaften Anwendung von ADOPT zur Vorhersage der Einführung und Verbreitung von Sensorsystemen zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung in Bayern dargestellt. Es handelt sich dabei um eine allgemeine nicht produktspezifische Analyse. Entsprechende Technologien sind ungefähr seit dem



Jahr 2000 für die Praxis verfügbar. Die Parametrisierung von ADOPT erfolgte mit Hilfe von Literaturangaben sowie mit Informationen aus Expertengesprächen. Die Ergebnisse der ADOPT-Anwendung für Sensoren zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung ergibt, dass für die definierte Ausgangssituation mit einer maximalen Verbreitung von 14 % zu rechnen ist, die 17 Jahre nach Markteinführung erreicht werden sollte (Tab. 1). Ein Vergleich dieser Prognoseergebnisse mit den von ROOSEN und GROß (2017) ermittelten Einsatzumfängen einer teilflächenspezifischen Düngung von etwa 10 % zeigt zwar, dass ADOPT den Einsatzumfang überschätzt, insgesamt ist die Prognosegüte von ADOPT jedoch als sehr gut einzuschätzen. Ausgehend von diesen Ergebnissen stellt sich die Frage, mit welchen Maßnahmen der Verbreitungsgrad umweltschonender Sensorik zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung erhöht werden kann. Diese Frage kann mit Hilfe von Szenario-Analysen bearbeitet werden. In der Ausgangssituation wird bei der dargestellten ADOPT-Anwendung angenommen, dass durch den Einsatz eines Sensorsystems zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung ein „mittlerer“ (Arbeits-) Mehraufwand im Vergleich zur üblichen einheitlichen Düngung entsteht. Dieser entsteht beispielsweise (in Abhängigkeit des eingesetzten Systems) durch notwendige Kalibrierungen, evtl. auch durch technische Störungen oder Kompatibilitätsprobleme (vgl. Abschnitt 4 Akzeptanzhemmnisse). Würde es gelingen, diesen Mehraufwand drastisch zu reduzieren, so wie in Szenario 1 (vgl. Tab. 1) dargestellt, dann würde sich der mit ADOPT prognostizierte maximale Verbreitungsgrad von 14 % auf 43 % erhöhen.

*Tab. 1: Anwendung von ADOPT auf Sensoren zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung in Bayern*

	<b>Ausgangssituation</b>	<b>Szenario 1: einfachere Handhabung</b>	<b>Szenario 2: reduzierter Investitionsbedarf</b>
<b>Definition der Szenarien*</b>			
Investitionsbedarf (Frage 14)	hoch	hoch	mittel
Anwenderfreundlichkeit (Frage 22)	Im Vergleich zur einheitlichen Düngung mittlerer Mehraufwand (z. B. Kalibrierung, etc.)	Im Vergleich zur einheitlichen Düngung kein Mehraufwand	Im Vergleich zur einheitlichen Düngung mittlerer Mehraufwand (z. B. Kalibrierung, etc.)
<b>ADOPT Prognoseergebnisse</b>			
Prognostizierter maximaler Einsatzumfang	14 %	43 %	38 %
Prognostizierte Jahre bis maximaler Verbreitungsgrad erreicht wird	17	16	15

*\*es werden hier nur die beiden Variablen (der insgesamt 22 Variablen) dargestellt, die sich zwischen den Szenarien unterscheiden*

Ein weiterer Hebel ist der Investitionsbedarf, der schließlich auch die Wirtschaftlichkeit wesentlich beeinflusst. Wie Szenario 2 zeigt, würde ein reduzierter Investitionsbedarf (von hoch auf mittel) den Verbreitungsgrad von 14 % in der Ausgangssituation auf 38 % beträchtlich erhöhen.

Die Reduzierung des Investitionsbedarfes lässt sich beispielsweise durch eine gemeinschaftliche Beschaffung (Maschinengemeinschaft) erreichen. Deshalb wird die Projektgruppe Digitalisierung der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft ein Konzept für den überbetrieblichen Einsatz von Sensoren zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung erarbeiten, erproben und darauf aufbauend einen Leitfaden entwickeln, der einen möglichst einfachen Einstieg in diese Technologie erlaubt.

## **6 Zielsetzung der Projektgruppe Digitalisierung in der Landwirtschaft**

Die Projektgruppe Digitale Landwirtschaft wird sich vielen weiteren der im Beitrag aufgeworfenen Fragestellungen widmen und dazu beitragen, dass gerade auch die bayerischen Betriebe an den Vorteilen der Landwirtschaft 4.0 partizipieren können. So beinhaltet das Arbeitsprogramm eine detaillierte Marktanalyse und Bewertung der verfügbaren Technologien vor dem Hintergrund der in Bayern vorherrschenden Strukturen. Besonders vielversprechende Ansätze werden auf den Lehr-, Versuchs- und Fachzentren der LfL sowie auf Pilotbetrieben erprobt und bewertet. Dies gilt auch für Technologien, für die das verfügbare Wissen nicht ausreichend bzw. nicht belastbar ist. Zusätzlich wird sich die Projektgruppe weiterhin mit Akzeptanzhemmnissen auf Seiten der Landwirtschaft sowie mit der gesellschaftlichen Akzeptanz der Digitalisierung in der Landwirtschaft beschäftigen.

## **7 Danksagung**

Die Autoren danken dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Förderung des Forschungsvorhabens D/17/01.

## **8 Literaturverzeichnis**

AUERNHAMMER, H. (1999). Informationstechnologie in der Landnutzung. AgTecCollection: Institut für Landtechnik TUM / Zeichenbüro, TU München 2009. URL: <http://mediatum.ub.tum.de/?id=733135> (abgerufen am 02.10.2017)

AUBERT, B. A.; SCHROEDER, A.; GRIMAUDO, J. (2012). IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision Support Systems*, 54, 510-520

BRAMLEY, R. G. V. (2009). Lessons from nearly 20 years of precision agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. *Crop and Pasture Science*, 60, 197-217

BUROSE, F. (O. J.): Kompetenznetzwerk Ernährungswirtschaft. URL: [http://www.ernaehrungswirtschaft.ch/aktuell/aktuell\\_details/jetzt-werden-die-faeden-auch-interkantonal-gespannt-das-kompetenznetzwerk-ernaehrungswirtschaft-erweitert-seinen-perimeter-77.html](http://www.ernaehrungswirtschaft.ch/aktuell/aktuell_details/jetzt-werden-die-faeden-auch-interkantonal-gespannt-das-kompetenznetzwerk-ernaehrungswirtschaft-erweitert-seinen-perimeter-77.html) (abgerufen am 26.9.2017)

GANDORFER, M.; NOACK, P.O., SCHLEICHER, S. (2017): Kostenloses RTK-Korrektursignal von SAPOS: Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von RTK-Lenksysteme. Erscheint im Bayerischen Landwirtschaftlichen Wochenblatt

KUEHNE, G.; LLEWELLYN, R.; PANNELL, D. J.; WILKINSON, R.; DOLLING, P.; OUZMAN, J.; EWING, M. (2017). Predicting farmer uptake of new agricultural practices: A tool for research, extension and policy. *Agricultural Systems*, 156, S. 115-125

Innovationsinitiative des Leibniz-Forschungsverbunds „Nachhaltige Lebensmittelproduktion & gesunde Ernährung“ (2016). Positionspapier der Innovationsinitiative Landwirtschaft 4.0. URL:

[https://www.atb-potsdam.de/fileadmin/docs/Temporaer/170518\\_Positionspapier\\_Landwirtschaft\\_4.0\\_f.pdf](https://www.atb-potsdam.de/fileadmin/docs/Temporaer/170518_Positionspapier_Landwirtschaft_4.0_f.pdf) (abgerufen am 04.10.2017)

REICHARDT, M.; JÜRGENS, C. (2009). Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups. *Precision Agriculture*, 10, 73-94

ROOSEN, J.; GROß, S. (2017). Agrar- und Ernährungswirtschaft. In: Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (Hrsg.), *Neue Wertschöpfung durch Digitalisierung* (S. 175-209). München

ROHLEDER, B.; KRÜSKEN, B. (2016). Digitalisierung in der Landwirtschaft. URL: [https://www.bitkom-research.de/WebRoot/Store19/Shops/63742557/5819/BD75/5F7A/C381/3D6E/C0A8/2BBA/AC38/Digitalisierung\\_in\\_der\\_Landwirtschaft.pdf](https://www.bitkom-research.de/WebRoot/Store19/Shops/63742557/5819/BD75/5F7A/C381/3D6E/C0A8/2BBA/AC38/Digitalisierung_in_der_Landwirtschaft.pdf) (abgerufen am 26.09.2017)

SCHÖFBECK, J.; GANDORFER, M. (2012). Lenksysteme. Hohe Zufriedenheit. *Neue Landwirtschaft*, 6/2012, 50-52



# **Digitale Landwirtschaft aus der Sicht eines Landmaschinenherstellers**

Dr. Bernhard Schmitz

AGCO International GmbH, Victor von Bruns Straße 17, 8212 Neuhausen am Rheinfall  
(Schweiz)

## **Zusammenfassung**

Die Landwirtschaft steht vor der großen Herausforderung, immer mehr Menschen mit tendenziell knapper werdenden Ressourcen zu ernähren. Die digitale Landwirtschaft wird als Schlüssel angesehen, um diese Herausforderung zu meistern. Digitale Produkte auf Landmaschinen sind keine Erfindung der letzten Jahre, sondern haben teilweise eine über 30-jährige Historie; die Adaption von digitalen Lösungen hinkt aber noch immer den Erwartungen hinterher, wobei sich einzelne Lösungen wie zum Beispiel automatische Lenksysteme mittlerweile zum Standard entwickeln. Es ist festzustellen, je „erfahrbarer“ der Nutzen einer Lösung ist, desto schneller oder weiter vorangeschritten ist die Adaption auf der Landmaschine. Allerdings wird das Potential für die Landwirtschaft in den Daten mit dem Big Data Ansatz noch weitaus höher angesehen als das, was bislang mit den Onboard Technologien erzielt wurde. Standardisierung und Kompatibilitäten zwischen den unterschiedlichen Maschinen und Systemen im landwirtschaftlichen Betrieb sind daher der Schlüssel, um dieses Potential zu heben. Neue Services und Dienstleistungen werden sich entwickeln, um gemeinsam mit dem Landwirt dieses Potential zu erschließen.

## **1 Einleitung**

Es ist unbestritten, dass die Landwirtschaft vor großen Herausforderungen steht: Bis zum Jahr 2050 wird die Weltbevölkerung auf bis zu 10 Milliarden Menschen steigen, aber auch die Ernährungsgewohnheiten werden sich verändern. Insbesondere in den so genannten Schwellenländern ist ein Trend zu proteinreicherer Nahrung in Form von Fleisch festzustellen, was wiederum einen höheren Bedarf an pflanzlicher Erzeugung bedingt. Daneben wird weiterhin ein Fokus auf der nachhaltigen Landwirtschaft liegen. Betriebsmittel müssen also bewusster und dosierter angewendet werden, um den maximalen Effekt mit diesen zu erreichen. Diese Tatsachen sind generell von der Landtechnikindustrie erkannt, finden sich aber auch in den Jahresberichten von nahezu allen Konzernen, die im Agrarbereich tätig sind. Um diese Herausforderungen zukünftig bewerkstelligen zu können, wird der digitalen Landwirtschaft eine Schlüsselrolle beigemessen.

## 2 Begrifflichkeit

Digitale Landwirtschaft ist ein noch recht junger Begriff. Synonyme Begrifflichkeiten sind Landwirtschaft 4.0, Smart Farming oder auch Precision Farming, wobei die Begrifflichkeiten evolutiv anzusehen sind. Der letztgenannte Begriff findet seinen Ursprung bereits in den 90er Jahren. Griepentrog<sup>1</sup> differenziert zwischen den Begriffen folgendermaßen:

- Precision Farming stellt schwerpunktmäßig die teilflächenspezifische Bearbeitung dar, bei der die Wachstumsbedingungen mittels Sensorik und Applikationstechnik optimiert werden.
- Smart Farming fügt eine Ebene der Entscheidungsunterstützung mittels Fusion und Analyse von Informationen hinzu.
- Digitale Landwirtschaft bzw. Farming 4.0 umfasst das Internet der Dinge sowie Cloud Computing und Big Data.

AGCO bzw. die Vorgängerunternehmen, die heute zum AGCO Konzern gehören, haben eine lange Tradition im Bereich Precision Farming. So führte Massey Ferguson bereits 1984 mit der Datatronic 1 den ersten Bordrechner in einen Schlepper ein, der u.a. die bearbeitete Fläche sowie Dieserverbräuche nach Stunde oder Fläche berechnen konnte. 1991 bot Massey Ferguson wiederum einen Ertragsmonitor auf seinen Mähdreschern erstmalig kommerziell in der Preisliste an. Ende der 1990er Jahre kamen dann die ersten Lenksysteme auf Challenger Raupenschleppern auf. Ebenfalls in den 1990er Jahren führte Ag-Chem die teilflächenspezifische Ausbringungsmengensteuerung auf seinen Maschinen ein. Damit wurden zunächst Nährstoffe auf Basis von Applikationskarten ausgebracht. 1999 wurde erstmals auf einem Massey Ferguson ein lauffähiges Telemetriesystem gezeigt.

Im Jahr 2013 bündelte AGCO seine Digital Farming Aktivitäten im Rahmen von Fuse Technologies, welches eine Unternehmensstrategie darstellt. Hiernach werden die Unternehmensaktivitäten an den Anforderungen der digitalen Landwirtschaft konsequent ausgerichtet. Dabei gehören nicht nur Technologielösungen selbst zu den Entwicklungszielen, sondern auch Services und Dienstleistungen, die auf Basis von Technologielösungen überhaupt erst ermöglicht werden.

Generell kann zwischen Onboard und Offboard Technologien differenziert werden.

## 3 Onboard Technologien

Obwohl manche Technologien schon seit 30 Jahren und länger im Markt vorhanden sind, ist die Akzeptanz bzw. Verbreitung teilweise noch recht überschaubar. Der größte Durchbruch einer Technologie im Sinne der digitalen Landwirtschaft waren die automatischen Lenksysteme, die Anfang der 2000er von allen großen Herstellern angeboten wurden, aber auch von verschiedenen Nachrüstern. Mittlerweile sind diese Systeme, die ein großes Einsparpotenzial an Betriebsmitteln bieten, aber auch zu einer erhöhten Flächenleistung sowie einer enormen Fahrerentlastung beitragen, nahezu Standard auf Großtraktoren

---

<sup>1</sup> Griepentrog (2017), [http://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung\\_1/Landinfo/Landinfo\\_extern/2017/03\\_2017\\_HT/Griepentrog\\_Landinfo3-17.pdf](http://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung_1/Landinfo/Landinfo_extern/2017/03_2017_HT/Griepentrog_Landinfo3-17.pdf)

von AGCO. So wird heute kaum noch ein Fendt 800, 900 oder 1000 ohne Lenksystem ausgeliefert. Die zunehmende Stabilität aufgrund des technischen Fortschritts, bessere Integration in das Gesamtfahrzeug, günstigere Elektronikkomponenten bzw. GNSS Technologien sowie die schlichtweg „fühlbaren“ Vorteile der Fahrerentlastung waren hierbei positive Einflussfaktoren.

Der Einsatz von Lenksystemen beschränkt sich bei AGCO nicht nur auf Großschlepper. Mittlerweile bietet z.B. Fendt auf allen Traktorbaureihen von 70 bis 517 PS eine Lenksystemlösung an. Auf der Baureihe 200 Vario von Fendt ist seit neustem eine Ultraschalllösung für den Obst- bzw. Weinbau im Angebot. Dies zeigt, dass AGCO eine bestmögliche Integration von Technologielösungen in seine Maschinen anstrebt.

Der Schritt von einem automatischen Lenksystem zu einem autonomen Fahrzeug scheint von technischer Seite recht einfach, jedoch stehen rechtliche aber auch einfach nur praktische Gründe noch dagegen, da der Fahrer noch dazu benötigt wird, den Arbeitsprozess zu überwachen und ggf. zu optimieren.

Eine weitere Technologie, die mittlerweile eine breite Anwendung findet, ist die automatische Teilbreitenschaltung oder auch Section Control. Hier werden einzelne Teilbreiten je nach Position zu- oder abgeschaltet. Eine weite Verbreitung findet sich bei Pflanzenschutzspritzen, Düngetechnik oder auch Einzelkornsäegeräten, da die zunehmenden Arbeitsbreiten ein komfortables und punktgenaues Schalten erschweren. Hier kann der Anwender den Nutzen auch sehr einfach erfahren. Die durchschnittlichen Einsparpotentiale betragen 4,3 %<sup>2</sup>.

Der teilflächenspezifischen Ausbringungsmengensteuerung wird ein großes Potential beigegeben, um der Heterogenität eines Pflanzenbestandes innerhalb einer Parzelle Rechnung zu tragen. Ziel ist es, die Erträge und Qualitäten zu steigern bei gleichzeitiger Anpassung des Betriebsmittelaufwandes und einer Reduzierung der Umwelteinwirkungen von diesen. Die teilflächenspezifische Ausbringungsmengensteuerung wird heutzutage noch primär auf Großbetrieben eingesetzt. Da durch die automatischen Lenksysteme bereits die notwendige technische Voraussetzung hardwareseitig vorhanden ist, ist der Schritt zur Teilflächenspezifität relativ gering. Außerdem unterstützen immer mehr Anbaugeräte diese Funktion, letztlich handelt es sich bei den meisten modernen Anbaugeräten um eine Softwarefreischaltung. Online Sensoren (Yara N Sensor oder Fritzmeier) bieten schon seit vielen Jahren die Möglichkeit, die Stickstoffmenge während des Düngevorgangs auf Basis des Chlorophyll-Gehalts und der Biomasse zu variieren.

Durch eine wachsende Zahl an möglichen Datenquellen als Grundlage für die teilflächenspezifische Ausbringungsmengensteuerung wird die Bedeutung in den nächsten Jahren deutlich zunehmen. So bietet die EU im Rahmen des Copernicus Programms kostenlos Daten der Sentinel Satelliten an. Zusätzlich erfreuen sich Luftaufnahmen mittels Drohnen zunehmender Beliebtheit. Sowohl die Drohnen als auch die Sensorik ist in den letzten Jahren deutlich günstiger geworden und wird somit einer breiteren Masse zugänglich.

Die auf Basis der Sensordaten erstellten Applikationskarten können komfortabel und einfach mittels Mobilfunk über das Auftragsmanagementsystem VarioDoc/TaskDoc zwischen dem Maschinenterminal und einer kompatiblen Schlagkartei ausgetauscht werden. Dies wird ebenfalls die Akzeptanz dieser Technologie fördern.

---

<sup>2</sup> Amy Winstead et al. (2010), [http://nydairyadmin.cce.cornell.edu/pdf/submission/pdf161\\_pdf.pdf](http://nydairyadmin.cce.cornell.edu/pdf/submission/pdf161_pdf.pdf)

## 4 Standards und Kompatibilität als Schlüssel zum Erfolg

Ein wichtiger Faktor zur Verbreitung der automatischen Teilbreitenschaltung oder auch teilflächenspezifischen Applikationstechnik beruht auf dem ISOBUS Standard, der es ermöglicht, dass Geräte unterschiedlicher Hersteller die Technologielösung im Gesamtsystem aus Schlepper und Anbaugerät entsprechend umsetzen können. Daher sind die meisten Landtechnikhersteller in der Agricultural Electronics Industry Foundation, kurz AEF, zusammengeschlossen, um die Feinheiten einer reibungslosen, herstellerübergreifenden Kommunikation sicherzustellen und Impulse in die Standardisierungsorganisation zu geben.

Neben der Gerätekompatibilität wird für den Erfolg der digitalen Landwirtschaft der Datenkompatibilität die entscheidende Bedeutung zukommen. AGCO setzt dabei konsequent auf den ISOXML Standard. Hier gibt es noch die große Herausforderung der Schnittstelle, da trotz einheitlichem Format noch verschiedene Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Systemen existieren, zwischen denen Daten ausgetauscht werden sollen. Diese Schnittstellenpflege ist aufwendig und teuer. Ein vielversprechender, innovativer Ansatz ist der DKE agrirouter. Die DKE ist ein Konsortium von 10 verschiedenen Landtechnikherstellern, die sich zum Ziel gesetzt haben, den Datenaustausch zwischen den Systemen entlang der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette zu vereinfachen. Der agrirouter ist eine Datendrehscheibe, deren Funktion in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt ist.

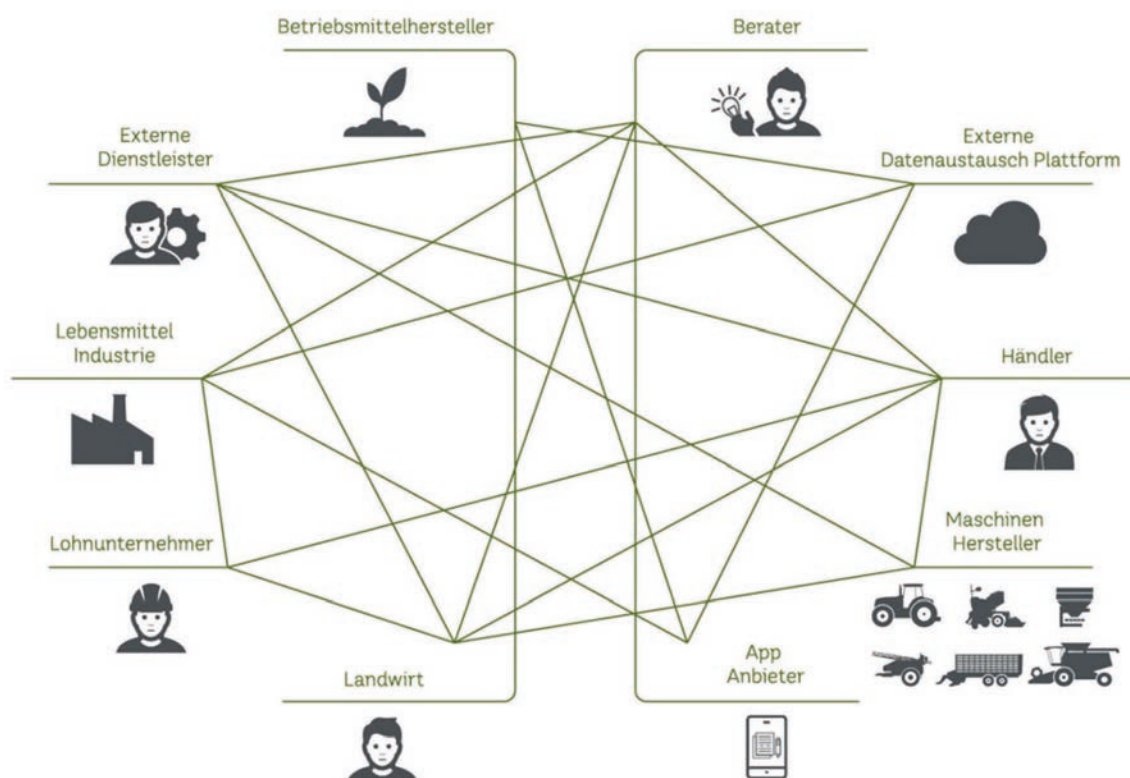


Abb. 1: Datenbeziehungen ohne agrirouter

(Quelle: [www.dke-data.com/whatwedo/innovation\\_datahub/](http://www.dke-data.com/whatwedo/innovation_datahub/))



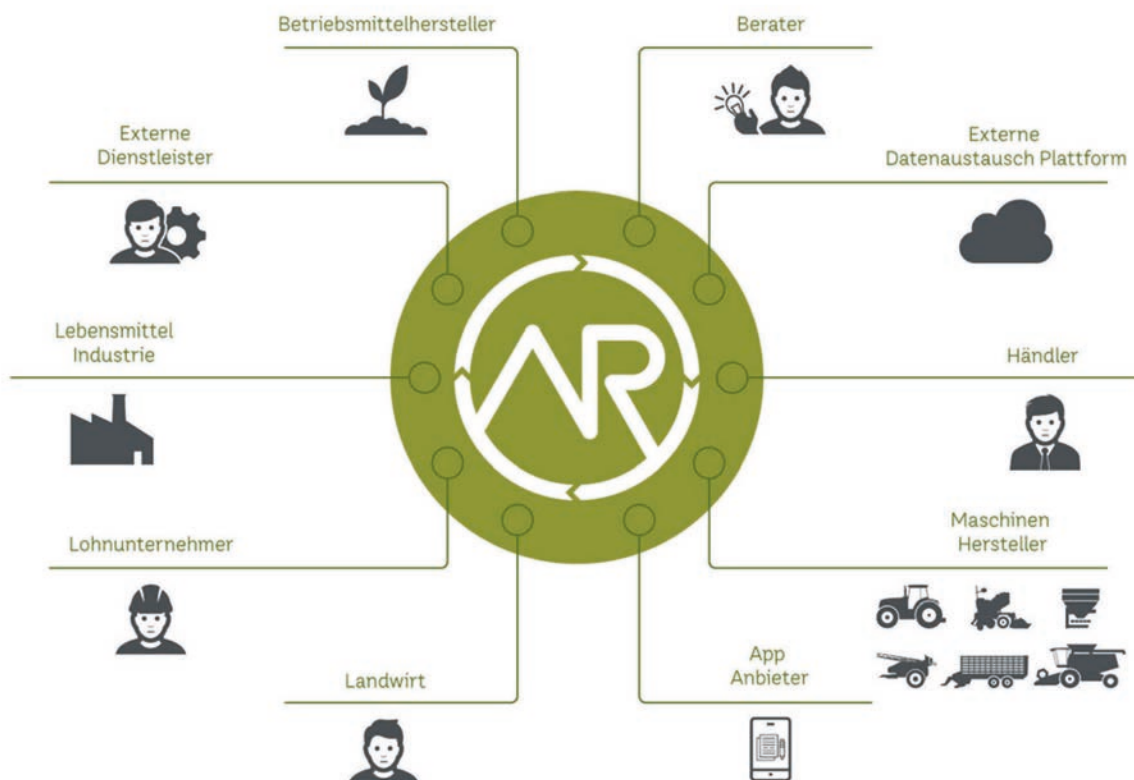


Abb. 2: Datenbeziehungen mit agrirouter  
(Quelle: [www.dke-data.com/whatwedo/innovation\\_datahub/](http://www.dke-data.com/whatwedo/innovation_datahub/))

Der agrirouter bietet eine große Chance, das verborgene Potential der Daten, die in den unterschiedlichsten Systemen entlang der Wertschöpfungskette stecken, zu heben, da diese nun einfacher miteinander verknüpft oder ausgetauscht werden können. Die Daten werden nur „durchgeschleust“, d.h. es wird der Datenschutz gewährleistet. Der Anwender entscheidet selbst, welcher Diensteanbieter welche Daten erhält. Durch den herstellerübergreifenden Ansatz und Zusammenschluss in einer neutralen Gesellschaft ist ein Missbrauch auszuschließen. Der agrirouter wird außerdem für mehr Innovation in der Landwirtschaft sorgen, da z.B. Startup Unternehmen schneller und einfacher an ein breites Datenspektrum über eine einzige Schnittstelle gelangen können und somit mittels besserer Informationen einen Mehrwert für den Landwirt generieren.

## 5 Neue Dienstleistungen

Da der Landwirt mit der steigenden Datenmenge nicht automatisch und auf sich gestellt einen Mehrwert für seinen Betrieb erzeugen kann, wird er zukünftig auf Spezialisten angewiesen sein, die seine Daten in wertvolle Informationen übersetzen. Solche Mehrwertdienste können in produktionsbezogene Leistungen und in maschinenbezogene Leistungen unterschieden werden.

Die produktionsbezogenen Dienstleistungen werden sich auf Datenauswertungen über den Pflanzenbau beziehen. Sämtliche zur Verfügung stehenden Daten werden für den Landwirt so aufbereitet, dass eine Handlungsempfehlung daraus abgeleitet werden kann. Die maschinenbezogenen Services beziehen sich auf eine optimale Betreuung der

verwendeten Maschinen, so dass eine maximale Verfügbarkeit gegeben ist. Dies kann ein breites Spektrum von bereits heute im Markt angebotenen Leistungen wie Vorernte-Checks bis hin zu über Monitoring Center online überwachte Maschinen umfassen, wie es schon im Baumaschinenbereich seit mehreren Jahren praktiziert wird.

Der Erfolg oder auch Misserfolg von neuen Dienstleistungen in der digitalen Landwirtschaft auf Basis von mit Sensoren oder Maschinen gesammelten Daten wird weniger von der Bereitschaft des Landwirts, die Daten zu teilen, abhängen als vielmehr von der Plausibilität und dem einfachen Verständnis des Mehrwerts für den Landwirt.

## **6 XAVER – Autonomie auf dem Feld**

XAVER, ehemals bekannt als MARS (Mobile Agricultural Robot Swarm), stellt ein Konzept dar, bei dem kleine, im Schwarm arbeitende Robotereinheiten mit Hilfe einer Cloud Lösung die präzise Aussaat von Mais planen, überwachen und exakt dokumentieren. Schlüsseltechnologien sind die Satellitennavigation und Datenmanagement in der Cloud, die ein Arbeiten rund um die Uhr sowie permanenten Datenzugriff erlauben. Durch die exakte Kartierung der abgelegten Saatkörner können Folgearbeiten hochpräzise auf die Einzelpflanze abgestimmt durchgeführt werden. Somit birgt der Ansatz großes Potential in punkto Ressourcenschonung und Umweltschutz. Das geringe Eigengewicht ist zudem äußerst bodenschonend.

## **7 Ausblick**

Obwohl die ersten Lösungen im Bereich der digitalen Landwirtschaft bereits in den 90er Jahren im Markt angeboten wurden, erfährt der Bereich erst in den letzten Jahren einen regelrechten Boom. Hier sind die Ausgestaltungen noch derart, dass digitale Lösungen auf heute bestehende Maschinen aufgebaut und integriert werden. Der Ansatz im Rahmen von XAVER zeigt aber deutlich, dass zukünftig digitale Lösungen auch Einfluss auf die Gesamtkonstruktion einer landwirtschaftlichen Maschine nehmen werden. Neue Serviceangebote auf Basis von Big Data werden ebenfalls die Prozesslandschaft in der Landwirtschaft verändern. Dabei ist davon auszugehen, dass wir aktuell noch am Anfang dieser Entwicklungen stehen.

---

## Landwirtschaft 4.0 – Erfahrungen aus der Praxis

Hubertus Paetow, DLG Vizepräsident und Landwirt

Finkenthal Mecklenburg Vorpommern

### Zusammenfassung

Der Ackerbaubetrieb Schlutow liegt im östlichen Mecklenburg und baut auf einer Fläche von 1.280 ha Raps, Weizen, Gerste und Zuckerrüben an. Der Einstieg in die Prozessautomation mit digitalen Technologien erfolgte 2005 mit dem Kauf eines automatischen Lenksystems. Durch die Vermeidung von Überlappungen und damit einhergehender Einsparung von Betriebsmitteln werden eine gute Wirtschaftlichkeit und gleichzeitig eine Fahrerentlastung erreicht. Mit dem automatischen Lenksystem wurde auch der erste Schritt in die Teilflächenbewirtschaftung vollzogen.

Aufgrund der unterschiedlichen Kalkversorgung der Flächen wurde im Jahr 2006 der gesamte Betrieb nach Bodenleitfähigkeit kartiert, der Kalkstreuer umgerüstet, Applikationskarten erstellt und die Kalkung teilflächenspezifisch durchgeführt. Dabei waren die größten Herausforderungen die Datenübertragung zwischen den einzelnen Prozessschritten und die Schnittstellen zwischen den Sensoren/Aktoren und den Steuerungscomputern. Heute werden neben dem Düngerkalk auch der Stickstoffdünger und die Getreidesaat teilflächenspezifisch ausgebracht sowie die Bearbeitungstiefe bei der Grundbodenbearbeitung variiert. Grundlage dafür sind neben der elektrischen Leitfähigkeit die digitalen Daten der Reichsbodenschätzung und Multispektralsensoren am Schlepper und aus der Luft. Im Herbst werden mit einem UAV (unmanned aerial vehicle) Mehrkanal-Luftbilder aufgenommen, die zu Applikationskarten für die Frühjahrsdüngung verarbeitet werden. Die Stickstoffdüngung im Getreide mit dem Sensor im Onlineverfahren wird nicht mehr praktiziert, da die erhofften Auswirkungen auf Ertrag und Stickstoffeffizienz nicht eingetreten sind. Das Potential der Systeme zur Teilflächenbewirtschaftung wird in der Praxis noch lange nicht ausgeschöpft. Optimierungsbedarf besteht sowohl bei der Technik als auch bei den Sensorsystemen und der Entwicklung entsprechender Algorithmen.

Flottenmanagementsysteme mit Telemetrie sind zwar schon etwas länger auf dem Markt, konnten sich jedoch noch nicht allgemein durchsetzen. Auf dem Betrieb wird die Maschinenvernetzung auf den beiden Schleppern für die Düngung und den Pflanzenschutz zwar eingesetzt, ihren eigentlichen Nutzen können diese Systeme aber erst bei Lohnunternehmen erbringen.

Alle Daten, die für den Ackerbau und die Maschinen von Bedeutung sind, einschließlich GPS-Daten der Fahrspuren und Anbauplan mit Düngplanung, werden in einem Cloudspeicher verwaltet und sind für alle Mitarbeiter zugänglich. Bisher wird die Dokumentation aller Maßnahmen in Form einer Excel-Schlagkartei im Cloudspeicher durchgeführt. Der nächste Schritt wird die Einführung eines echten Online-Farmmanagementsystems sein, allerdings konnte bisher kein käufliches Produkt zufriedenstellen.

Der gesamte Bereich der digitalen Verfahren im Sinne von Vernetzung der Systeme und Entscheidungsunterstützung durch Verarbeitung großer Datenmengen steht erst am Anfang.

## 1 Einleitung

Begriffe wie "Industrie 4.0", "Landwirtschaft 4.0", "BIG Data in der Landwirtschaft", "Precision Farming" oder neuerdings "Smart farming" bestimmen in vielen Veröffentlichungen die Berichterstattung über technische Innovationen in der Landwirtschaft.

Fast könnte man meinen, Bodenbearbeitung und Aussaat, Fütterung und Züchtung seien gar keine wesentlichen Bestandteile der landwirtschaftlichen Produktionstechnik mehr.

Es genügt, das Datenmanagement im Betrieb gut zu organisieren, und schon funktioniert die Produktion von ganz alleine.

Dies ist natürlich stark übertrieben. Die Abläufe sind zu komplex, um mit heutigen Möglichkeiten eine industrielle Automatisierung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb zu implementieren. Dies gilt eingeschränkt auch für die Tierhaltung, obwohl im Bereich Fütterung oder auch beim Melken schon weitgehend automatische Systeme im Einsatz sind. Landwirtschaft ist in weiten Bereichen auch heute noch ein Handwerk.

Trotzdem fragen sich viele Landwirte, ob sie in Zukunft auch noch erfolgreich produzieren können, ohne den gesamten Betrieb zu vernetzen und zu automatisieren.

Bei Weitem nicht alles, was heute im Zusammenhang mit Farming 4.0 oder digitaler Landwirtschaft beschrieben wird, ist auch eine revolutionär neue Erfindung. Vieles aus dem Bereich der Teilflächenbewirtschaftung oder auch Systeme zur Prozesssteuerung wie Lenksysteme sind eingeführte Technik und teilweise schon seit Jahrzehnten am Markt.

Die wirklich neuen Verfahren der Datenanalyse und Systemvernetzung dagegen sind samt ihrer Potentiale auch heute noch nur zu erahnen. Ob es durch diese zu einer Disruption in der Landwirtschaft kommt, bleibt abzuwarten.

Viel wahrscheinlicher scheint, dass sich die heute eingeführten Verfahren auch mithilfe der digitalen Komponente und der Vernetzung weiterentwickeln, so dass sie in Zukunft besser eingesetzt werden können, als dies heute der Fall ist.

Vor diesem Hintergrund sollen die Erkenntnisse bei der Einführung verschiedener neuer Verfahren, und zwar einschließlich der Verfahren der Prozessautomatisierung und Teilflächenbewirtschaftung, auf einem Ackerbaubetrieb dargestellt werden, um daraus abzuleiten, wie in Zukunft technische Lösungen in ihrer Eignung für den Betrieb beurteilt werden können.

## 2 Vorstellung des Betriebs

Der Betrieb Schlutow liegt im östlichen Mecklenburg ca. 50 km von der Ostseeküste entfernt (Abb. 1). Der Standort bietet mittlere Böden, vorwiegend anlehmiger Sand mit 38 Bodenpunkten, 8,2° C Jahresdurchschnittstemperatur und 530 mm Jahresniederschlag mit gelegentlicher Vorsommertrockenheit. Es werden 1.280 ha produktive Ackerfläche mit Raps, Weizen, Gerste und Zuckerrüben bestellt. Die durchschnittliche Schlaggröße liegt bei 60 ha, 4 Traktoren von 230-340 PS und 2 Mähdrescher werden von 4 festangestellten

Mitarbeitern und 2-3 Saisonarbeitskräften bedient. Der Betrieb ist, für die Region typisch, auf die Produktion von Marktfrüchten ausgerichtet. Hauptsächliche Erfolgsfaktoren sind geringe Produktionskosten bei mittleren bis hohen Erträgen.



Abb. 1: Luftbild des Betriebs Schlutow

### 3 Beispiele der Einführung neuer Technologien

#### 3.1 Prozessautomatisierung

Initiiert wurde die Einführung neuer Verfahren zur präziseren Ausbringung von Betriebsmitteln durch die Ausrüstung der Schlepper und Mähdrescher mit automatischen Lenksystemen. Auf dem Betrieb wurde der erste Schlepper 2005 mit einem Lenksystem ausgestattet, um bei der Aussaat die Überlappungen zu vermeiden und den Fahrer zu entlasten (Abb. 2).

Da bei der Aussaat auch die Fahrgassen für die Pflege angelegt werden, ist durch ein Lenksystem auf dem Drillschlepper der größte Teil der möglichen Einsparungen an Betriebsmitteln zu erreichen. Daher ist die betriebswirtschaftliche Bewertung der hohen Investition von damals 15 % des Schlepperneuwertes einfach und sicher möglich:

Der Investition von einmalig 12.000 € und jährlichen Kosten von ca. 1.500 € stehen Einsparungen bei den Betriebsmitteln von jährlich 7.500 € gegenüber.

Die Entlastung des Fahrers durch ein automatisches Lenksystem ist zwar zweifelsfrei vorhanden, aber nicht einfach monetär zu ermitteln und hängt auch von vielen anderen Faktoren wie Schlagform und -länge sowie Arbeitsbreite und Auslastung des Verfahrens ab.



Abb. 2: Einsatz des automatischen Lenksystems für die Aussaat

Die automatischen Lenksysteme gehören weniger zu den neuen Technologien, die heute diskutiert werden, sondern sind eher eine Weiterentwicklung der Prozessautomatisierung auf dem Traktor, vergleichbar mit der automatischen Regelhydraulik oder dem einfachen Vorgewendemanagement.

Die Einführung der Systeme zur Automatisierung von Maschinenfunktionen unterscheidet sich nicht von früheren Innovationen im Bereich der Maschinenteknik. Der ökonomische Effekt ist einfach zu errechnen. Dass die Systeme in der ersten Einführungsphase mit technischen Unzulänglichkeiten zu kämpfen hatten, ist ebenfalls typisch für technische Innovationen. Die Lenksysteme gehören heute bei den höheren Schlepperleistungsklassen zum Standard.

In dieselbe Kategorie gehören auch andere Verfahren zur Automatisierung von Maschinenfunktionen wie z. B. die automatische Teilbreitenschaltung bei der Feldspritze und neuerdings auch beim Zentrifugalstreuer. Diese Verfahren gehören bei vielen Geräten heute zur Serienausstattung und werden daher auch breit verwendet.

### **3.2 Teilflächenbewirtschaftung**

Das Lenksystem stellt über das GPS Informationen über die Maschinenposition zur Verfügung, die für viele andere Verfahren die Grundlage bildet. Ohne die automatischen Lenksysteme wären die Verfahren zur Teilflächenbewirtschaftung in der Praxis wohl noch weniger verbreitet, als sie es heute ohnehin sind. Über diese durch die Lenksysteme vorhandene Technik kam dann auf dem Betrieb der erste Schritt in die Teilflächenbewirtschaftung.

Ein aktuelles Problem auf den leichten Sandstandorten Nordostdeutschlands ist der unterschiedliche Kalkbedarf auf den mehr oder weniger sandigen Teilbereichen der Schläge. Dabei geht es nicht nur um die Einsparung von Kalkdünger auf den leichteren Bereichen, sondern auch um die Vermeidung von negativen Auswirkungen zu hoher pH-Werte auf die Verfügbarkeit von Spurenelementen.

Im Jahr 2006 wurde der gesamte Betrieb nach Bodenleitfähigkeit kartiert, um die leichteren Bereiche der Schläge zu identifizieren. Der vorhandene Kalkstreuer wurde für die Regelung der Ausbringmenge umgerüstet und eine Software zur Erstellung von Applikationskarten angeschafft.

Die größten Herausforderungen bei der Einführung des Verfahrens waren nicht etwa, wie zu erwarten gewesen wäre, die Aufarbeitung der Daten oder die Anwendung des einfachen Algorithmus, sondern die Datenübertragung zwischen den einzelnen Prozessschritten und die Schnittstellen zwischen Sensoren/Aktoren und den Steuerungscomputern.

Während der letzte Punkt dank weiterer Verbreitung der standardisierten Maschinenkommunikation über den ISOBUS heute eigentlich kein Problem mehr darstellt, ist die Kompatibilitätsproblematik bei Software und Daten heute immer noch eine große Herausforderung bei der Installation von Verfahren zur teilflächenspezifischen Betriebsmittelausbringung.

Heute werden neben dem Düngekalk auch Stickstoffdünger und Getreidesaat teilflächenspezifisch ausgebracht sowie die Bearbeitungstiefe bei der Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber variiert. Als Datengrundlage dienen neben der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit auch die digitalen Daten der Reichsbodenschätzung sowie Multispektralsensoren sowohl am Schlepper als auch aus der Luft.

Die Stickstoffdüngung im Getreide mit dem Sensor im Onlineverfahren wird, wie auf vielen Betrieben, nicht mehr praktiziert. Die erhofften Auswirkungen auf Ertrag und Stickstoffeffizienz haben sich nicht realisieren lassen. Der Zusammenhang zwischen den gemessenen Reflektionswerten und dem Stickstoffbedarf ist auf dem Standort nicht ausreichend gegeben, und die Berücksichtigung anderer Datengrundlagen (Map-Overlay) ist mit dem Verfahren nicht möglich.

Schwerpunkt bei der Stickstoffdüngung in der Teilfläche ist inzwischen der Winterraps, der durch seine schlechte Stickstoffeffizienz die Einhaltung der Grenzen des Bilanzüberschusses nach der Düngeverordnung erheblich erschwert. Grundlage der Variation ist die Stickstoffaufnahme im Herbst, die über Mehrkanal-Luftbilder bestimmt wird. Die Bilder werden mit einem eigenen UAV aufgenommen und zu Applikationskarten für die Frühjahrsdüngung verarbeitet (Abb. 3, Abb. 4).

Häufig werden UAVs als Beispiel für digitale Landwirtschaft angeführt. Dabei handelt es sich bei den Geräten lediglich um fliegende Trägersysteme für Sensorik oder kleine Ausbringsysteme. Durch die massenhafte Vermarktung der Geräte im Hobbybereich ist die Technologie inzwischen preiswert geworden. Die Beurteilung der Eignung eines UAV für eine landwirtschaftliche Aufgabenstellung hängt von der Eignung des verwendeten Sensorsystems ab. Die häufig zur Messung von Biomasse eingesetzten Multispektralsensoren sind inzwischen ausreichend klein und leicht geworden, um sich auch für den Einsatz an UAVs zu eignen und liefern zusammen mit einer geeigneten Software hoch aufgelöste Luftbilder, die unmittelbar zu Applikationskarten verarbeitet werden können. Der Vorteil gegenüber schleppergebundenen Systemen oder auch Satellitenbildern ist die höhere Auflösung, die allerdings nur mit entsprechend kleinräumig anzusteuern den Ausbringgeräten sinnvoll einzusetzen ist. Ein weiterer Vorteil ist die etwas größere zeitliche Flexibilität, weil die Flächen nicht befahrbar sein müssen und auch bei geschlossener Wolkendecke Bilder erfasst werden können, was bei Satellitendaten nicht der Fall ist.

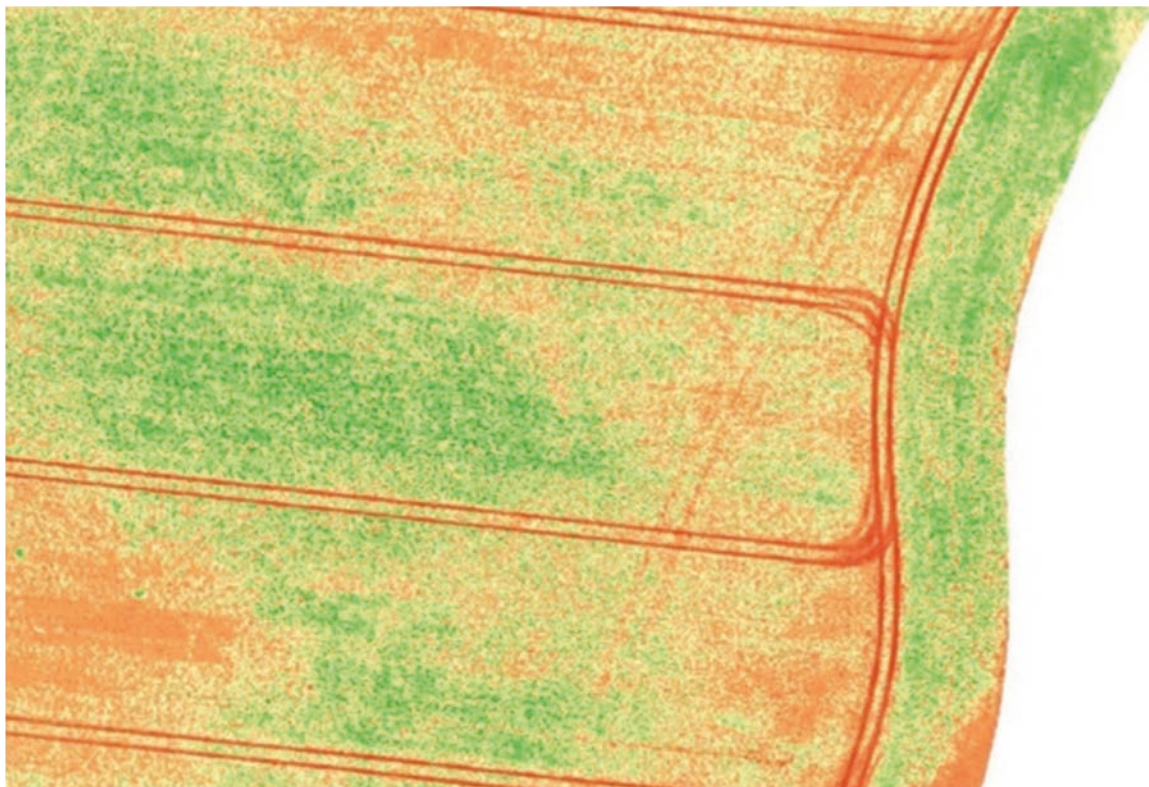


Abb. 3: Biomassekarte eines Feldstücks



Abb. 4: UAV zur Feststellung der Biomasse im Herbst

Die hauptsächlichen Herausforderungen der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung liegen zum einen in der Gewinnung einer geeigneten Datengrundlage für die Einteilung der Flächen in Zonen unterschiedlicher Intensitätsanforderungen. Diese richtet sich nach den zu variierenden Betriebsmitteln, so wie z. B. eine Karte der Werte einer Bodenuntersuchung als Grundlage für teilflächenspezifische Kalkung. Aber nicht für jede Fragestellung



gibt es einen solch eindeutigen Zusammenhang zwischen Messwert und optimaler Ausbringungsmenge. Zum anderen scheitert die Einführung der Verfahren häufig an technischen Unzulänglichkeiten, vor allem im Bereich der Datenschnittstellen. Waren es zu Beginn der Einführung häufig die reinen Hardwareverbindungen, so sind es heute die unterschiedlichen Datenformate, die ein einfaches, durchgängiges System verhindern.

Das Potenzial der Systeme zur Teilflächenbewirtschaftung wird in der Praxis noch lange nicht ausgeschöpft. Die Landtechnikhersteller könnten hier durch einfache, einsatzsichere Lösungen für mehr Verbreitung sorgen. Es besteht aber auch noch ein großer Forschungsbedarf insbesondere bei den Sensordaten und den darauf anzuwendenden Algorithmen.

### **3.3 Flottenmanagement / Telemetrie**

Eine Innovation, die auch schon etwas länger am Markt ist, sich aber noch nicht allgemein durchsetzen konnte, ist die Verbindung der Schlepperelektronik über ein Modem ins Internet. Die Technologie ist auch aus anderen Anwendungsbereichen bekannt und bei ausreichender Abdeckung der Mobilfunknetze auch zuverlässig. Mit den Portalen einiger Hersteller ist es auch möglich, Anwendungs- und Maschinendaten zwischen Terminal und Managementsoftware auszutauschen.

Diese Systeme werden inzwischen erweitert, indem die Hersteller Internetportale einrichten, in denen die Maschinendaten in einfachen Managementsystemen verwaltet werden können. Auch die Hersteller klassischer Farm Management Systeme erweitern ihre Produkte in diese Richtung.

Die zentrale Verarbeitung von Maschinendaten zur besseren Analyse der Effizienz des Maschineneinsatzes ist mit diesen Systemen gut möglich, aber vorwiegend für Lohnunternehmen von Interesse.

Eine praktische Funktion der Systeme ist der Fernzugriff auf das Terminal auf der Maschine. Dies ermöglicht eine effektive Unterstützung des Bedieners mit wesentlich weniger Aufwand für Werkstatt oder Betriebsleiter.

Auf einem arrondierten Ackerbaubetrieb mit vier Traktoren und zwei Mähdreschern ist der Vorteil einer solchen Lösung sicher auch nicht so groß wie in einem Lohnunternehmen mit vielen weit verstreut arbeitenden Maschinen. Auf dem Betrieb wird die Maschinenvernetzung auf den beiden Schleppern für Düngung und Pflanzenschutz eingesetzt, bisher aber ohne größeren Nutzen für Einsatzplanung oder Analyse.

### **3.4 Dokumentation und Onlinespeicherung**

Ein weiterer Bereich, in dem sich neue Verfahren unter Nutzung der Vernetzung und Informationsverarbeitung anbieten, ist die automatische Dokumentation der Anbaudaten und der Verknüpfung von Maschinen und Farm Management System über die Cloud. Das Speichern, Teilen und Verarbeiten von Daten im Netz ist in anderen sicherheitskritischen Bereichen heute Stand der Technik – man denke nur an mobile Apps für Bankgeschäfte. Die Vorteile wie mobiler Zugriff, Teilen der Informationen z. B. mit dem Berater oder Bedienung der Schlagkartei auch durch die Mitarbeiter liegen auf der Hand und müssen objektiv gegen die Risiken von Datenverlust und -missbrauch abgewogen werden.

Auf dem Betrieb werden alle Daten, die für den Ackerbau und die Maschinen von Bedeutung sind, in einem Cloudspeicher verwaltet, der auch für die Mitarbeiter zugänglich ist. Dies geht von den GPS-Daten der Fahrspuren bis hin zum Anbauplan mit Düngeplanung.

Auch die einfache Ernte- und Maßnahmendokumentation in Form einer Excel-Schlagkartei wird im Cloudspeicher geführt und ermöglicht so auch ein Teilen der Informationen mit dem Berater (Abb. 5).

Diese Verfahren sind insbesondere mit jüngeren, technikaffinen Mitarbeitern einfach und kostengünstig zu implementieren. Bei gemeinsamem Zugriff auf die Daten ist aber auch ein klares System erforderlich, das regelt, wer welche Daten eingeben kann und soll. Dabei ist es von Vorteil, wenn im Cloudspeicher eine Versionsverwaltung erfolgt.

Der nächste geplante Schritt ist die Einführung eines echten Online-Farmmanagementsystems anstatt der Excel-Lösung, wobei auch nach intensiven Tests kein bisheriges Produkt im praktischen Einsatz überzeugen konnte. Hier ist insbesondere bei der Bedienung der Systeme durch die Hersteller noch Entwicklungsarbeit zu leisten. Andererseits ist ein einheitliches, auf die Aufgaben spezialisiertes System einer selbst zusammengestellten, an vielen Stellen improvisierten Lösung immer vorzuziehen.

## **4 Fazit und Ausblick**

Innovationen im Bereich Farming 4.0 unterscheiden sich nicht prinzipiell von anderen Innovationen in der Landtechnik und müssen mit denselben Verfahren und Kriterien hinsichtlich ihrer Eignung für den Betrieb beurteilt werden.

- Einführung von neuen Verfahren erfordern neben den monetären Investitionen von den Beteiligten erhöhten Zeit- und Lernaufwand. Dies gilt gleichermaßen für Betriebsleiter und Mitarbeiter.
- Teilflächenspezifische Verfahren bieten noch viele weitere Möglichkeiten.
- Vernetzung von Maschinen steht noch am Anfang, es fehlen herstellerübergreifend funktionierende Systeme.
- Dokumentation in der Cloud vereinfacht die Zusammenarbeit auf dem Betrieb. Speziell auf den landwirtschaftlichen Betrieb zugeschnittene Systeme können noch nicht überzeugen, sind aber in Zukunft selbstgestrickten Lösungen vorzuziehen.
- Der gesamte Bereich digitaler Verfahren im Sinne von Vernetzung der Systeme und Entscheidungsunterstützung durch die Verarbeitung großer Datenmengen steht erst am Anfang.

Schlag	Nr.	...	Ernte	2018	Raps
	Bez.	Krecklow	Ernte	2017	WW
	ha	51,5	Ernte	2016	Raps
Pflanzenschutz	Aufw. Menge		Mittel	% d. Fläche	€/ha
	Datum/Fahrer	kg, l /ha			
	26. Aug.	0,2	Echelon	76 %	7,62 €
	Jan winter	0,5	Stomp Aquo	100 %	5,95 €
	4. Sep.	0,2	Orius	100 %	2,50 €
	Jan winter	0,5	Targa Super PL	100 %	5,00 €
	9. Sep.	0,2	Orius	8 %	0,20 €
	Jan winter	0,35	Agil S	8 %	0,61 €
	22. Sep.	0,3	Helocur	100 %	3,57 €
	Jan winter	0,35	Agil S	100 %	7,57 €
		0,15	Shock Down	100 %	4,10 €
		0,2	Clopiso	24 %	4,34 €
	13. Okt.	0,4	Orius	76 %	3,80 €
	4. Holzweissig				
	Summe Pflanzenschutzmittelkosten :				

Saar		Sorte + Beize	Datum	Kü/m <sup>3</sup>	€/ha
		Menhir	4-25.08.20	30	57,40

Bodenbearbeitungsverfahren			
Tigersaat			

Auswertung	Ertrag	dt	40,0
	Marktpreis	€/dt	38,0
	= Markterlös	€/ha	1.520 €
	- Saatgut	€/ha	-57 €
	- Dünger	€/ha	-104 €
- PSM	€/ha	-45 €	
= Direktkost.fr.Leist.		1.314 €	

Düngebilanz	Nährstoffe	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	Düngung	26	57	80
	Ertrag	134	72	40
	Bilanz	-108	-15	40

Auswertung PSM-Kosten	Herbizide	31 €
	Fungizide	10 €
	W.regul.	
	Insektizide	4 €
	Spurenn.	
Summe:	45 €	

Bemerkungen / Bodenbearbeitung:	
nach links DAP, nach rechts TSP+Kalkstickstoff	

Düngung	Aufw. Menge		Düngemittel	% d. Fläche	€/ha	N	N <sub>Frü</sub>	N <sub>Frü</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	Mg	CaD
	Datum	dt, l, m <sup>3</sup> /ha											
	08.15.2017	2,30	Rügener II Phasenkalk	100 %	5,89 €								
	08.24.2017	1,00	DAP	58 %	19,84 €	10			27			16	14
	08.25.2017	0,90	Kalkstickstoff	42 %	17,29 €	8							19
	08.25.2017	1,20	TSP	42 %	14,79 €				30				
	09.02.2017	2,00	40'er Kall	100 %	43,00 €					80	8	12	
	09.22.2017	22,00	AHL	100 %	3,04 €	8							8
Summe Düngerkosten:					103,84 €	26	10	10	57	80	8	28	92

= Σ N Frühjahr N-Bilanz Vorfrucht: --

Abb. 5: Auszug aus der Excel-Schlagkartei



---

## **Verfahrenstechnische Erkenntnisse zum Einsatz von Zuckerrüben für die Biogasproduktion**

Rainer Kissel, Simon Tappen, Gabriel Streicher, Dr. Fabian Lichti und  
Dr. Mathias Effenberger

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

### **Zusammenfassung**

Die Biogasproduktion steht derzeit vor enormen Herausforderungen. Dazu zählt auch die zunehmende Einschränkung des Einsatzes bestimmter Substrate (Maisdeckel), so dass kostengünstige und verfahrenstechnisch gut integrierbare Alternativen gefragt sind. Aus diesem Grunde machen sich zunehmend mehr Biogasanlagenbetreiber Gedanken über den Einsatz von Zuckerrüben in Biogasanlagen. Da jedoch bislang nur wenige fundierte Daten zum Zuckerrübeninsatz vorliegen, dieser aber einige verfahrenstechnische Herausforderungen mit sich bringt, werden in einem Forschungsvorhaben der LfL Bayern derzeit Untersuchungen zu den wichtigsten Fragestellungen der Zuckerrübenvergärung mit dem Schwerpunkt der verlustarmen Lagerung durchgeführt.

Mit Frischmasseverlusten zwischen 3 und 4 % und Trockenmasseverlusten bis 20 % hat sich im Lagerungsversuch die luftdichte Einlagerung von Rübenbrei über zehn Monate als die verlustärmste Einlagerungsvariante herausgestellt. Mit Trockenmasseverlusten um 45 % erwies sich die offene Lagerung, unabhängig ob ganze Rüben oder Rübenbrei, als die verlustreichste. Bezüglich des Biogaspotentials traten bei sieben Monate offen gelagertem Zuckerrübenbrei ca. 13 % Verluste auf, bei luftdicht abgedecktem Brei praktisch keine. Die luftdichte Co-Silierung mit 5 % Getreidestroh bewirkte eine Steigerung des Biogaspotentials um ca. 6 %. Die ermittelten Verluste gelten für die oberste Schicht eines Silos (80 cm), so dass die absoluten Verluste in Abhängigkeit der Lagerungstiefe einzustufen sind.

Neben den Lagerungsversuchen werden zusätzlich Praxisbetriebe mit sehr unterschiedlichen Verfahren der Zuckerrübenvergärung sowie die Hof-Forschungsbiogasanlage in Grub einem mehrjährigen Monitoring unterzogen. Der Anteil von Zuckerrüben bei den Praxisbetrieben betrug zumindest saisonal mindestens 25 %. Lediglich eine Anlage verwertete keine Wirtschaftsdünger. Zur Minderung von Verlusten bei der Mietenlagerung der Rüben werden spätestens ab Februar die Rüben bei allen Praxisbetrieben in Fahrsilos z. T. mit Vliesabdeckung untergebracht. Auch die Herstellung von Mischsilage mit GPS und Stroh sowie die luftdichte Lagerung in einem Hochsilo werden auf den Praxisbetrieben geprüft. An der Hof-Forschungsbiogasanlage in Grub werden die Rüben unmittelbar nach der Ernte einer Nassreinigung zugeführt und anschließend mit einem Schredder in ein Tiefsilo eingelagert. Das Zuckerrübenmus wies nach ca. viermonatiger Einlagerung eine pumpfähige Konsistenz auf, förderte jedoch auch die Schaumbildung im Fermenter. Die in Praxisbiogasanlagen immer wieder beobachtete Schaumbildung konnte durch die

Beimengung von Rapsöl vermindert werden. Die zur Deckung von Engpässen verabreichten zusätzlichen Chargen lieferten schnell und zuverlässig Energie.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Silomais ist wegen seiner hohen Flächeneffizienz nach wie vor die bedeutendste Energiepflanze für die Biogasproduktion. Agrarökologische Fragen und gesellschaftliche Ablehnung haben jedoch dazu geführt, dass eine Ausweitung des Silomaisanbaus für die Biogasproduktion auch politisch nicht mehr darstellbar ist. Für neu zu errichtende Anlagen unter den Rahmenbedingungen des novellierten EEG 2017 stellt die Biogaserzeugung überwiegend aus Energiepflanzen in den meisten Fällen ohnehin kein wirtschaftliches Betriebsmodell mehr dar.

Für bestehende Biogasbetriebe wird seit einigen Jahren die Zuckerrübe als ergänzender und alternativer Einsatzstoff diskutiert. Zuckerrüben können sich mit ihrem Ertragsniveau an guten Ackerbaustandorten auch gegenüber alternativen nachwachsenden Rohstoffen behaupten und werden von der Bevölkerung in der Landschaft im Allgemeinen nicht als störend wahrgenommen.

Aus verfahrenstechnischer Sicht ist die Zuckerrübe durch ihren hohen Anteil an rasch vergärbaren Inhaltsstoffen in der Trockenmasse interessant. Sie besteht hauptsächlich aus N-freien Extraktstoffen (90 %) und enthält keine Lignocellulose oder Lignin.

In Biogasanlagen, die größere Mengen an Getreideganzpflanzensilagen, Gras-/ Kleegrassilage, Festmist oder faserige Reststoffe wie Stroh oder Landschaftspflegematerial ohne Zugabe nennenswerter Mengen an zusätzlicher Flüssigkeit verwerten, ist die Viskosität des Gärgemischs in der ersten Vergärungsstufe typischerweise hoch. Nicht nur unter solchen Bedingungen kann der Einsatz von Zuckerrüben mit ihrem hohen Anteil an rasch vergärbaren Inhaltsstoffen zur Verringerung der Viskosität und Verbesserung der Rührfähigkeit des Gärgemisches beitragen. Anlagenbetreiber berichten zudem, dass durch eine selektive Beschickung des Gärprozesses mit Zuckerrüben eine Modulation der Biogasproduktion innerhalb relativ kurzer Ansprechzeiten realisiert werden kann.

Die Vergärung von Zuckerrüben bringt neben einigen genannten Vorteilen aber auch gewisse verfahrenstechnische Schwierigkeiten bzw. Herausforderungen mit sich. So gelangt je nach Standort, Ernteverfahren und Nachreinigung der Zuckerrüben Erd- bzw. Schmutz-anhang mit in die Gärbehälter. In Abhängigkeit der Korngrößen der Schmutzpartikel und der Viskosität des Gärgemisches kann es dadurch zur Bildung von Sinkschichten/Sedimentkörpern in den Gärbehältern kommen, die das effektive Arbeitsvolumen deutlich reduzieren. Auch die Konservierung von Zuckerrüben für den ganzjährigen Einsatz in Biogasanlagen stellt aufgrund der leichten Verderblichkeit besondere Anforderungen, um Lagerungsverluste zu minimieren.

Zudem stellen auch gärobiologische Herausforderungen (z.B. Schaumbildung oder Stoßbelastungen der Gärobiologie für flexible Gasproduktion) neue Anforderungen an die Prozesstechnik und den Biogasanlagenbetrieb.

Ziel ist es, die Auswirkungen eines Zuckerrübeneinsatzes auf die Methanproduktivität und Gasausbeute in Abhängigkeit der Substratzufuhr, der Art des eingesetzten Rübenprodukts (Lagerform/Lagerverluste) sowie synergetische Effekte insbesondere bei einer Kombination mit landwirtschaftlichen Reststoffen zu überprüfen.

Deshalb werden in einem interdisziplinären Forschungsvorhaben unterschiedliche Varianten zur Lagerung von Zuckerrüben für die Biogasproduktion, mikrobiologische Veränderungen und verfahrenstechnische Lösungen untersucht. Ebenso werden in einem Monitoring Betriebserfahrungen bayerischer Biogasbetriebe bei einer Verwertung größerer Mengen an Zuckerrüben erfasst. Außerdem werden in der Forschungsbiogasanlage auf der LfL-Versuchsstation Grub Erkenntnisse für eine flexible bzw. bedarfsgerechte Stromproduktion mithilfe einer Zuckerrübenvergärung gewonnen.

## 2 Aufbereitung und Lagerung von Zuckerrüben für die Biogasproduktion

### 2.1 Methode und Versuchsaufbau

Die Versuchsanlage zur Ermittlung von Verlusten in Abhängigkeit des Einlagerungsverfahrens besteht aus 45 Lagerbehältern mit je 100 L Volumen und einer Höhe von 100 cm (Abb. 1). Von jeder Variante werden drei Behälter eingelagert. Neben den chemischen und physikalischen Eigenschaften werden die Gaspotentiale der Ausgangsmaterialien mit denen der Varianten nach vier, sieben und zehn Monaten Einlagerungsdauer erfasst. Die Einflussgrößen umfassen Standort (Boden: leicht, mittel, schwer), Reinigung, Abdeckung (ohne, luftdicht, Strohabdeckung), Aufbereitungsverfahren (Brei, Schnitzel, ganze Rüben) und Strohbeimischung. Zudem wird der Einfluss einer Strohbeimischung bei der luftdichten Einlagerung von Rübenblättern geprüft. Beim ersten Versuchsansatz wurden den Breivarianten, bezogen auf die Frischmasse, 5, 10 und 30 % und den Rübenblättern 10 % Weizenstroh zugemischt. Aufgrund der Praxisnähe wurden im zweiten Jahr nur 2, 5 und 10 % (Brei) bzw. 4 % (Blatt) Stroh verwendet. Zur Verdichtung wurden alle Behälter mit Betongewichten (ca. 90 kg) beschwert, welche nach 10 min. wieder entfernt wurden. Zur Simulation des Lagerdrucks auf die unteren Schichten wurden bei den Varianten, die in Fahrtilos eingelagert werden können, die Gewichte dann im zweiten Jahr in den Behältern belassen. Auf diese Weise kann der Einfluss des Lagerdrucks auf die Verluste ermittelt werden. Der Versuch umfasst drei Ernteperioden und wird im Herbst 2018 abgeschlossen sein.



Abb. 1: Versuchsbehälter mit Gewichten zur Simulation der auftretenden Drücke

## **2.2 Analytik**

Die Analytik gliedert sich in drei Teilbereiche und soll zeigen, ob durch die Einlagerungsart bzw. die Einlagerungsdauer Veränderungen bezüglich der chemischen Eigenschaften und der Energiepotentiale festzustellen sind. Außerdem werden Masseverlust und Sickersaftanfall nach vier, sieben und zehn Monaten Lagerdauer bestimmt.

### **2.2.1 Laboranalytik**

Ob und wie die Einlagerung die chemischen Eigenschaften der Silage beeinflusst, wird durch Laboranalysen ermittelt. Analysiert werden die Ausgangsmaterialien (Blatt, Stroh, Zuckerrüben von leichten, mittleren und schweren Standorten) sowie die Silagen nach vier, sieben und zehn Monaten.

Alle Materialien werden im Labor auf folgende Gehaltswerte analysiert: Trockensubstanz; organische Trockensubstanz; Ammonium-N; Milch-, Essig-, Propion-, Buttersäure; Zucker; Rohfett; Rohprotein; Rohfaser und Alkohole.

### **2.2.2 Masseverlust und Sickersaftanfall**

Zur Bestimmung der Lagerverluste werden alle Behälter gewogen. Eine zweite Gewichtsbestimmung erfolgt zum Termin der ersten Probenahme nach vier Monaten, eine zweite und dritte nach sieben und zehn Monaten. Zur zweiten Wägung stehen noch 30 und zur letzten noch 15 Behälter zur Verfügung.

Von allen Varianten, die in Fahrtilos gelagert werden können, werden in regelmäßigen Abständen Sickersaftproben entnommen. Dies betrifft die Blattvarianten, alle Varianten mit ganz eingelagerten Rüben und die, bei denen Rübenbrei mit Stroh vermischt siliert wurde. Die ermittelten Sickersaftmengen aus dem zweiten Versuchsjahr liefern besser auf die Praxis übertragbare Ergebnisse, da hier dauerhaft der Lagerungsdruck durch Gewichte simuliert wurde.

### **2.2.3 Biogaspotential**

Experimentell wird das Biogaspotential der Silagen sowie der Sickersäfte durch Batchversuche bestimmt. Die Versuchsanlage ist so ausgeführt, dass die Vorgaben der VDI Richtlinie 4630 und des VDLUFA Methodenbuchs erfüllt werden. Im ersten Jahr wurden die Ausgangsmaterialien sowie ausgesuchte Varianten nach vier und sieben Monaten Einlagerungszeit getestet.

## **2.3 Ergebnisse**

Die Datenaufnahme für das erste Erntejahr ist abgeschlossen, so dass Erkenntnisse zum Frisch- und Trockenmasseverlust sowie über die Beeinträchtigung des Biogaspotentials in Abhängigkeit der Einlagerungsvariante vorliegen. Für den zweiten Versuchsansatz liegen noch keine vollständigen Daten vor, weshalb lediglich erste Ergebnisse präsentiert werden können.

### **2.3.1 pH-Wert**

Die zu jedem Probenahmetermin ermittelten pH-Werte in den Silagen geben Aufschluss darüber, ob die Konservierung erfolgreich verlief. Liegen pH-Werte über 6,5 vor, so deutet das auf Fehlgärungen hin.



Im Mittel lag der gemessene pH-Wert beim ersten Versuchsansatz bei 4,2, wobei bei der Berechnung dieses Wertes die fünf Versuchsglieder, bei denen pH-Werte von 7 oder darüber vorlagen, mit berücksichtigt wurden. Hohe Werte wurden bei viermonatiger Lagerung von Rübenbrei mit 5 % Strohbeimischung (eine Probe) sowie bei allen Blattvarianten, die sechs Monate oder länger eingelagert waren, festgestellt (vier Proben). Der Umstand, dass bei diesen Proben kein säuerlicher Geruch vorlag, unterstreicht die These, dass die Silierung nicht störungsfrei abgelaufen ist. Im zweiten Jahr verlief die Konservierung etwas besser. Lediglich die drei Varianten mit ganzen Rüben wiesen nach vier Monaten Werte um pH 5 auf. Offensichtlich waren diese noch nicht ganz durchsiliert, denn bei den nach sieben Monaten gemessenen Proben der gleichen Varianten lag der Wert bei pH 4 (vgl. Tab. 1).

*Tab. 1: pH-Werte der unterschiedlich aufbereiteten Rüben bzw. Rübenblätter beider Versuchsansätze in Abhängigkeit der Einlagerungsdauer*

Varianten	pH – 4 Monate		pH – 7 Monate		pH – 10 Monate	
	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 1	Jahr 2
Blatt	4,5	4,3	7,2	4,4	7,2	4,5
Brei	4,0	3,9	3,7	3,7	3,7	3,3
Brei-Stroh (2, 5, 10, 30 %)	5,4	3,7	4,2	4,0	4,2	3,5
Schnitzel	4,0	4,0	3,6	3,9	3,6	4,2
ganze Rüben	4,3	5,4	3,7	4,0	3,7	3,6

### 2.3.2 Frisch- und Trockenmasseverlust

Im ersten Jahr wurde nach vier Monaten ein mittlerer Frischmasseverlust von 3,1 % festgestellt, wobei die Werte zwischen 1,6 und knapp 8 % schwankten. Nach sieben Monaten schwankten die Frischmasseverluste zwischen 1,8 und 13 % ( $\bar{\emptyset}$  4,3 %) und nach zehn Monaten zwischen 3 und 17 % ( $\bar{\emptyset}$  6 %). Die höchsten Frischmasseverluste wiesen die offen gelagerten Varianten bzw. mit Stroh bedeckte ganze Rüben auf. Mit Werten zwischen 8 und 70 % ( $\bar{\emptyset}$  23 %) lagen die Verlustraten der enthaltenen Organik (oTS) deutlich höher und schwankten stärker. Eingelagerte und mit Stroh abgedeckte ganze Rüben schnitten hier am schlechtesten ab. Die besten Ergebnisse erzielten auch hier die luftdicht abgedeckten Breivarianten (siehe Abb. 2).

Die Frischmasseverluste im zweiten Versuchsjahr liegen auf einem ähnlichen Niveau. Hier traten nach vier Monaten mit durchschnittlich 2,4 % geringfügig niedrigere Verluste auf, die mit Werten zwischen 0,8 und 5,1 % weniger stark streuten als im ersten Jahr. Nach sieben Monaten lagen die Schwankungen zwischen 1,8 und 7,4 % ( $\bar{\emptyset}$  4,3 %) und nach zehn Monaten zwischen 2,3 und 12 % ( $\bar{\emptyset}$  6,3 %). Nach zehn Monaten wurden die höchsten Frischmasseverluste bei offen gelagertem Rübenbrei, bei beiden Varianten mit Rübenblättern sowie bei den Breivarianten, welche mit 2 bzw. 5 % Stroh vermischt eingelagert wurden. Die Ergebnisse zu den oTS-Verlusten aus dem zweiten Versuchsjahr stehen noch aus.

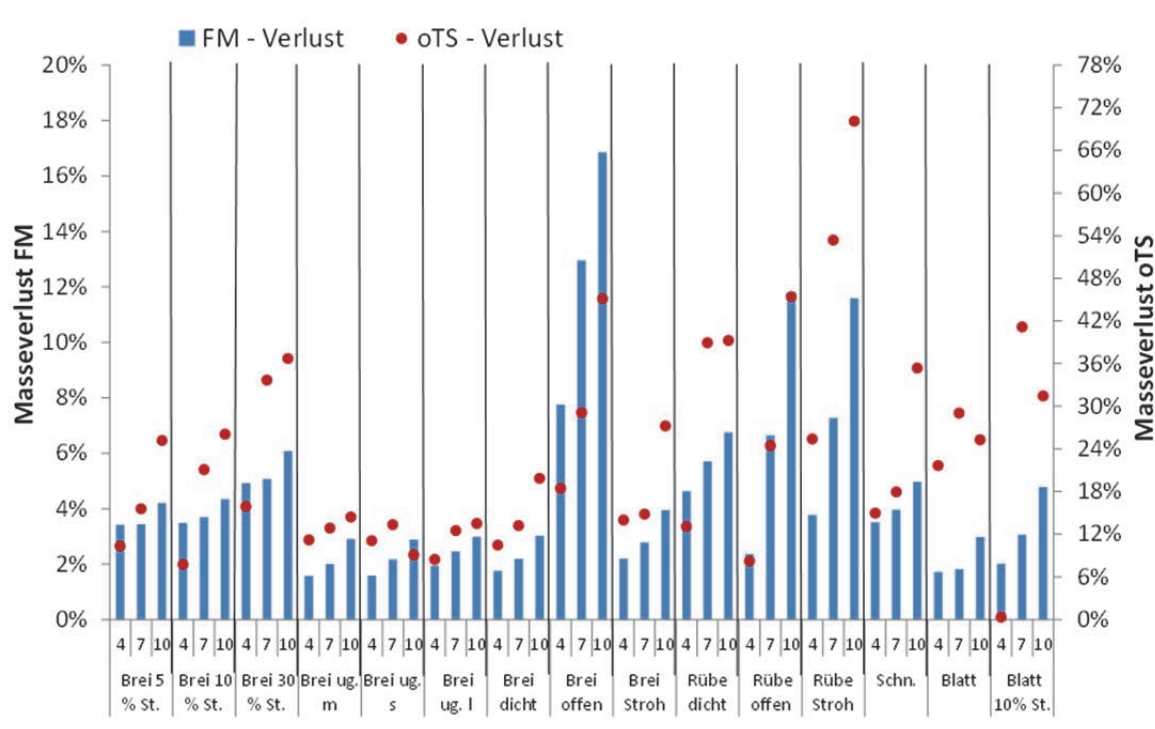


Abb. 2: FM- und oTS- Verlustraten der Zuckerrüben in Abhängigkeit der Einlagerungsdauer und des Einlagerungsverfahrens im 1. Versuchsjahr (St. = Stroh; ug = ungereinigt; m = von mittelschwerem; l = leichtem; s = schwerem Standort)

In Abbildung 3 sind die in den beiden Versuchsjahren ermittelten Frischmasseverluste der Breivarianten mit unterschiedlicher Abdeckung und von unterschiedlichen Standorten dargestellt. Allen gemeinsam ist, dass sie auch im zweiten Versuchsjahr nicht dauerhaft mit Gewichten beschwert wurden. Bei luftdicht abgedecktem Rübenbrei weichen die Ergebnisse der zwei Versuchsansätze kaum voneinander ab. Nach zehn Monaten lagen die Verluste in beiden Jahren durchschnittlich unter 3 %, unabhängig vom Standort oder Reinigungsgrad. Bei mit Stroh abgedecktem Rübenbrei lagen die Frischmasseverluste geringfügig höher aber immer noch unter 5 %. Mit knapp 17 bzw. 12 % fallen die Verluste bei offen gelagertem Rübenbrei deutlich höher aus. Weshalb die offene Lagerung des Breis im ersten Versuchsjahr rund 30 % höhere Verluste verursachte als im zweiten Jahr, ist noch nicht geklärt.

### 2.3.3 Biogaspotential

In Abbildung 4 sind die in Batchversuchen ermittelten Methanverlusten aus dem 1. Versuchsjahr dargestellt. Diese geben an, wie sich das Energiepotential des gesamten Inhalts eines Lagerbehälters über die Einlagerungszeit verändert hat. In dieser Darstellung sind also auch die Frisch- und Trockenmasseverluste mit berücksichtigt. Verglichen wurden die Ergebnisse der eingelagerten Varianten mit den Resultaten der Ausgangsmaterialien. Bei den luftdicht verschlossenen Brei- und Schnitzelvarianten traten praktisch keine bzw. nur geringe Verluste auf. Nach sieben Monaten lagen die Verluste des offen gelagerten Breis bei rund 13 % und damit etwa doppelt so hoch wie die der strohbedeckten Breivariante. Die höchsten Verluste (29 %) wurden bei sieben Monate eingelagerten Rübenblättern festgestellt, was auf Fehlgärungen zurückzuführen sein dürfte (vgl. pH-Wert Tab. 1). Überraschend ist das positive Ergebnis des Breis, dem 5 % Stroh beigemischt wurden. Hier konnte der Siliervorgang offenbar Energiepotentiale aus den lignocellulosen Kom-

plexen mobilisieren, die im Stroh enthalten sind. Die in den Komplexen enthaltenen Bestandteile Cellulose und Hemicellulose sind für anaerobe Bakterien schwer umsetzbar und könnten durch das saure Milieu in der Silage einen Teilaufschluss erfahren haben.

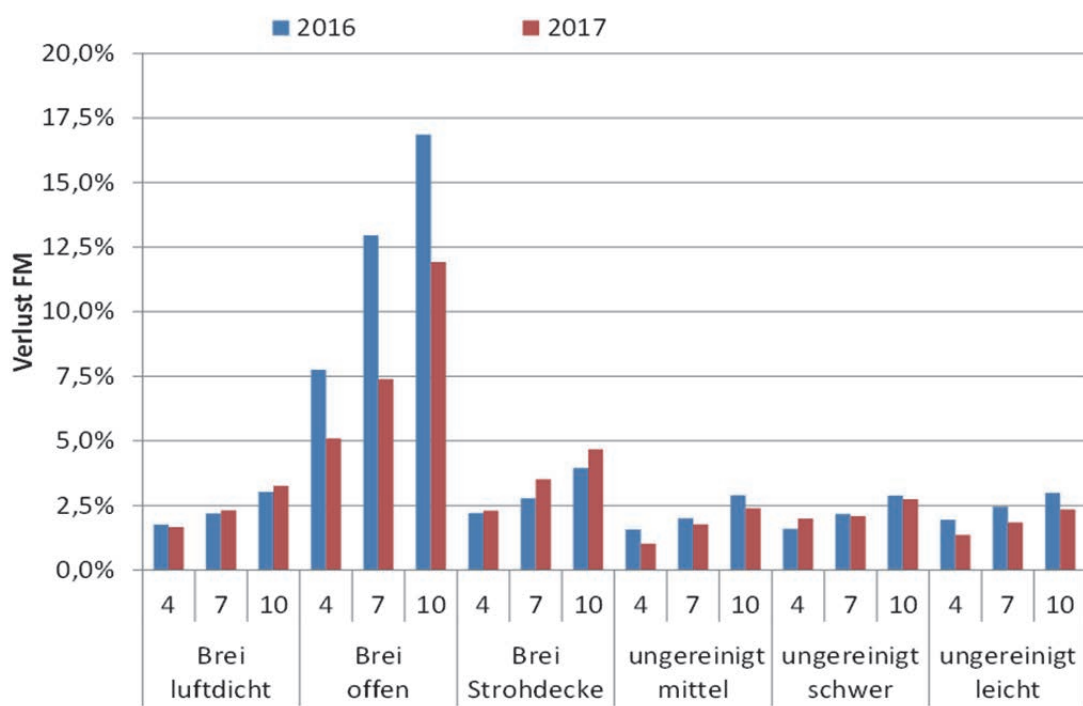


Abb. 3: Frischmasseverluste von unterschiedlich abgedecktem Rübenbrei und Rübenbrei aus unterschiedlichen Standorten bzw. Reinigungsgrad nach 4, 7 und 10 Monaten Einlagerungszeit in 2016 und 2017

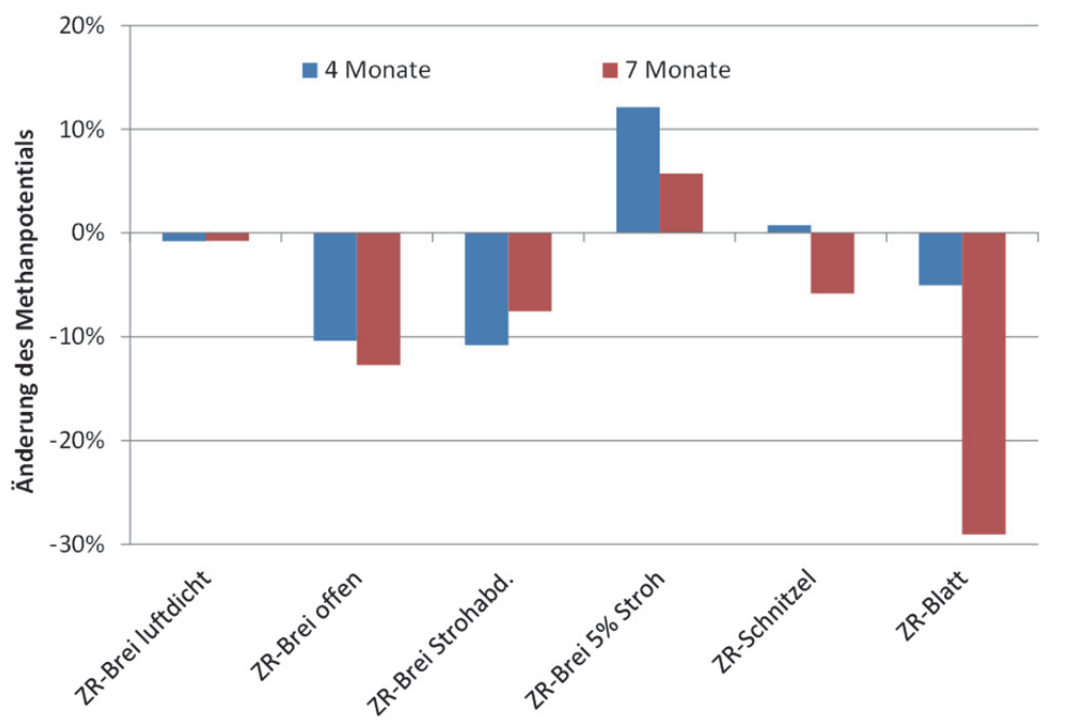


Abb. 4: Änderung des Methanpotentials ausgewählter Varianten nach vier bzw. sieben Monaten Einlagerungszeit (bezogen auf das Energiepotential der Ausgangsmaterialien, Ergebnisse aus dem 1. Versuchsjahr)

### 2.3.4 Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Gärversuche zeigen, dass Zuckerrübenbrei bereits nach sechs Tagen rund 80 % seines Gesamtmethanpotentials freigegeben hat. Bei der Vergärung von Mais-silage, die als Referenzprobe mitgeprüft wurde, werden dafür rund 12 Tage benötigt. Aufgrund dieses Vorteils hinsichtlich der Abbaukinetik ist die Zuckerrübe durchaus für eine flexiblere Gestaltung der Gasproduktion geeignet. Allerdings können in Abhängigkeit der Einlagerungsmethode und der Lagerungsdauer erhebliche Lagerungsverluste vor allem in der obersten Schicht eines Silostockes auftreten. Die Ergebnisse aus den Lagerungsversuchen sind nur auf die oberste Schicht eines Praxissilos (80 cm) übertragbar, so dass die absoluten Verluste in Abhängigkeit der Lagerungstiefe einzustufen sind. Außerdem zeigen die Erfahrungen aus dem Betrieb der Hof-Forschungsbiogasanlage in Grub, dass es bei offen gelagertem Zuckerrübenmus aufgrund von Oxidation nach der Einlagerung zu starker Aufquellung kommen kann. Die Ergebnisse der Lagerungsversuche zeigen zudem, dass die Verluste bezogen auf die Organik nicht selten 35 % überschreiten und im Extremfall bis zu 70 % betragen können. Nach dem ersten Versuchsjahr deutet viel darauf hin, dass von einer offenen Lagerung oder einer Strohabdeckung der Zuckerrübe bei langen Lagerungszeiten bis zu zehn Monaten unabhängig von der Aufbereitung abgeraten werden muss. Luftdicht abgedeckte Varianten sind diesen gegenüber zwar im Vorteil, aber nicht generell zu empfehlen. So sind die oTS-Verluste ganzer Rüben trotz des luftdichten Abschlusses rund doppelt so hoch wie die des Rübenbreis mit Abdeckung.

Hinsichtlich des Methanpotentials zeigt sich dasselbe Bild. Die höchsten durch die Lagerung verursachten Verluste zeigen die offen oder mit Stroh bedeckt eingelagerten Varianten. Luftdicht eingelagerter Rübenbrei dagegen weist auch nach zehnmontatiger Lagerung praktisch keine Verluste auf. Interessant ist die Co-Silierung mit Stroh. Hier konnte ein offensichtlich durch die Lagerung verursachter Aufschluss von schwer abbaubaren Bestandteilen die oTS-Verluste mehr als kompensieren, so dass ca. 8 % mehr Biogas produziert wurde als beim Ausgangsmaterial. Die Untersuchungen werden fortgesetzt, um abgesicherte Ergebnisse gewinnen zu können.

## 3 Monitoring von Biogasanlagen mit Zuckerrübeneinsatz

Um Messdaten und Erfahrungen von Praxis-Biogasanlagen mit Zuckerrübenvergärung sammeln zu können, wurde ein Monitoringnetz für Biogasanlagen mit Zuckerrübenvergärung aufgebaut. Dieses Monitoringnetz besteht derzeit aus fünf Praxisbiogasanlagen und der Hof-Forschungsbiogasanlage in Grub. Mit dem Monitoring sollen unmittelbar für die Praxis verwertbare Bewertungsmaßstäbe und Handlungsempfehlungen für die Verfahrenskette der Einlagerung und Vergärung von Zuckerrüben abgeleitet werden.

### 3.1 Vorstellung der Forschungsbiogasanlage Grub

Die Biogasanlage der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub dient zur Umsetzung eines Konzeptes zur dezentralen und flexiblen Stromproduktion (Abb. 5). Zusätzlich zur klassischen Hofbiogasanlage mit 75 kW<sub>el</sub> wurde in einem zweiten Schritt ein weiteres Spitzenlast-BHKW mit 203 kW<sub>el</sub> zur Flexibilisierung des Anlagenbetriebs installiert. Es sind somit zwei Gas-Otto-Motoren im Einsatz, die den Strombedarf der gesamten Liegenschaft decken sollen. Entsprechend muss die Stromproduktion an den Strombedarf angepasst werden.

Durch die flexible Fahrweise der Motoren werden die täglichen Strombedarfsspitzen mit dem Ziel der Minimierung des externen Strombezugs abgefahren. Die Biogasanlage wird hauptsächlich durch energiearme Gülle und Mist versorgt. Um die tagsüber stark ansteigende Energienachfrage zu bedienen, müssen zusätzlich energiereiche Substrate wie Mais oder Zuckerrübensilage eingesetzt werden. Diese Fahrweise erlaubt die Prüfung und Bewertung der Zuckerrübe als „Flex-Substrat“ zur flexiblen Produktion von Biogas und Strom.



Abb. 5: Luftaufnahme der Biogasanlage und einem Teil der Liegenschaft in Grub

## 3.2 Erste Ergebnisse aus der Forschungsbiogasanlage Grub

Für die Verwertung von Zuckerrüben in der Forschungsbiogasanlage werden jährlich ca. 500 Tonnen Zuckerrüben aufbereitet. Der Stein- und Abraumbesatz nach der Zuckerrübenwäsche lag 2016 bei 3,4 % Gewichtsanteil. Bis dato stellt sich das Abtrennen des hohen Steinbesatzes der Zuckerrüben (Münchner Schotterebene) als größte Herausforderung dar.

### 3.2.1 Aufbereitung und Lagerung von Zuckerrüben

In Abbildung 6 werden die einzelnen Prozesse zusammengefasst. Zunächst werden die Zuckerrüben im Betrieb zwischengelagert und zeitnah einer Nassreinigung zugeführt. Primär geht es hierbei um die Abtrennung des Steinbesatzes, da so Schäden an der Exzentrerschneckenpumpe, die für das automatisierte Befüllen des Fermenters zuständig ist, vermieden werden können. Nach der Wäsche wird direkt mit einem Kompostschredder gemust und das Material in einen offenen Behälter mit Leckageerkennung eingebracht. Da sich die frische Masse durch Oxidation stark ausdehnt, darf der Behälter nicht bis zur Oberkante befüllt werden, um ein Überlaufen zu vermeiden. Die Oxidation findet insbesondere in den oberen Schichten statt. Es bildet sich eine ca. 15 bis 30 cm dicke Schicht, die eine dunkelbraune Farbe annimmt. In 2016 musste ca. vier Monate abgewartet werden, bis das Mus unterhalb dieser Schicht pumpfähig wurde. Zur Fütterung wird die Pumpe in das Mus eingetaucht und das pumpfähige Material in den Fermenter befördert. Ein wesentlicher Vorteil der Lagerung von Zuckerrübenmus ist, dass über das ganze Jahr keine zusätzliche Arbeitszeit für die Fütterung der Anlage eingeplant werden muss. Die Pumpe

kann wie der Feststoffdosierer in Intervallen eingestellt werden und läuft automatisch. Sämtliche Baumaterialien sind insbesondere hinsichtlich Säurebeständigkeit auf den Einsatz mit Zuckerrübenmus zu prüfen.

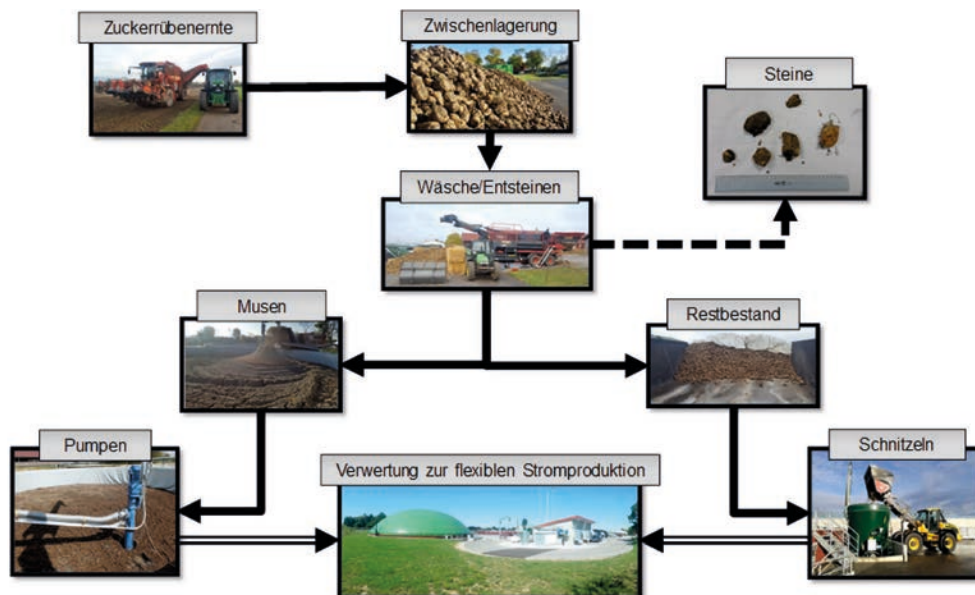


Abb. 6: Prozesspfade zur Bereitstellung von Zuckerrübenmus und -schnittel in der Forschungsbiogasanlage Grub

### 3.2.2 Einsatz von Zuckerrübenmus/-schnittel und Auswirkungen auf die Fermenterbiologie

Um Änderungen in der Prozessbiologie bewerten zu können, werden wöchentlich Fermenterproben im Labor analysiert. Während des Intervallbetriebs werden verstärkt energiereiche Substrate eingesetzt und bis vier Tonnen Zuckerrübenmus/-schnittel gefüttert.

Die Laborergebnisse aus Tabelle 2 zeigen, dass trotz einer intensiven Beschickungsrate und dem Einsatz von Zuckerrüben die Fermenterbiologie während des flexiblen Betriebs stabil geblieben ist. Alle Richtwerte bzgl. wichtiger Prozessindikatoren werden eingehalten, was auf den hohen Gülleanteil (hohe Pufferkapazität) zurückzuführen sein dürfte und nicht generell übertragbar ist.

Tab. 2: Prozessparameter aus den wöchentlich genommenen Fermenterproben

Parameter	Trockensubstanz [%]	pH-Wert [%]	FOS/TAC	Ammoniumstickstoff NH <sub>4</sub> -N [mg/kg]
Maximum	7,1	8,1	0,31	1885
Standardabw.	0,4	0,1	0,04	246
<b>Mittelwert</b>	<b>6,2</b>	<b>7,7</b>	<b>0,23</b>	<b>1485</b>
Minimum	5,3	7,5	0,17	1105

Hingegen kam es zu Problemen mit Schaumbildung. Dieser wurde zwar schon vor dem Zuckerrübeninsatz festgestellt, die Situation hat sich durch die Rübe jedoch noch verschärft. Eine halbe Stunde nach Einbringen von 0,5 – 1 m<sup>3</sup> Zuckerrübenbrei wurde ein

Anstieg von Schaum um einen halben Meter festgestellt. Der Schaum ließ sich durch geringe Mengen von Rapsöl relativ schnell wieder entfernen. Deshalb wurde für die Versuchsanlage eine Rapsölpumpe entwickelt, die bei aktiver Futterschnecke automatisch eine geringe Menge einträgt (ca. 1 Liter pro Zyklus). Der Schaumspiegel kann seither unter Kontrolle gehalten werden. Sind aufgrund von Produktionsspitzen zusätzliche Zuckerrüben gegeben (Stoßbelastung), musste der Schaumspiegel überwacht und ggf. zusätzlich Rapsöl eingebracht werden.

### **3.2.3 Einsatz von Zuckerrüben zur Gasproduktion im flexiblen Betrieb**

Zuckerrübenschnitzel und -mus wurden hauptsächlich zur Unterstützung der flexiblen Stromproduktion eingesetzt. So wurde während der Woche mehr Zuckerrübenmus eingesetzt als am Wochenende, da die Verbrauchsspitzen an den Arbeitstagen (Montag - Freitag) wesentlich höher waren. Unter der Woche wurde in Drei-Stundenintervallen 0,25 - 0,5 m<sup>3</sup> Zuckerrübenmus eingepumpt. Bei erhöhter Schaumbildung oder ausreichend Biogas für das verbrauchsärmere Wochenende wurde die Beschickungsrate auf sechs Stunden erhöht. In der Regel wurde die Fütterung so durchgeführt, dass über Nacht mehr Biogas „vorproduziert“ wurde, um dieses dann am Morgen während den Verbrauchsspitzen zu verwerten. In manchen Fällen wurde zusätzlich Zuckerrübenmus eingesetzt, um Engpässen (Gasknappheit) entgegenzuwirken.

Nach BISCHOFF ET AL. (2017) stehen pro Tonne Frischmasse 149 m<sup>3</sup> Biogas (unterhalb der Deckschicht) zur Verfügung. Am Vormittag, bei hohem Energiebedarf, wurden bis zu zwei Tonnen Zuckerrübenmus eingepumpt, wodurch zusätzlich mit 300 m<sup>3</sup> Biogas kalkuliert werden kann. Das entspricht bei einem mittleren Tagesbedarf von ca. 2000 m<sup>3</sup> Biogas etwa 15 % des täglichen Gesamtbedarfs.

In Abbildung 7 sind die Substratzufuhr und der Gasdurchfluss beispielhaft für einen Tag dargestellt (Dienstag, 02.05.2017, ein Tag nach Feiertag und verlängertem Wochenende). Der Feststoffdosierer lief aufgrund des verlängerten Wochenendes alle sechs Stunden, das letzte Mal um 2:00 Uhr morgens. Die nächste Feststoffdosierung erfolgte erst um 10:25, die zweite Zuckerrübenmusdosierung um 7:00. Die Gasproduktion schwankte zwischen knapp 70 bis ca. 110 Kubikmeter Biogas pro Stunde. Der Anstieg der Gasproduktion nach 8:00 ist auf die zweite Zuckerrübenmusbeschickung zurückzuführen. Daraus lässt sich eine ungefähre Abbaurate von ein bis zwei Stunden für das Zuckerrübenmus abschätzen.

## **3.3 Monitoring von Praxisbiogasanlagen**

Mit Unterstützung von Anlagenplanern, Betreibern bisheriger Pilotanlagen sowie Mitarbeitern der ÄELF konnten von zehn Kandidaten fünf bayerische Betriebe für das Praxismonitoring ausgewählt werden. Alle ausgewählten Betriebe setzen zumindest saisonal mehr als 25 % Frischmassenanteil Zuckerrüben ein.

Nach den an der LfL entwickelten und bewährten Methoden des intensiven Monitorings von Pilotbetrieben werden die ausgewählten Betriebe mit entsprechender Messtechnik und chemischer Analytik über einen zweieinhalbjährigen Beobachtungszeitraum bewertet. Untersucht wird, welche Auswirkungen der Einsatz von Zuckerrüben auf die Stabilität der Gärbiologie, die Gasausbeute, die Gasqualität und auf die energetische Effizienz der Gesamtanlage hat.

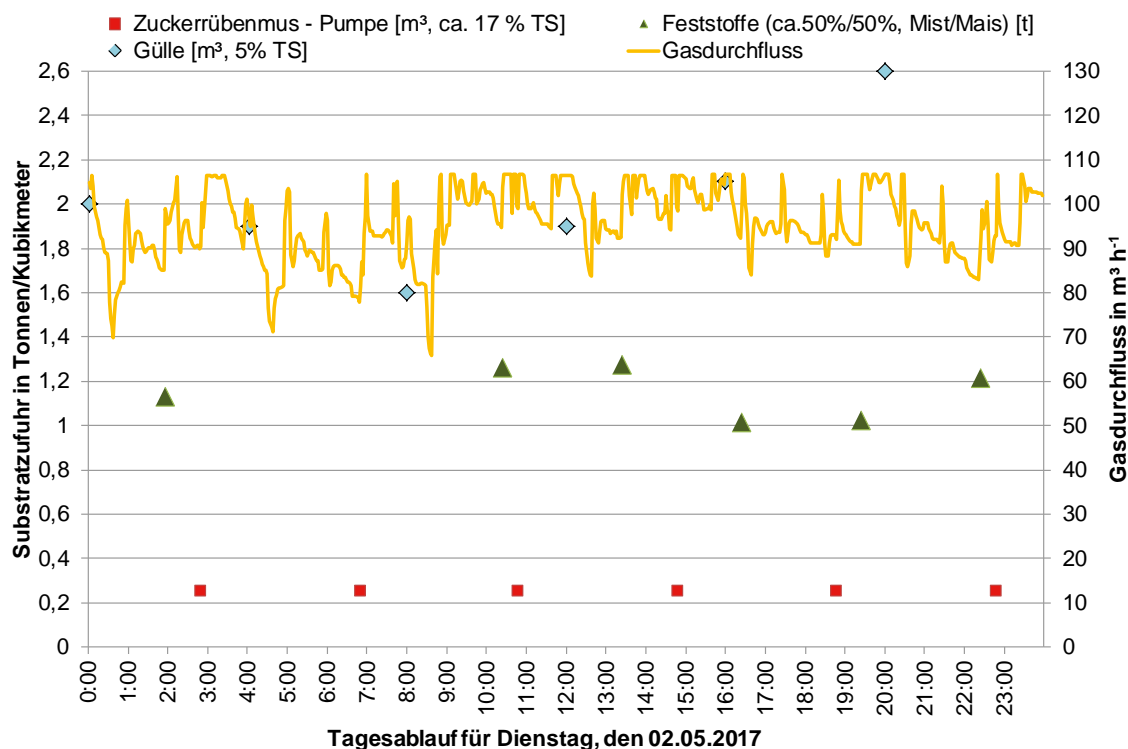


Abb. 7: Tagesverhalten des Gasdurchflusses aus dem Fermenter in Abhängigkeit unterschiedlicher Beschickungsraten

Um die in den Biogasanlagen erzielte Methanausbeute beurteilen zu können, wird auf die nachfolgend beschriebene Referenzmethode zurückgegriffen. Die „relative Methanausbeute“ wird dabei als Quotient der erzielten/gemessenen und der zu erwartenden Methanausbeute berechnet. Zur Ermittlung der zu erwartenden Methanausbeute werden aus den monatlich gesammelten Einsatzstoffproben der Pilotbiogasanlagen eines Untersuchungsjahres repräsentative Sammelmischproben nach entsprechender Aufbereitung bzw. Homogenisierung der jeweiligen Einsatzstoffe (gefrorene Rückstellproben) gezogen und diese Sammelmischproben einer Gasertragsbestimmung nach dem Batchverfahren im Labor (VDI 4630) unterzogen.

In der Tabelle 3 werden die untersuchten Praxisbiogasanlagen technisch spezifiziert und die Verfahren zur Bereitstellung der Zuckerrüben für die Biogaserzeugung beschrieben. Die Betriebe sind sehr unterschiedlich ausgestattet und setzen bis auf einen Betrieb Rindergülle/-mist oder Putenmist ein. Drei der fünf Betriebe vergären Zuckerrüben nur saisonal und betreiben eine Mietenlagerung der Zuckerrüben, während die beiden anderen Anlagen ganzjährig Zuckerrüben einsetzen und zur Konservierung Silierverfahren verwenden.

Die Datenerfassung umfasst im Wesentlichen die folgenden Maßnahmen:

1. Probenahmen (monatlich): Beprobung aller Einsatzstoffe und Gärbehälterinhalte
2. Datenlogger (zweimal täglich bzw. Zwölfstundenmittelwert): Aufzeichnung aller automatisch erfassbaren Messwerte im Anlagenbetrieb (z.B. Stromverbrauch wesentlicher Einzelkomponenten, Gasverbrauch BHKW, Gasqualität, etc.)
3. Betriebstagebuch (ein-/zweimal täglich): Dokumentation der Einsatzstoffmengen, Zählerstände, Anlageneinstellungen und Betriebsstörungen
4. Gasertragstest Einsatzstoffe (jährlich): Batch-Gärttest der einzelnen Einsatzstoffe



Tab. 3: Zusammenstellung der untersuchten Praxisbetriebe

Anlagen-ID	8	22	25	27	28
Geografische Lage	Oberbayern	Mittelfranken	Mittelfranken	Niederbayern	Nordschwaben
Jahr der Inbetriebnahme	2004	2009	2006	2005	2007
Gesamte elektrische	750	103	290	400	500
BHKW-Nennleistung, kW					
Nutzvolumen	./.	./.	170	140	./.
Hydrolysestufe, m <sup>3</sup>					
Nutzvolumen (Haupt-)	2 x 900	2 x 115	700	1400	1400
Fermenter, m <sup>3</sup>					
Nutzvolumen Nachgärer, m <sup>3</sup>	2 x 1100	./.	550	2 x 60	1400
Gärrestlagervolumen, m <sup>3</sup>	4100	1460	./.	./.	2100
Gär-raum-spezifische elektrische BHKW-Nennleistung, kW m <sup>-3</sup>	0,19	0,45	0,20	0,24	0,18
Prozesstemperatur, °C	41	53	40	42	45
Einsatzstoffe pflanzlich	Maissilage, Grassilage, Getreide-GPS, Zuckerrüben	Maissilage, Grassilage, Zwischenfrucht-GPS, Zuckerrüben	Maissilage, Grassilage, Zwischenfrucht-GPS, Zuckerrüben	Maissilage, Grassilage, Körnermais, Zuckerrüben	Maissilage, Grünroggen-GPS, Zuckerrüben
Einsatzstoffe tierisch	Rindergülle	Rindergülle, Rindermist	Rindergülle	/	Putenmist
Art der Rübenlagerung (zur Reduktion von Verlusten durch Frost Vliesabdeckung bei Mietenlagerung)	Miete in der Fahrsiloanlage	Miete in der Fahrsiloanlage	Miete am Feldrand, Zwischenlagerung in Halle, Kosilierung mit GPS und Stroh	Miete in der Fahrsiloanlage, Breisilierung in Edelstahlbehälter	Miete am Feldrand und in Fahrsiloanlage
Aufbereitung der Rüben	Trockenreinigung; Rübenschnitzler	Trockenreinigung; Silostockfräse am Futtermischwagen	Trockenreinigung; Rübenschnitzler	Trockenreinigung; Biomasseschredder	Trockenreinigung; Rübenschnitzler
Einsatzzeitraum Rüben	Saisonal (ca. sechs Monate)	Saisonal (ca. vier Monate)	Ganzjährig	Ganzjährig	Saisonal (ca. sechs Monate)

Mit der Beprobung und Analyse der Einsatzstoffe und Gärgemische von den Pilotbetrieben wurde im Oktober 2016 begonnen. Bis zum Frühjahr 2017 wurden teilweise noch Messtechniken nachgerüstet. Aussagekräftige Ergebnisse sind erst nach einer längeren Beobachtungsdauer verfügbar.

## 4 Danksagung

Die Autoren danken dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Förderung der Forschungsvorhaben N/15/05, N/15/06 sowie N/14/13.

## 5 Literaturverzeichnis

- ASCHMANN, V., EFFENBERGER, M., GRAF, J., HALAMA, M., & KEYMER, U. (2013): Einsatz von Biogas zum Ersatz von Gaskraftwerken. Bayernplan. Freising, Deutschland/Bayern: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft; Schriftenreihe 7/2013
- BACHMEIER, H., EBERTSEDER, F., EFFENBERGER, M., KISSEL, R., & RIVERA GRACIA, E. (2011): Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern. Freising, Deutschland/Bayern: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- BISCHOFF, M., GRUBER, W., HEILMANN, H., HERMUS, S., LEMMER, A., SCHAIPEL, D., STROBL, M., THAYSEN, J. (2017): Zuckerrüben auf Biogasanlagen. Verfahren – Lagerungsverluste – Kosten, Hrsg: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, ISBN 978-3-945088-50-0
- FRIEDRICH (2013): Wie viel geht verloren. Bauernzeitung, H. 7, S. 30-31
- GRÖBLINGHOFF, N. (19. 11 2010): Erfahrungen mit Rübenbrei als Biogassubstrat. [www.proagri.de/app/download/5780440805/Rübenbrei+als+Biogassubstrat.pdf](http://www.proagri.de/app/download/5780440805/Rübenbrei+als+Biogassubstrat.pdf) (abgerufen am 25. 6 2016)
- GROMKE, D., RENSBERG, N., DENYSENKO, V., HILLEBRAND, K., & NAUMANN, K. (2014): Stromerzeugung aus Biomasse. Leipzig: Deutsches Biomasse Forschungszentrum
- LICHTI, F., DANDIKAS, V. A., SIDDIQUI, N., & HANRIEDER, M. (2016): Weiterentwicklung der Methode für Batchversuche zur Gasertragsbestimmung im Technikumsmaßstab. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
- PELKA, N., BUCHHOLZ, M., & MÜBHOFF, O. (2015). Die gesamtbetriebliche Bewertung von Zuckerrüben mit dem Produktionsziel Biogas unter Berücksichtigung von Risiko. ISSN: 2196-5099: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- SCHAERFF, A., & BRÜCKNER, C. (2015): Rüben ans Netz. [http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Fachbeitrag\\_Biogasaruebe\\_030512.pdf](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Fachbeitrag_Biogasaruebe_030512.pdf) (abgerufen am 6. 5. 2015)
- SCHAFFNER, S. (2010): Zuckerrüben als Biogassubstrat. C.A.R.M.E.N. Fachgespräch. Straubing: C.A.R.M.E.N.
- SCHAFFNER, S., WOLF, G., & KAWASCH, M. (2013): Rüben als Biogassubstrat. Deutschland/Bayern: Biogas Forum Bayern II.
- STMELF (2014): Bayerischer Agrarbericht 2014 - Zuckerrüben. <http://www.agrarbericht-2014.bayern.de/landwirtschaft-laendliche-entwicklung/pdf/zuckerrueben.pdf> (abgerufen am 25. 06 2016)
- WEIBBACH, F. (2009): Das Gasbildungspotenzial von frischen und silierten Zuckerrüben bei der Biogaserzeugung. Landtechnik 64, S. 394 - 397

## **Verfahrenstechnik zum Einsatz von Körnermaisstroh in der Biogaserzeugung**

Stefan Thurner<sup>1</sup>, Monika Fleschhut<sup>2</sup> und Dr. Joachim Eder<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

<sup>2</sup>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und  
Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 8, 85354 Freising (Projektbearbeitung),  
jetzt Syngenta Agro GmbH

<sup>3</sup>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und  
Pflanzenzüchtung, Am Gereuth 8, 85354 Freising

### **Zusammenfassung**

Körnermaisstroh wird aktuell in Deutschland nur selten genutzt und verbleibt in der Regel als Ernterückstand auf dem Acker. Weltweit wird Körnermaisstroh je nach Region in gewissem Umfang z. B. zur Bioethanolherstellung, als Futtermittel oder als Brennstoff genutzt. Die Nutzung als Biogassubstrat ist noch relativ neu und wird bisher fast nur in Europa umgesetzt. Dementsprechend gibt es nur wenige Ernteverfahren für Körnermaisstroh.

Aufgrund dieser Ausgangslage wurden in Europa verfügbare Ernteverfahren in einem Großparzellenversuch über drei Jahre getestet. Für das Schwadlegen des Körnermaisstrohs kamen ein Maispflücker mit Schwadvorrichtung, ein Schwadmulcher und ein Bandschwader zum Einsatz. Die Bergung erfolgte mittels Feldhäcksler oder Kurzschnittladewagen.

Über drei Jahre ergab sich kein signifikanter Unterschied bei der Schwadleistung der drei untersuchten Verfahren. So konnten vom vorhandenen Körnermaisstrohpotential (im Mittel der drei Jahre 107 dt TM/ha) durchschnittlich 57 % oder 61 dt TM/ha auf Schwad gelegt werden. Bei der Bergung mittels Pick-up ergaben sich weitere Verluste in Höhe von im Mittel 8 dt TM/ha, so dass am Ende durchschnittlich rund 51 % des vorhandenen Körnermaisstrohs mit den getesteten Verfahren geerntet werden konnten. Zwischen den untersuchten Bergetechniken ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) des geernteten Körnermaisstrohs variierte je nach Erntebedingungen zwischen 27 und 59 % und der Rohaschegehalt lag im Mittel bei 7,6 %.

Die Siliereignung des geernteten Körnermaisstrohs konnte in Laborsilos grundsätzlich als gut bis sehr gut eingestuft werden. Auch der Methanertrag lag im Batchversuch bei 82 bis 96 % im Vergleich zu Silomais und somit auf hohem Niveau. Dadurch ist nach ersten Berechnungen ein wirtschaftlicher Einsatz von Körnermaisstroh in Biogasanlagen möglich. Bei einem Methanhektarertrag von rund 1.500 m<sup>3</sup> können somit pro Hektar geerntetem Körnermaisstroh 0,20 bis 0,25 ha Silomais ersetzt werden.

## 1 Einleitung

In Deutschland waren im Jahr 2015 laut aktuellen Zahlen des FACHVERBAND BIOGAS E.V. (2017) 8.856 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Nennleistung von 4.018 Megawatt am Netz. Als Substrate für die Biogaserzeugung werden nach wie vor überwiegend nachwachsende Rohstoffe eingesetzt, die auf mittlerweile 18,5 % der Ackerfläche in Deutschland angebaut werden (BMEL, 2015). Die eingesetzten Substrate nach Masseanteil (ohne Kofermente) waren in Bayern (Stand 2011) Maissilage (44 %), Rindergülle sowie -mist (28 %), Grassilage (10 %), Ganzpflanzensilage (8 %), Schweinegülle sowie -mist (6 %), Geflügeltrockenkot sowie -mist (2 %) und Körner (1 %) (STROBL, 2012). Neuere Erhebungen liegen derzeit nicht vor. Durch das ERNEUERBARE-ENERGIENGESETZ (2014) wird der Einsatz von Mais (als Ganzpflanze, Maiskorn-Spindel-Gemisch, Körnermais und Lieschkolbenschrot) sowie Getreidekörnern bei Anlagen die künftig unter dem EEG 2017 betrieben werden, schrittweise auf insgesamt bis zu maximal 44 Masseprozent begrenzt (§ 39h). Da auch die erfolgte Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus zunehmend Kritik hervorruft und auf Akzeptanzprobleme in der breiten Öffentlichkeit stößt, ist es notwendig, den Einsatz alternativer Biogassubstrate zu verstärken. Eine Möglichkeit bietet hierbei die Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe, wodurch eine weitere Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus reduziert und die Nutzungskonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion entschärft werden kann. Ein Reststoff, der für die energetische Nutzung in Frage kommt, ist Körnermaisstroh. Dieses verbleibt bislang ungenutzt auf dem Feld und lässt bei einem Anbauumfang von 137.100 ha im Jahr 2015 in Bayern (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK, 2015) einen nennenswerten Mengenanfall erwarten.

Für die Nutzung von Körnermaisstroh unter Erntebedingungen wie in Bayern stehen bisher keine erprobten Verfahren zur Verfügung. Daher müssen die möglichen Erntetechniken systematisch verglichen werden, um Aussagen zu deren Eignung für die Körnermaisstrohernte in Bayern abzuleiten.

## 2 Stand des Wissens

Körnermaisstroh wird weltweit für verschiedene Nutzungen wie z. B. zur Ethanolgewinnung (z. B. SHEEHAN ET AL., 2003), als Futtermittel sowie Einstreumaterial in der Tierhaltung (z. B. SHINNERS ET AL., 2011) oder als Brennstoff (z. B. IOANNIDOU ET AL., 2009) eingesetzt. Auch für chemisch-industrielle Zwecke, z. B. für die Extraktion einzelner Inhaltsstoffe oder für die Gewinnung von Zellstoff in der Papierindustrie (z. B. ZHU und LEE, 2011 oder BONINI ET AL., 2008), kann Körnermaisstroh eingesetzt werden. GLASSNER ET AL. (1998) bezifferten den Nutzungsumfang von Körnermaisstroh für die Tierhaltung (Futter und Einstreu) auf 5 %, den Anteil für industrielle Zwecke auf nur 1 %, und den Anteil, der auf dem Feld verbleibt, auf über 90 %. In jüngster Zeit besteht zunehmendes Interesse an der Nutzung von Körnermaisstroh für die anaerobe Vergärung, insbesondere in Europa. Die grundsätzliche Verwertbarkeit als Biogassubstrat wurde bereits vereinzelt beschrieben (MENARDO und BALSARI, 2012).

Da die Ernte von Körnermaisstroh in Deutschland bzw. auch größtenteils in Mitteleuropa kaum verbreitet ist und erst seit wenigen Jahren Interesse an dem Substrat Körnermaisstroh besteht, gibt es bisher nur wenige technische Lösungen zur Strohbergung. Je nach Anzahl und Kombinationen der Verfahrensschritte Dreschen, Schwaden und Bergen wer-

den die Ernteverfahren in absätzig oder kombinierte bzw. ein-, zwei-, drei- oder mehrstufige Verfahren unterteilt (Abb. 1). Bei den einstufigen Verfahren erfolgt die Ernte von Korn und Restpflanze gleichzeitig mit Hilfe eines umgebauten Mähdreschers, der jedoch nur in den USA von einigen Herstellern bzw. als „After-Market-Lösung“ verfügbar ist. Dabei wird die Restpflanze in einer integrierten Häckseleinrichtung zerkleinert und über einen Auswurfkrümmer an ein Transportgespann oder direkt in eine Quaderballenpresse übergeben (SHINNERS ET AL., 2009). Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in der nur einmaligen Überfahrt, den geringen Ernteverlusten und der geringen Verschmutzung des Ernteguts. Als nachteilig ist anzuführen, dass die Maschinenbelastung und der -verschleiß deutlich erhöht sind und auch die Schlagkraft beim Dreschen reduziert wird (VADAS und DIGMAN, 2013). Um die Flächenleistung beim Dreschen nicht zu sehr zu reduzieren (es wird von 39 % (SHINNERS ET AL., 2012) bis zu 60 % (GOLUB ET AL., 2016) reduzierter Flächenleistung berichtet) wird die Ernte bei den meisten Verfahren daher entkoppelt.

Bei einem zweistufigen Ernteverfahren, bei dem Dreschen und Schwaden kombiniert ist, kommen modifizierte Maispflücker zum Einsatz (FLESCHHUT ET AL., 2016; SHINNERS ET AL., 2012). Zusätzlich zur Pflückfunktion ist der Maispflücker mit einer Schwadvorrichtung ausgestattet, die die Strohablage in einem Schwad unterhalb des Pflückers ermöglicht. Lieschen und Spindeln fallen von den Schüttlern und Sieben ebenfalls auf den Schwad, wodurch im Vergleich zu drei- oder mehrstufigen Verfahren von beträchtlich geringeren Verlusten dieser beiden Fraktionen des Körnermaisstrohs auszugehen ist (GOLUB ET AL., 2016). Da mit Ausnahme der Kolben keine weiteren Anteile der Restpflanze den Mähdrescher passieren, verringert sich die Flächenleistung (ha/h) mit 9 % nur geringfügig (SHINNERS ET AL., 2012).

Wird das Schwaden und Bergen des Körnermaisstrohs in einem Verfahrensschritt kombiniert, handelt es sich ebenfalls um ein zweistufiges Verfahren. Nach dem normalen Drusch kommt ein Schlegelmulcher mit integrierter Schwadvorrichtung zum Einsatz, der an den Häcksler angebaut wird (M&R, 2017). Dabei wird das Körnermaisstroh direkt von der Schwadzusammenführung des Mulchers in den Vorpresskanal des Häckslers übergeben. Dieses Verfahren konnte bisher noch nicht erprobt werden, sollte aber wie das im Folgenden beschriebene Verfahren mit Direktschneidwerk aufgrund der begrenzten Arbeitsbreite eine geringere Flächenleistung beim kombinierten Schwaden und Bergen aufweisen als die separate Erledigung dieser Arbeitsgänge.

Ein weiteres zweistufiges Verfahren kombiniert die Verfahrensschritte Mähen und Bergen nach einem Hochdrusch. Dabei wird ein Scheibenmähwerk mit Schwadvorrichtung, auch bekannt als Direktschneidwerk bei der Ernte von Ganzpflanzensilage, als Vorsatz an den Häcksler angebaut und erntet das Körnermaisstroh sozusagen aus dem „stehenden Bestand“. Dazu muss der Drusch höher erfolgen. Am besten sollte der Pflücker direkt unter dem Kolbenansatz geführt werden und zugleich der Unterflurhäcksler am Pflücker ausgeschaltet werden, damit die Maisstängel mit einer Höhe von ca. 1 m stehen bleiben und somit vom Mähwerk abgemäht und dem Häcksler direkt zugeführt werden können. Der Vorteil dieser Methode gegenüber allen anderen Methoden ist die exaktere Häcksellänge des Ernteguts. Dadurch, dass der Großteil der Restpflanzen wie beim Silomais der Länge nach zur Häckseltrommel geführt werden können, wird die Restpflanze gleichmäßiger zerkleinert. Bei dieser Methode besteht allerdings der Nachteil, dass die Maisreihen bei gängiger Bereifung in den Mähdrescherspuren überfahren werden und somit nicht mehr mit dem Scheibenmähwerk geerntet werden können.

Bei den dreistufigen Verfahren sind alle drei Verfahrensschritte (Dreschen, Schwaden und Bergen) getrennt, so dass insgesamt drei Arbeitsgänge (Überfahrten) für die Ernte von Korn und Körnermaisstroh notwendig sind. Für das Schwaden des Körnermaisstrohs werden dabei entweder Kreiselschwader, Bandschwader oder spezielle Schlegelmulcher mit einer integrierten Schwadvorrichtung eingesetzt (z. B. FLESCHHUT ET AL., 2016; GOLUB ET AL., 2012; SHINNERS ET AL., 2012). Wird vor dem Schwaden gemulcht (SHINNERS ET AL., 2007) oder mit einem Scheibenmäherwerk die Stoppeln abgeschnitten (LIZOTTE und SAVOIE, 2011), sind insgesamt vier Verfahrensschritte erforderlich. Nach dem Schwaden erfolgt die Bergung des Körnermaisstrohs in Abhängigkeit von der Verwertungsrichtung und den Lagermöglichkeiten mit einer Ballenpresse (SHINNERS ET AL., 2007) oder, in der Literatur bisher seltener beschrieben, mit einer Pick-up am Feldhäcksler oder Ladewagen (SHINNERS ET AL., 2012; GOLUB ET AL., 2012). Der Einsatz einer Ballenpresse und die anschließende Lagerung der Ballen ist nur möglich, wenn das Erntematerial TS-Gehalte im Bereich von Heu oder Getreidestroh (> 85 %) sicher erreicht.

In Deutschland sind einstufige Verfahren aktuell nicht verfügbar. Hier werden zumeist zwei- und dreistufige Verfahren eingesetzt. Der größte Vorteil der zwei- oder dreistufigen Verfahren liegt bei der Entkopplung der Ernte der Körner von der Ernte des Körnermaisstrohs. Die dreistufigen Verfahren bieten zudem den Vorteil, dass bei jedem Verfahrensschritt mit maximaler Flächenleistung gearbeitet werden kann. Bei den zweistufigen Verfahren ist die Flächenleistung teils stark reduziert, bedingt durch die geringeren Arbeitsbreiten und die dadurch häufiger notwendigen Fahrten mit dem Feldhäcksler oder Ladewagen.

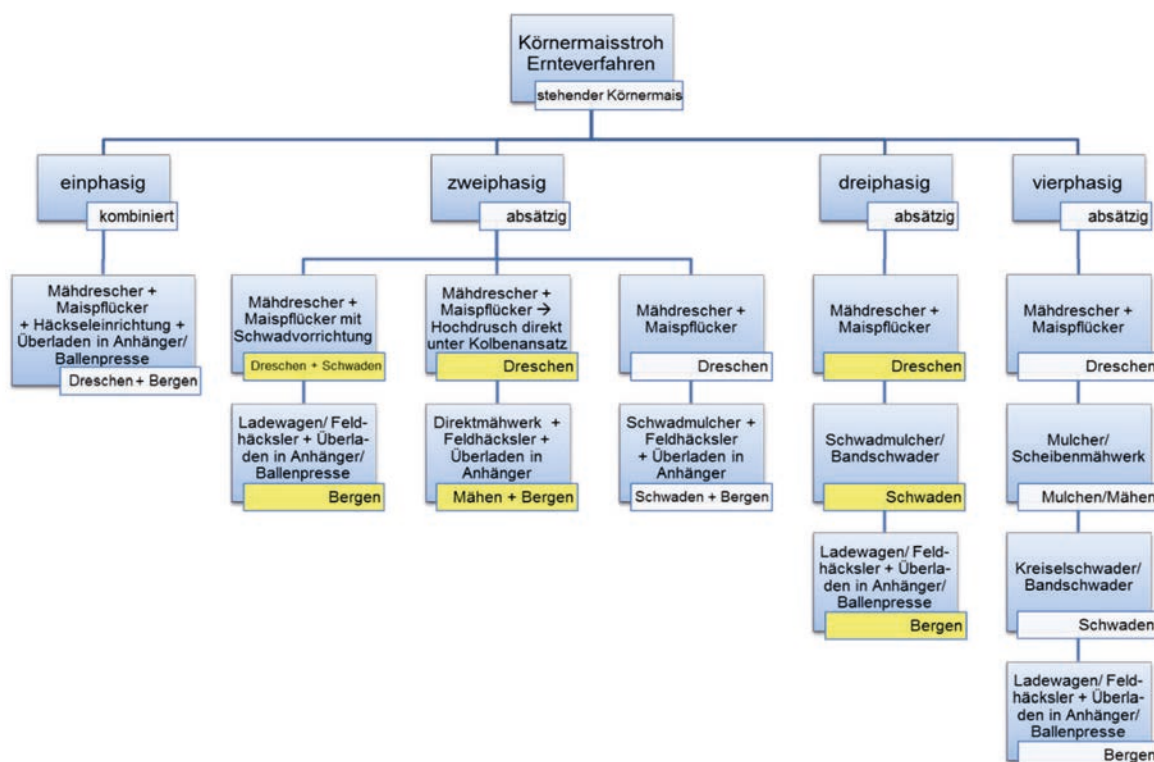


Abb. 1: Schematischer Überblick über derzeit bekannte Ernteverfahren (gelb: erprobte Verfahren)

### 3 Zielsetzung

Unter den Standortbedingungen Deutschlands sind die Feuchtegehalte zur Ernte in Korn und Restpflanze höher als z. B. in den USA, wo in der Regel trockenes Maisstroh in Ballen geerntet wird. Im Hinblick auf eine Verwertung in der Biogasproduktion wird daher als Konservierungsverfahren für das feuchtere Maisstroh die Silierung angestrebt, weshalb abweichend von anderen Klimaregionen geringere TS-Gehalte des Körnermaisstrohs zur Ernte angestrebt werden und daher ggf. andere Ernteverfahren geeigneter wären. Einstufige Verfahren sind derzeit in Deutschland nicht verfügbar. Als Grundlage für eine künftige Nutzung von Körnermaisstroh in Deutschland sind deshalb Untersuchungen zur Eignung verschiedener zwei- und dreistufiger Ernteverfahren, insbesondere die genaue Quantifizierung der Bergungsraten und Ernteverluste bei der Strohernte erforderlich. Weil Verluste in allen Verfahrensschritten der Strohernte auftreten, wird eine exakte Massenbilanzierung der Stroherträge über die gesamte Prozesskette angestrebt. Im Hinblick auf eine Verwertung in Biogasanlagen spielen außerdem eine schmutzarme Bergung und möglichst niedrige TS-Gehalte für eine erfolgreiche Silierung eine entscheidende Rolle. Ziel der Untersuchungen war es daher in Feldexperimenten verschiedene Ernteverfahren unter variierenden Bedingungen zu analysieren und die Ernteleistung und -qualität anhand der Stroherträge, der TS-Gehalte und Rohaschegehalte zu bewerten.

## 4 Material und Methoden

### 4.1 Flächen und Anbau

Für die vergleichende Analyse und Bewertung von Ernteverfahren zur Körnermaisstrohbergung wurden in den Jahren 2014, 2015 und 2016 Feldversuche im Praxismaßstab an der Versuchsstation Grub der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft durchgeführt. Die Versuchsfläche war in den Jahren 2014 und 2016 identisch und im Jahr 2015 wurde die gegenüberliegende Fläche genutzt, so dass von nahezu einheitlichen Standorteigenschaften auszugehen ist (anmooriger Boden, Bodenart Lößlehm). Als Vorfrucht stand auf den Schlägen 2014 und 2015 jeweils Winterweizen, auf dem Schlag für 2016 stand als Vorfrucht Sommergerste. Die Bodenbearbeitungsmaßnahmen vor der Saat beschränkten sich auf tiefes Grubbern und die Saatbettbereitung. Die Aussaat erfolgte betriebsüblich mit einem Reihenabstand von 0,75 m (Saattermine: 24.04.2014, 23.04.2015 und 29.04.2016; Saatstärke: 9 Pflanzen je m<sup>2</sup>). Nach der Saat wurden die Schläge gewalzt und die Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen ortsüblich durchgeführt. Die Parzellenbreite war bestmöglich auf die Arbeitsbreite der jeweiligen Schwadtechnik abgestimmt (6 m, 9 m und 12 m) und entsprach jeweils einem Vielfachen der Mähdrescherbreite (6 m). Nach Erreichen der Druschreife (maximale Kornfeuchte von 35 %) wurden alle Parzellen mit einem 8-reihigen Mähdrescher geerntet. Als Erntetechnik für die Strohbergung wurden zwei- und dreistufige Verfahren getestet (gelb markierte Verfahren in Abb. 1). Insgesamt wurden sechs verschiedene Erntevarianten (Faktor 1: drei Schwadtechniken in Kombination mit Faktor 2: zwei Bergetechniken (Feldhäcksler/ Kurzschnittladewagen)) unter variierenden Erntebedingungen (Faktor 3: zwei Feldliegezeiten (nur 2014) bzw. drei Sorten (nur 2015)) untersucht. Im Jahr 2016 wurde mit dem Direktschneidwerk eine vierte Erntetechnik geprüft. Alle Prüfglieder wurden in vierfacher Wiederholung in einer Spaltanlage mit vollständiger Blockbildung geprüft. Die Faktoren Feldliegezeit bzw. Sorten wurden

als Großteilstücke angelegt und die Schwadtechniken innerhalb der Großteilstücke zufällig verteilt.

## 4.2 Ernteverfahren

Für das zweistufige Ernteverfahren wurde als Schwadtechnik der Mais Star\* Collect (Carl Geringhoff Vertriebsgesellschaft mbH & Co.KG, Deutschland) eingesetzt (Arbeitsbreite: 8 Maisreihen). Bei diesem modifizierten Pflücker erfolgt das Schwaden des Körnermaisstrohs zeitgleich zum Körnerdrusch, die nachfolgende Strohbergung erfolgt dann separat. Der Maispflückvorsatz besitzt gekröpfte Häckselmesser, wodurch die Restpflanze stärker zerkleinert und ohne Bodenkontakt in eine unterhalb des Pflückers verbaute Auffangwanne geworfen wird. Anschließend wird das Substrat über eine integrierte Förderschnecke mittig unter dem Mähdrischer abgelegt, auf den auch die ausgedroschenen Spindeln und Lieschen fallen (Abb. 2).



Abb. 2: Maispflückvorsatz Mais Star\* Collect mit Schwadvorrichtung

Als absetzige Schwadtechniken, die drei Verfahrensschritte erfordern, kamen der Bio-Chipper (BioG GmbH, Österreich) und der Merge Maxx 900 (2014) bzw. 902 (2015 und 2016) (Kuhn S.A., Frankreich) zum Einsatz. Der BioChipper ist ein modifizierter Mulcher, der mit einer zusätzlichen Schwadfunktion ausgestattet ist. Mithilfe der rotierenden Schlegelwelle werden je nach eingestellter Arbeitstiefe zusätzliche Anteile der Maisstoppeln über dem Boden abgeschlagen, zudem wird das Erntegut zerkleinert und durch den Sog der Schlegelwelle aufgenommen. Mittels Querförderbänder wird das Substrat anschließend seitlich im Schwad abgelegt. Die Arbeitsbreite betrug 6 m, so dass bei zweimaliger Fahrt das Stroh von 12 m auf einen Doppelschwad abgelegt wurde (Abb. 3).





Abb. 3: Schwadmulcher BioChipper mit Querförderbändern

Beim Merge Maxx 900/902 wird das Körnermaisstroh ohne weitere Zerkleinerung über bis zu drei Pick-ups aufgenommen und mithilfe von Leitzinken auf ein Förderband befördert. Die Position der Schwadablage ist beim Merge Maxx 900/902 variabel, wobei aufgrund der Arbeitsbreite von 9,1 m für den Versuch eine mittige Ablage gewählt wurde, um vergleichbare Schwadbreiten für die nachfolgende Bergung mit dem Ladewagen oder Feldhäcksler zu erzielen (Abb. 4).



Abb. 4: Bandschwader MergeMaxx 902 mit hochgeklapptem Mittelteil zur mittigen Schwadablage

Die Bergung des geschwadeten Körnermaisstrohs erfolgte jeweils mit einem Feldhäcksler (Claas Jaguar 960, 3 m Pick-up-Breite) und einem Kurzschnittladewagen (Krone ZX 400 GL, 2,1 m Pick-up-Breite bzw. Claas Cargos 8400, 2,0 m Pick-up-Breite), um die Ernteverfahren im Hinblick auf Ernteleistung und -qualität beurteilen zu können.

### **4.3 Variation der Erntebedingungen**

Weil Körnermaisstroh unter Praxisbedingungen nach dem Körnerdrusch oftmals für längere Zeit (teilweise mehrere Tage) breit verstreut auf dem Feld liegen bleibt, bevor es geschwadet und geborgen wird, wurde im Versuchsjahr 2014 als zusätzlicher Faktor der Einfluss einer längeren Feldliegezeit im Vergleich zu einer kurzen Feldliegezeit untersucht. Für die kurze Feldliegezeit erfolgte eine unmittelbare Ernte des Körnermaisstrohs innerhalb von 15 – 30 h nach dem Maisdrusch, während bei der langen Feldliegezeit zwischen dem Körnerdrusch und dem Einsatz der Schwadtechniken zwei Tage und weitere eineinhalb bis zwei Tage bis zur tatsächlichen Bergung mit Feldhäcksler bzw. Kurzschnittladewagen lagen (Abb. 5). Da beim Mais Star\* Collect die Arbeitsschritte Dreschen und Schwaden zeitgleich erfolgen, ist zu berücksichtigen, dass sich die längere Feldliegezeit nicht auf die Schwadleistung, sondern lediglich auf die Bergungsleistung bei der Aufnahme mit Feldhäcksler bzw. Ladewagen auswirkte.

Als Maissorte wurde über alle drei Jahre die mittelfrühe Sorte LG 32.58 (S 250/K 250) angebaut und im Versuchsjahr 2015 auf der Hälfte der Parzellen (anstelle der längeren Feldliegezeit) zusätzlich die mittelfrühe Sorte SY Talisman (S 220/K 230) mit geringerer Reifezahl und die mittelspäte Sorte KWS 9361 (S 290/K 280), mit dem Ziel eine Variationsbreite an unterschiedlichen Strohfeuchten und Strohmengen zu erreichen.

Der Erntetermin für die Strohbergung war im Wesentlichen vom optimalen Erntezeitpunkt des Korns bestimmt, wobei eine maximale Kornfeuchte von 35 % angestrebt wurde. In den ersten beiden Versuchsjahren waren nahezu niederschlagsfreie Erntebedingungen gegeben. Im dritten Versuchsjahr konnte das Schwaden mit den Schwadtechniken BioChipper und Merge Maxx 902 ebenfalls niederschlagsfrei erfolgen, am 18.10.2016 fielen dann jedoch vor und während der Bergung mit dem selbstfahrenden Feldhäcksler und dem Kurzschnittladewagen ca. 16,8 mm Niederschlag. Davon war auch der Einsatz des Mais Star\* Collect betroffen, der erst am 18.10.2016 eingesetzt werden konnte.

	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5
	27.10.	28.10.	29.10.	30.10.	31.10.
2014	Dreschen lange Feldliegezeit (Sorte LG 32.58)		Dreschen kurze Feldliegezeit (Sorte LG 32.58)	Schwaden aller Parzellen Bergen kurze Feldliegezeit (Häcksler/Lade- wagen)	Bergen lange Feldliegezeit (Häcksler/Lade- wagen)
	28.09.	29.09.	30.09.	01.10.	02.10.
2015		Dreschen Sorte 2 + 3	Dreschen Sorte LG 32.58 (kurze Feldliegezeit)	Schwaden aller Parzellen Bergen Sorte LG 32.58 (Häcksler/Lade- wagen)	Bergen Sorte 2 + 3 (Ladewagen)
			17.10.	18.10.	
2016			Dreschen Sorte LG 32.58 (kurze Feldliegezeit)	Schwaden aller Parzellen Bergen Sorte LG 32.58 (Häcksler/Lade- wagen)	

Abb. 5: Schematischer Überblick zur Versuchsdurchführung bei der Ernte

#### 4.4 Untersuchte Ertrags- und Qualitätsparameter

Zielgröße der Untersuchungen waren die Stroherträge, der TS-Gehalt und die Rohaschegehalte bei den verschiedenen Ernteverfahren. Dazu wurden - ausgehend von der Strohmenge nach dem Maisdrusch - die Stroherträge und Ernteverluste nach dem Schwaden und Bergen in Abhängigkeit der Erntetechnik ermittelt. Für die Bestimmung des theoretischen Körnermaisstrohpotenzials wurden vor dem Dreschen aus jeder Wiederholung des Versuches je 20 Pflanzen von Hand geerntet (Schnitthöhe direkt über der Bodenoberfläche) und manuell in Körner und Restpflanze (= Körnermaisstroh) getrennt. Anschließend wurden für beide Fraktionen die Massenanteile und TS-Gehalte ermittelt. Damit konnten die Parameter Kornertrag und theoretisches Körnermaisstrohpotenzial weitestgehend verlustfrei bestimmt werden. Um die Ernteverluste entlang der gesamten Verfahrenskette beurteilen zu können, wurde nach dem Einsatz der Schwadtechniken in einem ersten Schritt der auf Schwad gelegte Strohertrag der drei Schwadtechniken quantifiziert. Dafür wurde aus jeder Parzelle das Stroh von einer Teilfläche des Schwades (Schwadbreite x 1 m) von Hand aufgesammelt. Unter Berücksichtigung der TS-Gehalte wurde die geschwadete Strohmenge berechnet. Anschließend wurde aus jeder Großparzelle das geschwadete Stroh einer Teilfläche von 0,036 ha mit dem Feldhäcksler bzw. dem Kurzschnittladewagen geborgen. Die abgefahrenen Stroherträge der Parzellen wurden gewogen. Für die Ermittlung der Strohfeuchte sowie für die Bestimmung des Rohaschegehalts wurde pro Variante eine repräsentative Mischprobe entnommen.

Alle Faktoren wurden mit einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse unter Berücksichtigung der Spaltanlage geprüft. Für den Vergleich der Faktorstufen wurde als multipler Mittelwertvergleich der Student-Newman-Keuls-Test (SNK) auf einem Signifikanzniveau von 95 % durchgeführt. Die Daten wurden mit dem Statistikprogramm SAS 9.3 (SAS Institute Inc., USA) analysiert.

## 5 Ergebnisse

Die verlustfreien TM-Kornerträge betragen im Mittel der drei Jahre 121 dt TM/ha, wobei das Jahr 2016 im Vergleich zu den ersten beiden Jahren einen signifikanten Mehrertrag aufwies (Abb. 6). Die tatsächlich erreichte Bestandsdichte unterschritt nur im Jahr 2014 mit durchschnittlich 8,2 Pflanzen/m<sup>2</sup> das gesetzte Ziel von 9 Pflanzen/m<sup>2</sup> und unterschied sich damit signifikant von den anderen beiden Versuchsjahren mit 9,1 bzw. 9,4 Pflanzen/m<sup>2</sup> in den Jahren 2015 bzw. 2016. Das Körnermaisstrohpotential lag im Mittel der Jahre bei 107 dt TM/ha, mit signifikanten Unterschieden zwischen allen Jahren. Als Korn : Körnermaisstroh Verhältnis ergab sich somit für die verwendete Sorte LG 32.58 das Verhältnis 1 : 0,88. Vom Körnermaisstrohpotential konnten 57 % auf Schwad gelegt werden und nur knapp die Hälfte tatsächlich abgefahren werden. Die auf Schwad gelegte Körnermaisstrohmenge und die abgefahrte Körnermaisstrohmenge unterschieden sich im Mittel über alle drei Techniken nur im Jahr 2016 signifikant von den anderen beiden Jahren. Zwischen den drei Techniken gab es über alle drei Jahre betrachtet keine signifikanten Unterschiede bei der auf Schwad gelegten Menge an Körnermaisstroh. Beim abgefahrenen Körnermaisstroh gab es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den erprobten Bergungstechniken bzw. bei der Wechselwirkung Schwadtechnik mal Bergungstechnik.

Die TS-Gehalte der Maispflanzen kurz vor der Ernte lagen im Bereich von 32 bis 37 %. Je nach den Witterungsbedingungen während der Ernte trocknete das Körnermaisstroh stark nach, wodurch die TS-Gehalte im abgefahrenen Körnermaisstroh mit im Mittel 27 bis 59 % stark variierten. Der leichte Regen im Jahr 2016 führte zu sehr niedrigen TS-Gehalten, wohingegen starker Wind und lange Sonneneinstrahlung mit Tageshöchstwerten über 20 °C im Jahr 2015 zu den sehr hohen TS-Gehalten führten. Von Seiten der Schwadtechnik gab es bezüglich der TS-Gehalte signifikante Unterschiede zwischen dem Schwadmulcher und dem Maispflückvorsatz mit Schwadfunktion, wobei letzterer signifikant niedrigere TS-Gehalte erreichte. Der Bandschwader unterschied sich bei diesem Merkmal nicht signifikant von den beiden anderen Schwadtechniken. Beim TS-Gehalt wurde auch ein signifikanter Unterschied zwischen den Bergetechniken ermittelt. So wies das mit dem Feldhäcksler geborgene Körnermaisstroh über alle Jahre und Technikvarianten einen signifikant niedrigeren TS-Gehalt auf als das mit dem Kurzschnittdewagen geborgene Körnermaisstroh. Der Rohaschegehalt lag bei allen Varianten im Mittel bei 7,6 % der TM und wies signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsjahren, nicht jedoch zwischen den Schwad- und Bergungstechniken auf. Insgesamt ist somit der Erdanhang am Körnermaisstroh unter den Bedingungen des Großparzellenversuchs sehr niedrig, wenn man bedenkt, dass allein ca. 4,3 % als natürlicher Rohaschegehalt der Maispflanze vorliegen.

Die nur einjährig im Versuchsjahr 2014 untersuchten Auswirkungen der Feldliegezeit auf den abgefahrenen Strohertrag ergab eine Abnahme des Strohertrags beim Schwadmulcher und dem Maispflückvorsatz mit Schwadvorrichtung, wohingegen der Bandschwader bei längerer Feldliegezeit mehr Körnermaisstroh ernten konnte. Über alle Techniken konnte mit 43,9 dt TM/ha signifikant weniger Körnermaisstroh bei der längeren Feldliegezeit geerntet werden als bei der kurzen Feldliegezeit (47,4 dt TM/ha).

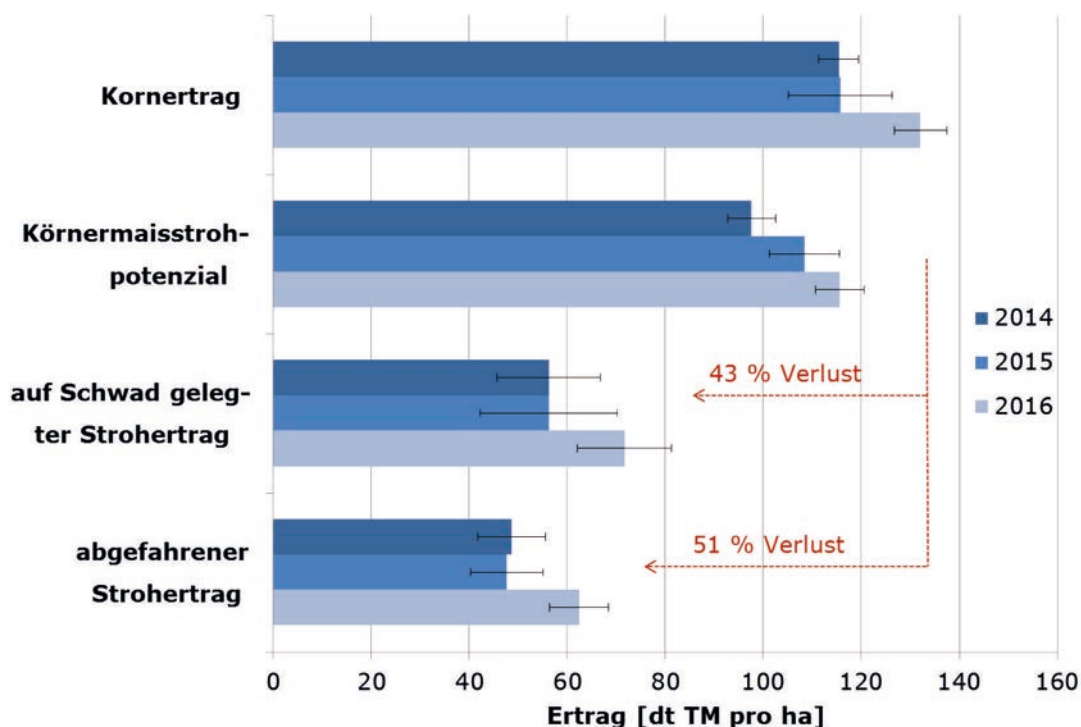


Abb. 6: Kornertrag, Körnermaisstrohpotenzial und Körnermaisstrohertrag in den einzelnen Jahren

Die ebenfalls nur einjährig im Versuchsjahr 2015 untersuchten Auswirkungen unterschiedlicher Strohverhältnisse zeigten, dass der Schwadmulcher mit trockenerem Material tendenziell mehr Körnermaisstroh auf Schwad legen kann als die anderen beiden Techniken. Bei feuchterem Körnermaisstroh mit höherem Ertrag erreichte der Maispflückvorsatz mit Schwadvorrichtung tendenziell bessere Ergebnisse bei der auf Schwad gelegten Körnermaisstrohmengemenge im Vergleich zum Schwadmulcher und Bandschwader.

Im Versuchsjahr 2016 wurde neben den bereits beschriebenen Erntetechniken auch das Verfahren mit Direktschneidwerk erprobt. Im Vergleich zu den anderen drei Erntetechniken konnte mit dem hohen Drusch und folgendem Direktschneidwerk als Vorsatz vor dem Feldhäcksler nur ein im Vergleich zu den anderen drei Erntetechniken signifikant geringerer Strohertrag in Höhe von 42 dt TM/ha abgefahren werden. Eine Ursache für den niedrigen realisierten Strohertrag war der Umstand, dass mit einem 8-reihigen Maispflücker am Mährescher geerntet wurde und alleine durch die Überfahrt mit dem Mährescher und der normalen Bereifung zwei Reihen überfahren wurden und somit nicht mehr vom Direktschneidwerk erfasst werden konnten.

Die Siliereignung des geernteten Körnermaisstrohs wurde bisher nur in Laborsilos getestet, konnte jedoch als gut bis sehr gut eingestuft werden. Die Methanausbeute, die mittels Batch-Untersuchungen nach VDI 6430 (2006) im ILT-Labor ermittelt wurde, lag zwischen 300 und 350 l CH<sub>4</sub>/(kg\*oTM) und somit mit 82 bis 96 % im Vergleich zu Silomais auf einem sehr hohen Niveau. Unter Berücksichtigung des abgefahrenen Strohertrags ergeben sich somit rund 1.500 m<sup>3</sup> Methanertrag pro ha, wodurch mit 1 ha Körnermaisstroh rund 0,20 bis 0,25 ha Silomais ersetzt werden können.

## 6 Diskussion

Mit Korn-TM-Erträgen über 115 dt TM/ha wurde in allen Versuchsjahren ein hohes Ertragsniveau erreicht. Das theoretische Körnermaisstrohpotenzial war in allen Jahren niedriger als der Kornertrag und ließ im Gegensatz zu den Kornerträgen einen deutlichen Jahreseffekt erkennen. Hier zeigte sich, dass die Restpflanzenbiomasse stark von den Wachstumsbedingungen geprägt ist und vielfältigen Einflussfaktoren, wie z. B. dem Erntezeitpunkt oder auch dem Ertragsniveau unterliegt. Eine Abschätzung des vorhandenen Strohpotenzials über ein Korn : Körnermaisstroh-Verhältnis von 1 : 1, wie es oftmals vereinfacht angenommen wird, ermöglicht deshalb nur einen groben Anhaltspunkt für die nach dem Körnerdrusch vorhandene Körnermaisstrohmenge.

Bei abgefahrenen Stroherträgen von durchschnittlich 53 dt TM/ha (Sorte LG 32.58, Ernte nach kurzer Feldliegezeit) über alle Versuchsjahre waren die Ernteverluste in etwa genauso groß wie die abgefahrenen Stroherträge. Der Anteil an Ernterückständen setzt sich dabei aus den zurückgebliebenen stehenden Stoppeln, der von der Schwadtechnik nicht erfassten Strohmenge auf dem Boden und weiteren Verlusten bei der Bergung des geschwadeten Strohs mittels Pick-up zusammen. Die weitaus größten Verluste entfallen auf technische Restriktionen beim Prozessschritt Schwaden. Die abgefahrenen Stroherträge in den vorliegenden Untersuchungen lagen etwas unterhalb der von SHINNERS ET AL. (2007) erfassten Erträge in Höhe von 54 dt TM/ha und unterschritten in einzelnen Jahren deutlich die bei GOLUB ET AL. (2012) berechneten Erträge in Höhe von 62 bis 71 dt TM/ha. Entgegen dem Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen konnten die Autoren SHINNERS ET AL. (2012) mit dem zweistufigen Verfahren höhere Erträge als mit den mehrstufigen Verfahren erzielen.

Für eine umfassende Analyse verschiedener Ernteverfahren spielen neben den realisierten Stroherträgen auch verschiedene Qualitätsparameter eine wichtige Rolle. Im Hinblick auf eine ausreichende Verdichtbarkeit im Silo und einen guten Siliererfolg sind hohe TS- und Rohasche-Gehalte zu vermeiden. Beides kann mit der getesteten Erntetechnik erreicht werden. Bei den erzielten TS-Gehalten war der ausschlaggebende Faktor die Witterung nach dem Körnerdrusch. Mit einem durchschnittlichen Rohaschegehalt von 7,6 % ist die Verschmutzung beispielsweise geringer als bei der Ernte von Grasanwelkgut vom Grünland als Biogassubstrat (vgl. THURNER ET AL., 2015) und kann somit als unproblematisch eingestuft werden. Selbst bei Erntebedingungen mit geringen Niederschlägen konnten zufriedenstellende Rohaschegehalte erzielt werden. Die ermittelten Rohaschegehalte lagen in dem von SHINNERS ET AL. (2012) erhobenen Bereich von 5,8 bis 9,8 % der TM. Anders als von VADAS und DIGMAN (2013) und SHINNERS ET AL. (2012) beschrieben, konnte in den vorliegenden Untersuchungen kein Zusammenhang zwischen der Verschmutzung und der Anzahl an Verfahrensschritten bestätigt werden.

## 7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Durch die Nutzung des Koppelprodukts Körnermaisstroh als Substrat für Biogasanlagen kann die Flächenkonkurrenz entschärft und ein Teil der Silomaisfläche ersetzt und somit mit anderen Marktfrüchten bestellt werden. Wenn das Körnermaisstroh als Koppelprodukt kostenfrei zur Verfügung steht, also die Produktionskosten für z. B. Saat, Pflanzenschutz usw. der Körnermaisproduktion angerechnet werden, stellt es auch ein wirtschaftlich interessantes Substrat für Biogasanlagen dar (STROBL, 2016). Bisher konnten Fragen zur Er-

tragsphysiologie (FLESCHHUT, in press; OLAWOYIN, 2017), zur Humusbilanz (FLESCHHUT, 2013), zur Erntetechnik (FLESCHHUT, in press; FLESCHHUT ET AL., 2016) und zum Methanertragspotential mittels Batch-Untersuchungen (DANDIKAS ET AL., in press) geklärt werden. Die Bereiche Silierung, insbesondere Fragen zur Verdichtbarkeit, den Silierverlusten insgesamt oder im Speziellen zum notwendigen Vorschub bei der Entnahme zur Verhinderung von Nacherwärmung, als auch die kontinuierliche Vergärung in der Biogasanlage konnten jedoch noch nicht bearbeitet werden. Weiterhin fehlen Daten zur Arbeitswirtschaft und zu weiteren jüngst angewandten Ernteverfahren (vgl. Kapitel 2), um eine genaue ökonomische Betrachtung bezüglich der Ernteverfahren durchzuführen.

Diese Fragestellungen werden im bereits angelaufenen Folgeprojekt bis Ende 2020 bearbeitet. Dabei werden im Rahmen des Projekts Silierversuche im Fahrsilo durchgeführt, wobei die Silierverluste über die All-in und All-out Methode sowie ein begleitendes Silo-Controlling erhoben werden. Weiterhin werden verschiedene Silierparameter, die Lagerungsdichte im Silostock und das Nacherwärmungsverhalten bei verschiedenen Vorschubgeschwindigkeiten während der Entnahme untersucht. Ergänzt werden die Silierversuche mit systematischen Laborsiloversuchen, u. a. auch zur Fragestellung möglicher bzw. geeigneter Kosilierpartner oder einem ggf. notwendigen u. U. sinnvollen oder angezeigten Siliermitteleinsatzes. In Durchflussfermenterversuchen sollen die Ergebnisse der Batchversuche verifiziert werden. Zusätzlich wird in den Durchflussfermenterversuchen eine Analyse der langfristigen Prozessstabilität mit unterschiedlichen Körnermaisstrohannteilen erfolgen. Dabei werden prozesstypische nasschemisch/physikalische Parameter bei der anaeroben Vergärung erfasst sowie eine molekularbiologische Prozessdiagnose auf DNA- und mRNA-Ebene durchgeführt. Ergänzt werden die Untersuchungen durch ein Praxisscreening mit Silo-Controlling an Praxissilos sowie Ertragserfassungen und Erhebung arbeitswirtschaftlicher Kennzahlen auf Praxisbetrieben mittels Arbeitszeittagebüchern und Umfragen. Begleitend erfolgt eine Dokumentation von Praxisanlagen mit Körnermaisstroheinsatz. Weiterhin werden Inokulationsversuche von unterschiedlich getrocknetem Körnermaisstroh mit anaeroben Pilzen durchgeführt sowie die Siliereignung der anaeroben Pilze getestet. Diese zuletzt genannten Untersuchungen sollen den Aufschluss des Körnermaisstrohs verbessern und somit zu einer schnelleren Gasbildung im Biogasprozess beitragen.

## 8 Danksagung

Die Autoren danken dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Förderung der Forschungsvorhaben N/14/07 sowie KS/17/04.

## 9 Literaturverzeichnis

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (2015): Bodennutzung der landwirtschaftlichen Betriebe in Bayern 2015 – Stichprobenerhebung. Online verfügbar unter: <https://www.statistik.bayern.de/veroeffentlichungen/epaper.php?pid=42657&t=1&XTCsid=67a0fb387cb244a3d5b29c4d47ecb078> (10.10.2017)

BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2015): Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe - Nutzen und Bedeutung der Bioenergie. Stand 22.10.2015. Online verfügbar unter: [https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/Bioenergie/\\_texte/Bioenergie.html](https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/Bioenergie/_texte/Bioenergie.html) (10.10.2017)

BONINI, C., D'AURIA, M., DI MAGGIO, P. AND R. FERRI (2008): Characterization and degradation of lignin from steam explosion of pine and corn stalk of lignin: The role of superoxide ion and ozone. *Industrial Crops and Products* 27 (2), pp. 182 – 188

DANDIKAS, V., HEUWINKEL, H., LICHTI, F., ECKL, T., DREWES, J. E. AND K. KOCH (in press): Correlation between hydrolysis rate constant and chemical composition of energy crops. In: *Renewable Energy*

ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ (2014): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017) vom 21.Juli 2014. Online verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/eeg\\_2014/EEG\\_2017.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/EEG_2017.pdf) (10.10.2017)

FACHVERBAND BIOGAS E.V. (2017): Biogas Segment Statistics 2015/2016. Online verfügbar unter: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/de\\_branchenzahlen](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/de_branchenzahlen) (10.10.2017)

FLESCHHUT, M. (2013): Bewertung von Möglichkeiten und Restriktionen der Verwertung von Körnermaisstroh in Biogasanlagen auf der Basis einer Literaturanalyse. Unveröffentlichte Masterarbeit am Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München, 90 Seiten

FLESCHHUT, M. (in press): Feldexperimentelle Analysen pflanzenbaulicher und technologischer Potenziale von Körnermaisstroh für die Biogasproduktion. Dissertation am Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München

FLESCHHUT, M.; HÜLSBERGEN, K.-J.; THURNER, S. UND J. EDER (2016): Analyse verschiedener Ernteverfahren zur Maisstrohbergung. In: *Landtechnik* 71 (6), 2016, Seiten 252 - 270

GLASSNER, D., HETTENHAUS, J. AND T. SCHECHINGER (1998): Corn stover potential: a scenario that can recast the corn sweetener industry. In: Janick, J. (Hrsg.): *Perspectives on new crops and new uses. Proceedings of the Fourth National Symposium: New Crops and New Uses, Biodiversity and Agricultural Sustainability*. ASHS Press, Arizona

GOLUB, M., BOJIC, S., DJATKOV, D., MICKOVIC, G. AND M. MARTINOV (2012): Corn Stover Harvesting for Renewable Energy and Residual Soil Effects. In: *Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America* 43 (4), pp. 72 - 79

GOLUB, M., MARTINOV, M., BOJIC, S., VISKOVIC, M., DJATKOV, D., DRAGUTINOVIC, G. AND J. DALLEMAND (2016): Investigation on Possibilities for Sustainable Provision of Corn Stover as an Energy Source: Case Study for Vojvodina. In: *Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America* 47 (4), pp. 7 - 15

IOANNIDOU, O., ZABANIOTOU, A., ANTONAKOU, E., PAPAZISI, K., LAPPAS, A. AND C. ATHANASSIOU (2009): Investigating the potential for energy, fuel, materials and chemicals production from corn residues (cobs and stalks) by non-catalytic and catalytic pyrolysis in two reactor configurations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (4), pp. 750 - 762

LIZOTTE, P. AND P. SAVOIE (2011): Spring Harvest of Corn Stover. *Applied Engineering in Agriculture* 27 (5), pp. 697 - 703

M&R / MASCHINEN- UND FAHRZEUGHANDEL GMBH (2017): Strohmax 5000. Online verfügbar unter: <http://strohmax.de/> (11.10.2017)



MENARDO, S. AND P. BALSARI (2012): An Analysis of the Energy Potential of Anaerobic Digestion of Agricultural By-Products and Organic Waste. *BioEnergy Research* 5 (3), pp. 759 - 767

OLAWOYIN, O. O., (2017): Yield Physiology and Composition of Corn Stover. Unpublished Master Thesis, Chair of Organic Agriculture and Agronomy, Center of Life and Food Sciences Weihenstephan, Technische Universität München, 55 pages

SHEEHAN, J.; ADEN, A.; PAUSTIAN, K.; KILIAN, K.; BRENNER, J.; WALSH, M. AND R. NELSON (2003): Energy and Environmental Aspects of Using Corn Stover for Fuel Ethanol. *Journal of Industrial Ecology* 7 (3-4), pp. 117 - 146

SHINNERS, K., BENNETT, R. AND D. HOFFMAN (2012): Single- and two-pass corn grain and stover harvesting. *Transactions of the ASABE* 55 (2), pp. 341 - 350

SHINNERS, K., BINVERSIE, B., MUCK, R. AND P. WEIMER (2007): Comparison of wet and dry corn stover harvest and storage. *Biomass and Bioenergy* 31 (4), pp. 211 - 221

SHINNERS, K., BOETTCHER, G., HOFFMAN, D., MUNK, J., MUCK, R. AND P. WEIMER (2009): Single-Pass Harvest of Corn Grain and Stover: Performance of Three Harvester Configurations. *Transactions of the ASABE* 52 (1), pp. 51 - 60

SHINNERS, K., WEPNER, A., MUCK, R. AND P. WEIMER (2011): Aerobic and Anaerobic Storage of Single-pass, Chopped Corn Stover. In: *BioEnergy Research* 4 (1), pp. 61 - 75

STROBL, M. (2012): Biogas in Bayern – Zahlen zum 31.12.2011. Online verfügbar unter: [http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iba/dateien/bbd\\_2011\\_detailauswertung.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iba/dateien/bbd_2011_detailauswertung.pdf) (10.10.2017)

STROBL, M. (2016): Verwertung von Körnermaisstroh-Silage in Biogasanlagen – Eine erste ökonomische Einschätzung. In: *Körnermaisstroh als Biogassubstrat*. LfL-Information. Hrsg. Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Grub, 20. Oktober 2016. Seiten 44 - 51

THURNER, S.; SCHEIBER, P.; HEIZINGER, V. UND D. HOFFMANN (2015): Grasanwelkguternete: Ladewagen oder Häckselkette - Ein Vergleich. In: *Forum Pflanzenbau live, Agritechnica 2015*. Online verfügbar unter: [https://www.agritechnica.com/fileadmin/downloads/2015/Programm/Forum\\_1/F1-13-11-1300\\_Thurner.pdf](https://www.agritechnica.com/fileadmin/downloads/2015/Programm/Forum_1/F1-13-11-1300_Thurner.pdf). (11.10.2017)

VADAS, P. AND M. DIGMAN (2013): Production costs of potential corn stover harvest and storage systems. *Biomass and Bioenergy* 54, pp. 133 - 139

ZHU, Y. AND Y. LEE (2011): Bioconversion of Corn Stover into Value-Added Chemicals. Dilute Sulfuric Acid Pretreatment, Xylo-Oligosaccharides Production and Lactic Acid Fermentation. LAP Lambert Academic Publishing



---

# Auswirkungen der neuen Düngeverordnung auf die Düngestrategie

Dr. Matthias Wendland

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau,  
Bodenkultur und Ressourcenschutz, Lange Point 12, 85354 Freising

## Zusammenfassung

Die strengen Regelungen der neuen Düngeverordnung werden zu einer Verbesserung der Gewässerqualität führen, bedeuten jedoch für den Landwirt viele Änderungen bei der bisherigen Düngepraxis, insbesondere mit organischen Düngern. Um die Vorgaben einhalten zu können, muss insbesondere die Ausnutzung des Stickstoffs in organischen Düngern gesteigert werden. Dazu gehören folgende Maßnahmen:

- Optimierung aller Wachstumsbedingungen
- Alle anderen Nährstoffe müssen ausreichend zur Verfügung stehen (Grunddüngung, Schwefel)
- Bodenzustand (Kalkung etc.) muss optimal sein
- Möglichst Ausbringung im Frühjahr mit hohen Ausnutzungsgraden
- Ausreichend Lagerraum
- Bodennahe Ausbringtechnik verwenden (Schleppschuh, Schlitzen)
- Zeitpunkt (Witterung) beachten
- Pflanzenbaulich sinnvolle Mengen ausbringen

## Einleitung

Die neue Düngeverordnung ist seit 02. Juni 2017 in Kraft. Sie setzt die Nitratrichtlinie der EU um und unterstützt durch einige Regelungen auch die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und der NEC-Richtlinie. Die neuen Regelungen erfordern eine Anpassung der Düngestrategien, insbesondere in tierhaltenden Betrieben und beim Einsatz organischer Dünger.

## Regelungen der Düngeverordnung

### Düngeplanung

Vor der Düngung von Ackerland und Grünland muss der Stickstoff- und Phosphatbedarf des Pflanzenbestands, der auf der Fläche steht/stehen wird, ermittelt werden. Die Düngebedarfsermittlung für Acker und Grünland muss jeweils schriftlich nach einem vorgegebenen Schema erfolgen. Ausgangspunkt für die Berechnung sind Stickstoffbedarfswerte

für die jeweiligen Kulturen, die insbesondere bei Getreide niedriger liegen, als die bisherigen Empfehlungen in Bayern. Der berechnete Stickstoffbedarf stellt eine schlagspezifische Obergrenze dar, die nicht überschritten werden darf.

Organische Dünger müssen bei der Düngeplanung mit einem festgeschriebenen Ausnutzungsgrad angerechnet werden (Tab 1). Die in der Tabelle angegebenen Werte sind Mindestwerte, weisen Untersuchungsergebnisse einen höheren Ammoniumanteil nach, muss mit diesem gerechnet werden (Biogasgärreste). Für die Praxis bedeuten diese Werte, dass alle Möglichkeiten der Effizienzsteigerung bei der Anwendung organischer Dünger ausgenutzt werden müssen, insbesondere Ausbringzeitpunkte und Ausbringtechnik.

Bei Phosphat erfolgt die Düngebedarfsermittlung grundsätzlich nach den Vorgaben des „Gelben Heftes“. Bei Böden mit einem Phosphatgehalt von über 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> je 100 g Boden (CAL-Methode) darf maximal die Abfuhr durch das Erntegut gedüngt werden. Eine Düngeplanung über die Fruchtfolge (maximal 3 Jahre) ist möglich. Unabhängig von der Düngebedarfsermittlung muss die Höhe der Düngung so geplant werden, dass die Vorgaben der Nährstoffbilanz eingehalten werden können. Für Phosphat darf der Überschuss bei der Bilanzierung unabhängig von der Bodenversorgung ab 2018 nur noch 10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und Jahr betragen. Hier gilt es den Mineraldüngereinsatz, insbesondere die Unterfußdüngung bei Mais, zu überdenken.

Tab. 1: Mindestwirksamkeit des Stickstoffes aus organischen Düngern bei der Düngeplanung

Düngemittel	Mindestwirksamkeit im Jahr der Aufbringung in % des Gesamtstickstoffgehaltes
Rindergülle	50
Schweinegülle	60
Rinder-, Schaf- und Ziegenfestmist	25
Schweinefestmist	30
Hühnertrockenkot	60
Geflügel- und Kaninchenfestmist	30
Pferdefestmist	25
Rinderjauche	90
Schweinejauche	90
Klärschlamm flüssig (< 15 % TM)	30
Klärschlamm fest (> 15 % TM)	25
Champignonkompost	10
Grünschnittkompost	3
Sonstige Komposte	5
Biogasanlagengärrückstand flüssig	50
Biogasanlagengärrückstand fest	30

## Obergrenzen für Stickstoff

Mit organischen und organisch mineralischen Düngemitteln dürfen maximal 170 kg Stickstoff je ha und Jahr im Durchschnitt der landwirtschaftlich genutzten Fläche eines Betriebes ausgebracht werden. Diese Begrenzung, die sich bis jetzt nur auf den Stickstoff aus tierischen Wirtschaftsdüngern bezog, schließt jetzt auch den Stickstoff aus pflanzlichen Anteilen, z.B. Nachwachsenden Rohstoffen in Biogasgärresten mit ein. Um die Grenzen einhalten zu können, müssen intensive tierhaltende Betriebe oder Biogasanlagen mit Zukauf von Gärsubstrat verstärkt Wirtschaftsdünger an Marktfruchtbetriebe abgeben.

## Sperrfristen

Die Sperrfristen für Düngemittel mit wesentlichem Stickstoffgehalt werden gegenüber der alten Düngeverordnung ausgedehnt. Die Sperrfristen auf dem Ackerland beginnen mit der Ernte der letzten Hauptfrucht und dauern bis zum 31. Januar, auf Grünland und Ackerland mit mehrjährigem Feldfutteranbau dauern sie vom 1. November bis 31. Januar. Festmist von Huf- und Klautentieren und Komposte dürfen in der Zeit vom 15. Dezember bis zum 15. Januar nicht aufgebracht werden (Abb. 1). Werden Zwischenfrüchte, Winterraps, Feldfutter (Saat bis zum 15. September) oder Wintergerste (Saat bis zum 01. Oktober) nach Getreide angebaut, dürfen diese Kulturen bis zum 01. Oktober bis zur Höhe des Bedarfs, maximal aber mit 60 kg Gesamtstickstoff/ha oder 30 kg/ha Ammoniumstickstoff gedüngt werden. Die starke Einschränkung der Herbstausbringung zwingt vor allem tierhaltende Betriebe und Biogasanlagenbetreiber zu weitreichenden Konsequenzen:

- Es wird mehr Lagerraum benötigt
- Der Zwischenfruchtanbau muss ausgedehnt werden, um im Herbst noch Wirtschaftsdünger ausbringen zu können
- Eventuell muss die Fruchtfolge umgestellt werden
- Im Frühjahr werden mehr Gaben ausgebracht, es sollten zwei Gaben zu Getreide oder Mais eingeplant werden

## Nährstoffvergleich

Der Nährstoffvergleich erfolgt vorerst weiterhin auf Feld-Stall-Basis. Das Ergebnis des Nährstoffvergleiches muss einen bestimmten Kontrollwert einhalten. Für Stickstoff darf der Kontrollwert ab 2018 50 kg/ha und Jahr nicht überschreiten. Wird bei Kontrollen festgestellt, dass die Kontrollwerte nicht eingehalten werden, muss sich der Betreib durch ein Beratungsunternehmen beraten lassen und wird in den Folgejahren verschärft kontrolliert. Die Einhaltung des Kontrollwertes ist für Marktfruchtbaubetriebe mit guter fachlicher Praxis kein Problem, stellt jedoch tierhaltende Betriebe insbesondere mit hoher Intensität vor sehr große Anforderungen. Zu optimieren ist sowohl die Düngepraxis als auch die Fütterung.

Dünger	Nutzung	Nach Ernte der letzten Hauptfrucht	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.
Alle Düngemittel außer Festmist und Komposte	Acker Ausnahmen Acker	Grundsätzlich					
		Zwischenfrucht*	max. 30/60				
		W-Raps	max. 30/60				
		W-Gerste**	max. 30/60				
		mehrfähriger Feldfutterbau					
	Grünland (ohne Verschiebung)						
	Gemüse						
Festmist*** und Komposte	Alle Flächen						

\* unter der Voraussetzung, dass der Samenanteil (Körner/m<sup>2</sup>) der Leguminosen max. 50 % beträgt. Zwischenfrüchte mit einem Leguminosenanteil > 50 % haben keinen Düngebedarf.

\*\* nach Getreidevorfrucht

\*\*\* Festmist von Huf- und Klautieren (Rind, Schwein, Pferd, Schaf, ...)

Abb. 1: Sperrfristen für die Ausbringung von Düngemitteln

---

# Entwicklungen in der Gülleausbringtechnik

Dr. Fabian Lichti

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

## Zusammenfassung

Die geänderten rechtlichen Rahmenbedingungen bei der Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger sowie der fortschreitende Strukturwandel in der Landwirtschaft haben und werden auch weiterhin insbesondere bei der Gülleausbringung enorme Veränderungen mit sich bringen. Dabei gilt es sowohl den Aspekten des Gewässerschutzes (WASSERRAHMEN-RICHTLINIE, 2000) als auch den Anforderungen und Verpflichtungen zur Luftreinhaltung (NERC-RICHTLINIE, 2016), beispielsweise über die Einhaltung von Minderungszielen nationaler Regelungen wie der TA Luft oder der Anwendung neuer BVT-Schlussfolgerungen, gerecht zu werden. Neben der Konformität mit rechtlichen Rahmenbedingungen muss die Applikationstechnik eine Vielzahl weiterer Anforderungen erfüllen. Dazu zählen bspw. Anforderungen an die Verteilgenauigkeit und Bodendruck als auch elektronische Lösungen zur besseren Handhabbarkeit der immer komplexer werdenden landtechnischen Lösungen oder auch gesellschaftliche Ansprüche an eine geruchsneutrale Ausbringung. Inwiefern die folglich ansteigenden Kosten bei der Applikation flüssiger Wirtschaftsdünger dann noch durch geringere Nährstoffverluste bzw. Einsparungen mineralischer Dünger ausgeglichen werden können, muss im betrieblichen Einzelfall geprüft werden.

## 1 Einleitung

Im Rahmen der letzten Agrarstrukturerhebung zu Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft in landwirtschaftlichen Betrieben konnte festgestellt werden, dass in Deutschland 2015 ca. 208 Millionen m<sup>3</sup> flüssige Wirtschaftsdünger angefallen sind, davon in Bayern ca. 54 Millionen m<sup>3</sup> (DESTATIS, 2016). In Bezug auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Bayern entspricht dies einer mittleren Aufbringung von immerhin 17 m<sup>3</sup>/ha. Davon wurden in Bayern in 2010 noch ca. 87 % mit Breitverteilern ausgebracht, lediglich 9 % mit Schleppschlauch oder Schleppschuh und nur 4 % mittels Injektionsverfahren (DESTATIS, 2010). Die jüngsten Erhebungen zeigen jedoch einen deutlichen Trend hin zur bodennahen Ablage flüssiger Wirtschaftsdünger. Inzwischen ist dies auch Bestandteil im landwirtschaftlichen Fachrecht. So dürfen laut aktueller Düngeverordnung (DÜV, 2017) flüssige Wirtschaftsdünger mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff oder Ammoniumstickstoff ab 2020 auf Ackerland bzw. 2025 auf Grünland nur noch streifenförmig auf den Boden aufgebracht oder direkt in den Boden eingebracht werden. Diesen Anforderungen folgt die Landwirtschaft bereits seit mehreren Jahren. So haben sich die gegenüber 2010 in Deutschland mit Schleppschuhen ausgebrachten Mengen an flüssigen Wirtschaftsdüngern mehr als vervierfacht. In Bayern ist die bodennahe Ablage um 89 % gestiegen. Die bodennahe Ablage bzw. Injektion umfasste 2016 fast 45 % der insgesamt applizierten Menge in Deutschland. Dennoch zeigt dies die enormen Herausforderungen bei der Umsetzung

der DüV, infolgedessen bis 2020 ca. 29 Mio. m<sup>3</sup> und 2025 zusätzliche 53 Mio. m<sup>3</sup> nicht mehr ausgebracht können wie bisher (Basisjahr 2015).

In Bayern werden die emissionsarmen Verfahren der Wirtschaftsdüngerausbringung im Rahmen des Bayrischen Kulturlandschaftsprogramms (KULAP) bereits seit Jahren gefördert. Dadurch wird den Landwirten eine finanzielle Unterstützung zur Erleichterung des Einstiegs in bodennahe Applikationstechniken ermöglicht. Die Förderbedingungen sind dann erfüllt, wenn der Wirtschaftsdünger in aktiv geöffneten Boden bzw. unter einen Pflanzenbestand eingebracht wird. Der sog. Schleppschuh gilt dabei folglich als Mindestanforderung zur Reduktion von Ammoniakverlusten während und nach der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern.

## **2 Kalkulatorischer Wert flüssiger Wirtschaftsdünger**

Der mineraldüngeräquivalente Wert ist ein maßgeblicher Parameter für die monetäre Bewertung und Beurteilung der Transportwürdigkeit eines organischen Düngemittels. Allerdings hängt dieser nicht nur von den wertgebenden Inhaltsstoffen, sondern auch von den verwendeten Applikationstechniken und weiteren emissionsbeeinflussenden Kriterien ab. Unter Heranziehung der in Abhängigkeit verschiedener Applikationstechniken veränderlichen Größe des Mineraldüngeräquivalents für NH<sub>4</sub>-N (MDÄ), können somit als Zielgröße die maximalen Mehrkosten für eine bodennahe Applikation bzw. Injektion gegenüber einer weniger emissionsarmen Technik unter rein ökonomischen Gesichtspunkten festgelegt werden. Tabelle 1 zeigt Berechnungen zum MDÄ Wert von flüssigen Wirtschaftsdüngern. Dieser Wert kann in Abhängigkeit des MDÄ und der Wirtschaftsdüngerart zwischen 3,70 € und 8,28 € liegen. Aus Tabelle 1 wird auch ersichtlich, dass in Abhängigkeit der durch emissionsarme Applikationstechnik beeinflussbaren Größe des MDÄ (Spannweite von maximal 100 % bis minimal 10 % MDÄ im Anwendungsjahr) der kalkulatorische Wert um 1,29 – 2,16 €/m<sup>3</sup> sinken kann. Innerhalb dieser Spannweiten müssen Verfahrenskosten emissionsarmer Applikationstechniken liegen, um weiterhin rentabel zu sein. In diesem Falle darf nicht unerwähnt bleiben, dass es sich hierbei um eine rein ökonomische Betrachtung der N-Verfügbarkeit im Anwendungsjahr handelt und negative Umweltfolgeeffekte einer verlustreichen Applikationstechnik hierbei nicht Rechnung getragen werden bzw. diese dabei nicht internalisiert werden. Dies zeigt allerdings auch auf, dass zwar ein erhebliches theoretisches Einsparpotential bei der Anwendung emissionsarmer Wirtschaftsdüngerverfahren besteht, in Hinsicht auf die erheblichen Investitionskosten emissionsarmer Wirtschaftsdüngertechniken jedoch einzelbetrieblich sehr genau kalkuliert werden muss (MCGECHAN ET AL., 1998).



Tab. 1: Kalkulatorischer Wert verschiedener flüssiger organischer Wirtschaftsdünger unter Berücksichtigung des MDÄ für  $\text{NH}_4\text{-N}$ ; Reinnährstoffpreise: 0,75 €/kg N, 1,00 €/kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 0,65 €/kg  $\text{K}_2\text{O}$ ;

	N	$\text{NH}_4\text{-N}$	MDÄ ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	Wert
Rindergülle	3,8	1,9	100%	1,5	5,8	6,70
Schweinegülle	3,2	2,3	100%	2,1	2,2	5,26
Biogasgärrest	5,1	3,2	100%	2,3	5,5	8,28
	N	$\text{NH}_4\text{-N}$	MDÄ ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	Wert
Rindergülle	3,8	1,9	50%	1,5	5,8	5,98
Schweinegülle	3,2	2,3	50%	2,1	2,2	4,39
Biogasgärrest	5,1	3,2	50%	2,3	5,5	7,08
	N	$\text{NH}_4\text{-N}$	MDÄ ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	Wert
Rindergülle	3,8	1,9	10%	1,5	5,8	5,41
Schweinegülle	3,2	2,3	10%	2,1	2,2	3,70
Biogasgärrest	5,1	3,2	10%	2,3	5,5	6,12

### 3 Neue Entwicklungen in der Gülletechnik

Moderne Gülletechnik hat eine Vielzahl von Anforderungen zu bedienen. Zur Reduktion von Emissionen sollten die Nährstoffe bodennah, am besten in den Boden appliziert werden. Diese Techniken versprechen i. d. R. auch höhere Verteilgenauigkeiten deutlich unter 10 % mittlerer Abweichung. Gleichzeitig muss aber aufgrund der zunehmenden Verschiebung von Gülleapplikationen auf das Frühjahr durch fachrechtliche Regelungen, die Schlagkraft der Applikationsverfahren aufgrund der im Frühjahr weniger zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage für die termingerechte Gülleausbringung überproportional steigen. Landtechnische (und pflanzenbauliche) Lösungen zur Minimierung von Bodenschadverdichtungen im Frühjahr, insbesondere auf wachsenden Beständen, sollten daher ausgeschöpft werden. Dazu zählen bspw. neue Reifentechnologien für die Landwirtschaft (VF-Reifen) oder Reifendruckregalanlagen als auch alternative Applikationsverfahren wie die Gülleverschlauchung.

### 4 Technikrends bei der emissionsarmen Gülleausbringung

Abbildung 1 zeigt die Verteilung von Arbeitsbreiten der für die emissionsarme Flüssigmistausbringung nach KULAP zugelassenen Firmengeräte. Gegenüber der letzten Auswertung von 2015 ist ein deutlicher Trend hin zu größeren Arbeitsbreiten, insbesondere bei der zahlenmäßig am stärksten vertretenen Gruppe der Schleppschuhe zu verzeichnen. Während Schleppschuhtechnik inzwischen bis zu Arbeitsbreiten von 30 m verfügbar ist, können mit Schleppschlauchgestängen bereits Arbeitsbreiten bis zu 36 m abgedeckt werden.

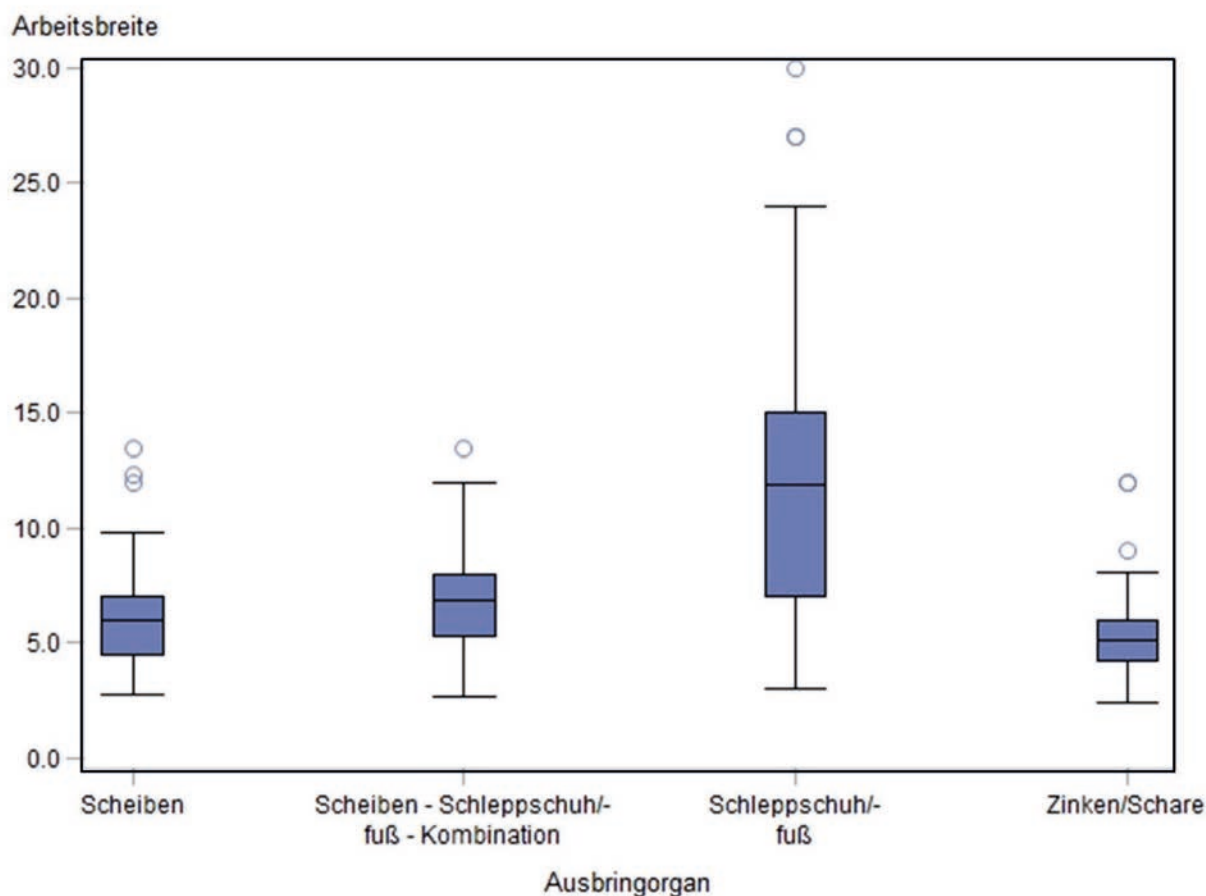


Abb. 1: Verteilung der Arbeitsbreiten der für die emissionsarme Flüssigmistausbringung nach KULAP zugelassenen Firmengeräte

Hauptziel ist hierbei, allen voran bei der Applikation in wachsende Bestände, die Überfahrten zu minimieren und bestenfalls das vorhandene Fahrgassensystem nicht verlassen zu müssen. Ein Wehrmutstropfen bleibt jedoch, dass mit zunehmender Arbeitsbreite bei gleichbleibendem Fassvolumen die maximale Wegstrecke deutlich abnimmt. So können bei einer Applikationsmenge von  $30 \text{ m}^3/\text{ha}$  mit  $25 \text{ m}$  Arbeitsbreite und einem nutzbarem Fassvolumen von  $18 \text{ m}^3$  eine Wegstrecke von  $400 \text{ m}$  zurückgelegt werden. Eine Reduzierung des nutzbaren Fassvolumens auf  $9 \text{ m}^3$  verringert die Wegstrecke auf nur noch  $200 \text{ m}$ . Insbesondere Feldlänge, Feldbreite sowie Hangneigung und Hof-Feld-Entfernung beeinflussen das Fassvolumen, wobei gerade bei letzterem die Trennung von Straßentransport und Feldarbeit zunehmend an Bedeutung gewinnt. Da die Transportkosten maßgeblich vom Fassvolumen abhängen, kann durch die Verwendung großvolumiger Transporteinheiten und die Trennung von Feldarbeit und Straßenfahrt das Fassvolumen am Feld reduziert werden. Die nachfolgend beispielhafte Darstellung zeigt, dass sofern die Reduzierung des Fassvolumens nicht zu häufigerem Umfüllen und folglich zusätzlichen Wartezeiten der Zubringer führt, die Kosten für den Gülletransport frei Feldrand bei  $10 \text{ km}$  Hof-Feld-Entfernung kaum ansteigen (Abb. 2).

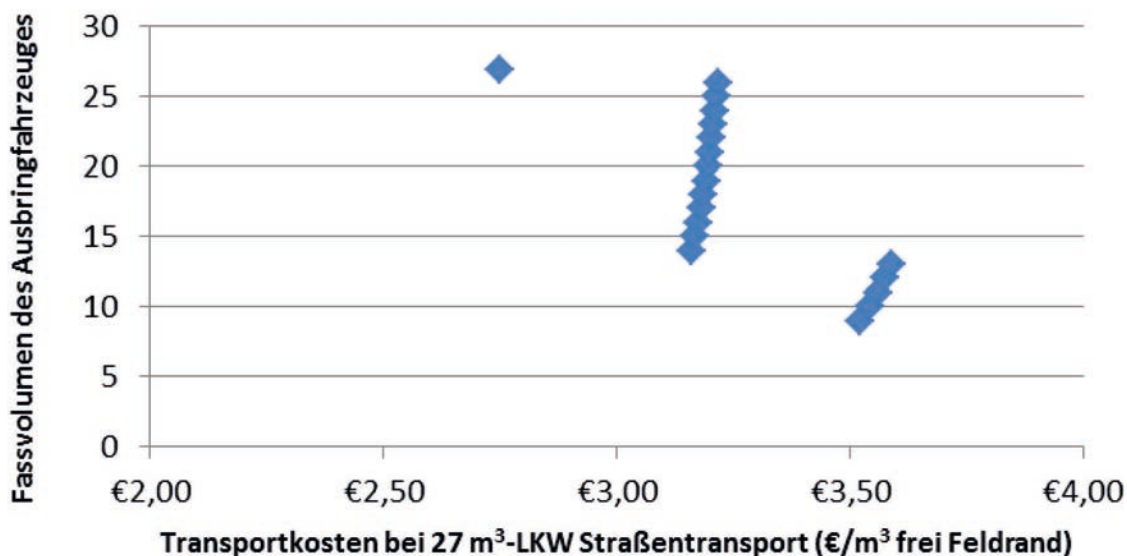


Abb. 2: Abhängigkeit der Kosten des Gülletransports mit einem 27 m<sup>3</sup> LKW (Kosten in €/m<sup>3</sup> frei Feld)

In diese Kostenbetrachtung müssen dann noch die sich verändernden Kosten für die Ausbringung auf dem Feld mit einbezogen werden.

## 5 Nahinfrarotspektroskopie(NIRS)-Technologie

Auch wenn diese Technologie bereits seit über 10 Jahren am Markt verfügbar ist, scheint das Interesse von Landwirten an der berührungslosen, nicht-destruktiven Ermittlung von Inhaltsstoffen in der Gülle im Online-Verfahren mittels Nah-Infrarot-Spektroskopie derzeit besonders hoch. Die Vorteile dieser Technologie sind enorm. Während bis dato oftmals auf eine normative Datengrundlage zurückgegriffen oder aus mehreren Tausend Kubikmeter fassenden Lagerbehältern eine repräsentative Probenahme durchgeführt werden musste, bietet diese Technologie theoretisch das Potential, den gesamten Anfall an flüssigem Wirtschaftsdünger im Online-Verfahren auf dessen Inhaltsstoffe zu erfassen und während der Ausbringung die Ausbringmenge in Abhängigkeit des Nährstoffgehalts zu regeln (ZIMMERMANN ET AL., 2008). Grundlegende Voraussetzung für eine ausreichende Genauigkeit des NIR-Systems ist jedoch eine ausreichende Zahl an repräsentativen Proben mit homogener Verteilung, welche die Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe möglichst gleichmäßig abdecken (STOCKL ET AL., 2017). Die prinzipielle Eignung dieses Systems konnte bereits in einer Vielzahl von Studien bestätigt werden (ZIMMERMANN ET AL., 2008; WENZL ET AL., 2012; ÜBERBACHER ET AL., 2011).

Aus dem landwirtschaftlichen Untersuchungswesen ist die NIR-Spektroskopie nicht mehr wegzudenken. Da sich die NIRS-Methode aufgrund deren Kalibrierfunktion immer auf eine entsprechende Referenzanalytik bezieht, muss aber generell von einer höheren Messgenauigkeit als beim nasschemischen Referenzverfahren ausgegangen werden. Außerdem handelt es sich bei Gülle um eine äußerst heterogene Matrix mit hohen Wasseranteilen, so dass geringfügige Änderungen das Messergebnis deutlich beeinflussen können. Dies sowie die zunehmende Verfügbarkeit bzw. Anwendung der NIR-Technologie bei der Applikation flüssiger Wirtschaftsdünger wurden zum Anlass genommen, eigene Untersuchungen in der Praxis vorzunehmen.

Die Praxisuntersuchungen wurden während der Ausbringung in enger Abstimmung mit Landwirten und Lohnunternehmen durchgeführt. Untersucht wurden 4x Rindergülle, 1x Schweinegülle, 2x Mischgülle und 2x Biogasgärrest. Bei jeder Beprobung wurden jeweils 3 Proben je Fass in Abhängigkeit des Füllstands (voll, halbvoll, leer) durchgeführt. Die jeweils mittlere Probe wurde an drei bis sieben Labore zur Überprüfung der Laborabweichung gesandt. Die NIRS-Ausgabewerte wurden zum Zeitpunkt der Probenahme notiert. Da die 3 Probenahmen je Fassfüllung nur sehr geringen Schwankungen unterliegen, wurden diese Werte gemittelt. Abbildung 3 verdeutlicht, dass zwar der Median der relativen mittleren Abweichung für Gesamtstickstoff mit 11 % bzw. für Ammoniumstickstoff mit 13 % zum Labormittelwert durchaus zufriedenstellend ist, dennoch gewisse Ausreißer zu verzeichnen waren. Dies lässt den Schluss zu, dass zusätzliche Kalibrationserweiterungen nötig sind, um zu einer robusteren Schätzung zu kommen. Bei zunehmender Verbreitung dieser Technologie und gleichzeitiger Erweiterung der Kalibrationen auf eine größere Datengrundlage kann die Schätzgenauigkeit verbessert werden.

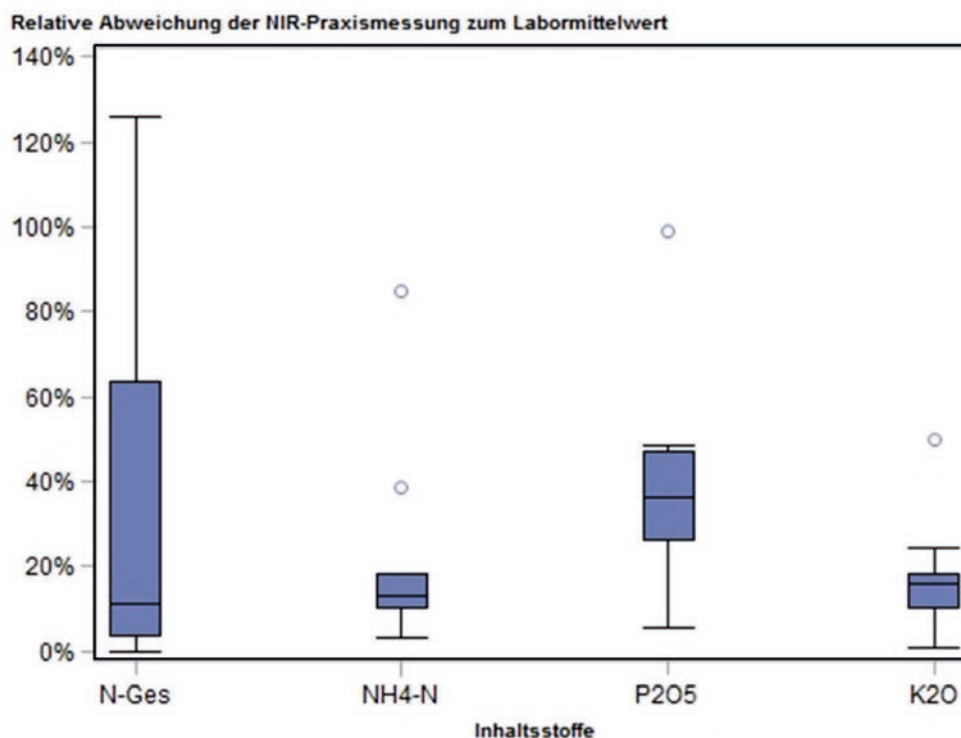
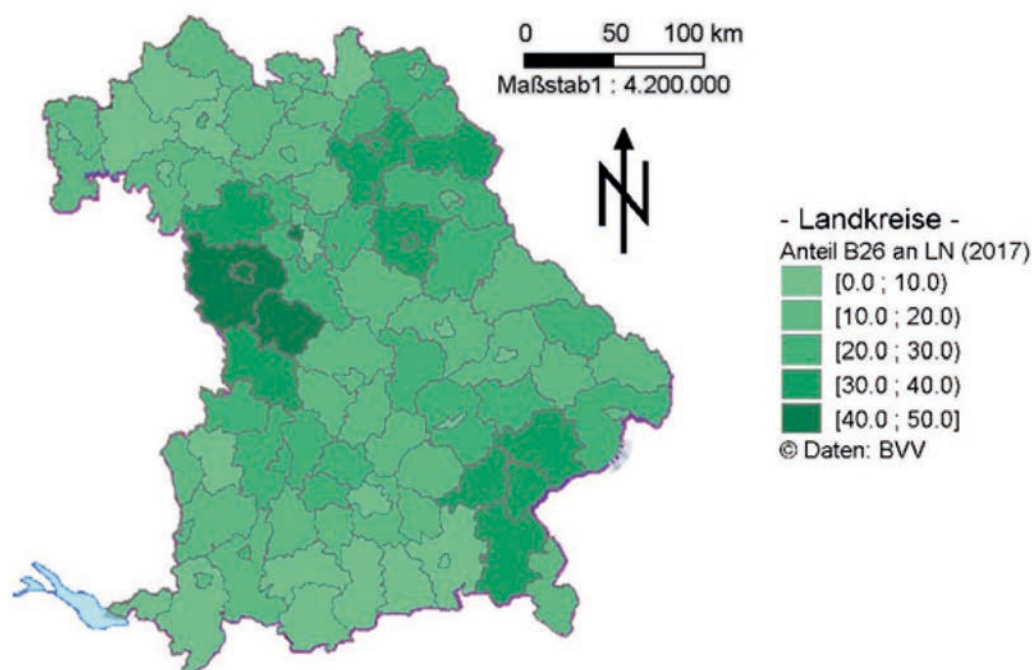


Abb. 3: Relative mittlere Abweichung der nasschemischen Analytik von während der Applikation beprobten flüssigen Wirtschaftsdüngern zum NIR-Schätzwert

Darüber hinaus konnte bei dem Vergleich der sieben Referenzlabore festgestellt werden, dass selbst bei der nasschemischen Referenzanalytik eine maximale Abweichung vom Mittelwert in Höhe von 14 % bei  $\text{NH}_4\text{-N}$  auftreten können ( $\text{P}_2\text{O}_5$ : max. 30 %;  $\text{K}_2\text{O}$ : max. 20 %; N-Ges: 4 %). Insgesamt birgt die Anwendung von NIR-Spektralsensoren bei der Applikation flüssiger Wirtschaftsdünger dennoch ein enormes Potential zur Steigerung des Nährstoffwerts von Gülle. Nicht zuletzt dadurch, dass die objektive Darstellung der Inhaltsstoffe während der Applikation das Bewusstsein für den mineralnährstoffäquivalenten Wert von Gülle bei der Anwendung steigert.

## 6 Einsatz emissionsarmer Wirtschaftsdünger- ausbringungstechnik in Bayern

Bereits seit mehreren Jahren wird in Bayern der Einsatz einer emissionsarmen Wirtschaftsdüngerausbringung über das KULAP gefördert. Mit Hilfe von Auswertungen der InVeKos Daten zur KULAP-Fördermaßnahme „Emissionsarme Wirtschaftsdüngerausbringung“ B25/B26 kann die Akzeptanz und Umsetzung dieser Fördermaßnahme überprüft werden. Abbildung 4 zeigt Maßnahme KULAP B26 mit überbetrieblicher Mechanisierung jeweils bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche eines Landkreises zur Ausbringung mit emissionsarmer Wirtschaftsdüngertechnik in 2017. Gegenüber 2015 hat bei dieser Maßnahme eine deutliche Zunahme in Höhe von fast 80 % stattgefunden, so dass der Trend zu überbetrieblichen Mechanisierung weiterhin anhält. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die Maßnahmen A62/A63 (Ausbringung von flüssigem Wirtschaftsdünger durch Injektionsverfahren, KULAP bis 2014) in die Auswertung nicht eingeschlossen sind, aufgrund der sehr maßnahmenspezifischen Fördermodalitäten gewisse statistische Verzerrungen nicht ausgeschlossen werden können und aufgrund der betrieblichen Förderanträge von einer gleichmäßigen Anwendung emissionsarmer Applikationstechniken auf die betriebliche Fläche (mit Ausnahme gesperrter Flächen) ausgegangen wird. Vor allem im Südosten von Bayern und in Mittelfranken wird die überbetriebliche Ausbringung stark genutzt. Der Anteil an Eigenmechanisierung mit emissionsarmer Gülletechnik liegt mit ca. 11 % der LN dabei deutlich hinter der überbetrieblichen Wirtschaftsdüngerausbringung mit bis zu 46 % der LN.



Geofachdatendienst © Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2017

Abb. 4: Anteile an landwirtschaftlich genutzter Fläche für das KULAP-Förderprogramm B26 „Überbetriebliche Ausbringung“ je Landkreis in Bayern 2017

## 7 Fazit

Die Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger unterliegt einem enormen Wandel. Viele Betriebe werden sich in naher Zukunft Gedanken über die weitere Ausbringung der flüssigen Wirtschaftsdünger machen müssen. Bereits ab 2020 müssen gegenüber 2016 fast 30 Mio. m<sup>3</sup> mehr mit bodennaher Applikationstechnik ausgebracht werden. Dabei müssen die sich ändernden rechtlichen Rahmenbedingungen in die pflanzenbaulichen Überlegungen einbezogen werden. Schlussendlich gilt es, aus dem Gesamtpaket an landtechnischen Möglichkeiten wie bspw. Gülleverschlauchung, Reifendruckregelanlage, verschiebbare Achsen, Nährstoffsensoren, Trennung Feld-Straße, u.v.m. die für den Betrieb optimale Lösung zu finden.

## 8 Literaturverzeichnis

DESTATIS, (2010).: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei; Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in landwirtschaftlichen Betrieben - Erhebung zur Wirtschaftsdüngerausbringung Statistisches Bundesamt, 2010

Land- und Forstwirtschaft, Fischerei; Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in landwirtschaftlichen Betrieben / Agrarstrukturerhebung. Statistisches Bundesamt, 2016

DÜV, DÜNGEVERORDNUNG, (2017).: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Düngeverordnung vom 26. Mai 2017, BGBl. I S. 1305

MCGECHAN, M. B. UND WU, L., (1998).: Environmental and Economic Implications of some Slurry Management Options. Journal of Agricultural Engineering Research. Volume 71, 1998, Bd. Issue 3, November

NERC-RICHTLINIE, (2016).: Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG. Europäische Union

STOCKL, A. UND LICHTI, F. (2017).: Nah-Infrarot Spektroskopie (NIRS) als Monitoringtool für den Biogasprozess. 37. GIL-Jahrestagung 2017, S. 145 - 148

ÜBERBACHER, B. ET AL. (2011).: Ringversuch zur Gülleanalyse nach der nasschemischen Methode und dem NIRS NANOBAG-Verfahren. Kongressband 123, VDLUFA-Kongress 2011

WASSERRAHMENRICHTLINIE, EUROPÄISCHE (2000).: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Europäische Union

WENZL, W. ET AL. (2012).: Spektroskopische Gülleschnellanalytik: Evaluierung der verfügbaren Methoden. VDLUFA-Schriftenreihe 68, S. 806 - 812

ZIMMERMANN, A. ET AL. (2008).: Einsatz von Nahinfrarotspektroskopie für eine nährstoffgesteuerte Gülleausbringung. 28. GIL-Jahrestagung, Tagungsband, S. 169

---

# **Überregionaler Nährstoffausgleich von organischem Dünger – ein Bericht aus der Praxis**

Michael Höhensteiger

Maschinen- und Betriebshilfsring Aibling-Miesbach-München e. V., Salzhub 10,  
83737 Irschenberg

## **Zusammenfassung**

Überall dort, wo hohe Viehdichten mit einer hohen installierten Biogasleistung zusammentreffen, entstehen Nährstoffüberschüsse. Diese gilt es möglichst umweltgerecht und kostengünstig zu verwerten. Die neue Düngeverordnung führt dazu, dass die abzugebenden Nährstoffmengen erhöht werden. Aufgrund des hohen Wassergehalts ist aber die Transportwürdigkeit von Wirtschaftsdünger niedrig. Diese kann durch Gülleaufbereitungsverfahren wie Gülleseparation, Gülleindickung oder Trocknung erhöht werden.

Beim Stickstoff kann durch diese Verfahren keine nennenswerte Erhöhung des Nährstoffgehalts erreicht werden. Beim Phosphor dagegen kann durch die Separation die Konzentration in der festen Phase um 200 – 500 % gesteigert werden. Für Milchviehbetriebe mit Nährstoffüberschuss bietet sich insbesondere die Separation an, da neben dem Feststoff eine gut verwertbare flüssige Phase entsteht.

Für die Logistik und den Transport des Wirtschaftsdüngers von den Überschussgebieten in die Verwertungsgebiete gibt es verschiedene Varianten mit spezifischen Vor- und Nachteilen. Die Transportkosten hängen wesentlich von der Entfernung ab. Als grobe Faustzahl dafür kann ca. 1 € pro Tonne und 10 km Entfernung angesetzt werden.

Ob ein Nährstoffexport oder Alternativen zum Nährstoffexport umgesetzt werden, kann nur einzelbetrieblich betrachtet werden. Der Maschinenring Aibling-Miesbach-München beschäftigt sich seit dem Frühjahr 2017 intensiv mit dem Thema Nährstoffe und bietet den Landwirten Unterstützung beim betrieblichen Nährstoffmanagement.

## **Warum überregionaler Nährstoffausgleich?**

Die Vieh- und Biogasanlagendichte in Bayern ist stark unterschiedlich ausgeprägt. Insbesondere in den Grenzlagen des Ackerbaus, den Gunststandorten für Grünland, sind besonders hohe Viehdichten anzutreffen. Dort, wo hohe Viehdichten mit hoher installierter Nennleistung (Biogas) zusammentreffen, entstehen Nährstoffüberschüsse (Abb. 1).

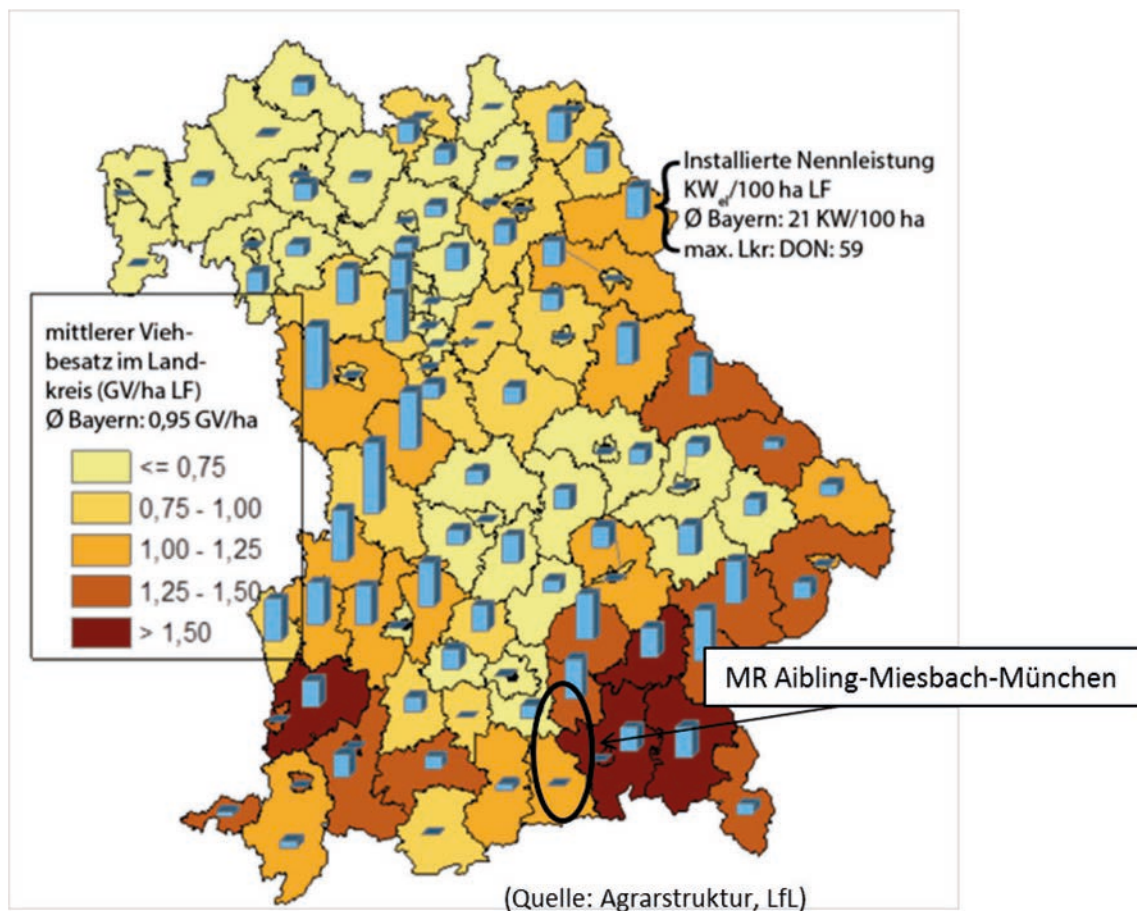


Abb. 1: Viehdichte und installierte Leistung Biogas

## Ein regionales Verteilungsproblem?

Handelt es sich nur um ein regionales Verteilungsproblem oder entstehen wirkliche Nettoüberschüsse in der Region? Im KULAP gelten 2 GV/ha (=170 kg) als Obergrenze für den ökologischen Landbau. Man könnte davon ausgehen, dass eine Region unter diesem Viehbesatz keine Nettoüberschüsse erzeugt. Jedoch gibt es ein paar Fakten, die dem entgegenstehen:

- 2 GV/ha entsprechen nicht automatisch 170 kg N/ha (sogar schon ab 1,3 GV/ha möglich je nach Betrieb)
- Extensiv-Betriebe können nicht voll angerechnet werden (1,4 und 1,7 GV/ha)
- Bio-Betriebe können keine konventionellen Dünger aufnehmen
- Biogasanlagen kommen bei der Betrachtung noch hinzu (ca. 0,74 GV/kWel.)
- Betriebe planen Puffer ein

Hinzu kommen noch die Betriebe, welche die N- und P-Bilanz überschreiten.

Genauere Zahlen, ob eine Region Nährstoffüberschüsse erzeugt, gibt es nicht.

Auch vor der neuen Düngeverordnung gab es diese Überschüsse, welche aber durch das Hinzukommen der Gärreste jetzt noch deutlich verstärkt werden. Folglich steigt die abzu-



gebende Nährstoffmenge weiter an. Als Abnehmer solcher Dünger bieten sich vorzugsweise Ackerbaugebiete mit niedrigem Vieh-/Biogasbesatz an. Ein überregionaler Lösungsweg wird somit nötig.

## Welche Güllearten bieten sich an?

Das Problem beim Transport von Wirtschaftsdünger ist die niedrige Transportwürdigkeit aufgrund des hohen Wassergehalts. Für rinderhaltende Betriebe bieten sich Rohgülle und Güllefeststoff (feste Phase aus der Separation), bei Schweinen insbesondere Dickgülle (Sinkschicht der Schweinegülle) und wiederum Güllefeststoff als Transportform an. Bei Biogasanlagen gibt es neben normalem Gärrest noch Güllefeststoff und auch konzentrierten Gärrest (durch Trocknung bis 12 % TS). Welche Gülleart sich am besten eignet, hängt von mehreren Faktoren ab:

- Transportentfernung
- Welche Nährstoffe sind im Überschuss?
- Wie hoch (%) ist der Nährstoffüberschuss?
- Nebenprodukte

In Abbildung 2 wird ersichtlich, dass durch kein Verfahren Stickstoff nennenswert angereichert werden kann. Anders sieht das beim Phosphor aus. Über Dickgülle und Separation und Trocknung lässt sich die Konzentration stark steigern, was zu weniger Transportmenge führt. Diese Aufbereitungsverfahren sind jedoch auch mehr oder weniger mit Kosten verbunden, erbringen aber ggf. auch positive Nebenleistungen (KWK Bonus, Dünggülle für Grünland).

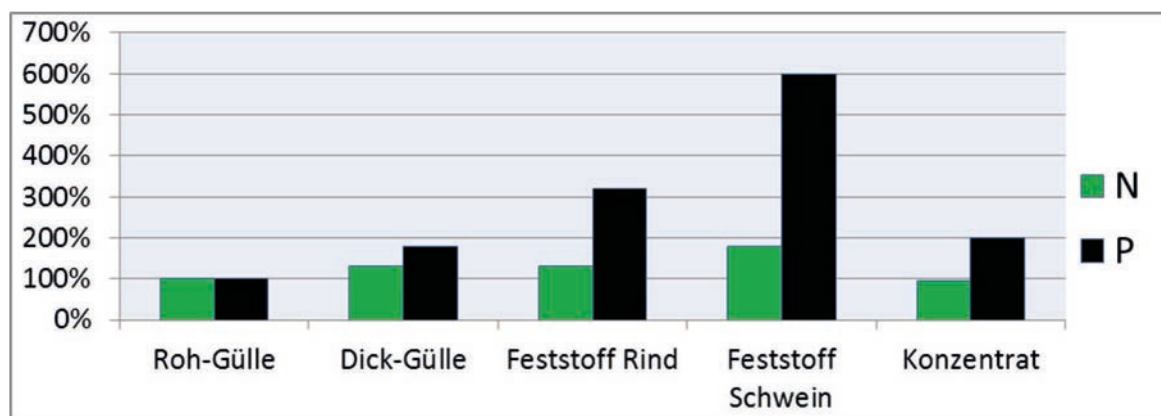


Abb. 2: Konzentration von verschiedenen Güllearten je t FM im Vergleich zur Roh-Gülle (= 100 %)

Je nachdem, welche Menge an Nährstoffen exportiert werden muss, kommen bestimmte Güllearten nur bedingt in Frage. Wenn z.B. ein N-Überschuss bei einem Milchviehbetrieb vorliegt, können maximal 25 % N über die Feststoffe abgegeben werden. Wenn mehr N den Betrieb verlassen soll, muss er zusätzlich Rohgülle abgeben (Abb. 3).

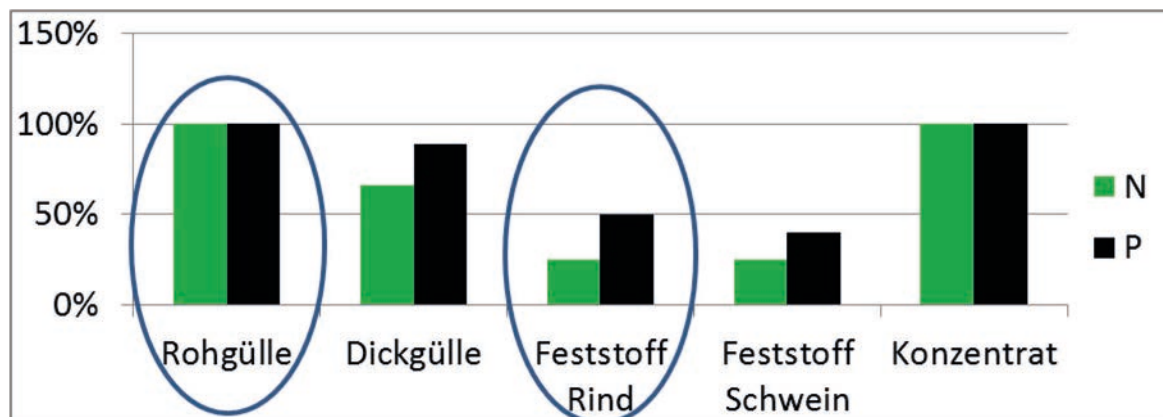


Abb. 3: Möglicher Nährstoffexport je nach Gülleart

## Logistik - Vom Veredler zum Ackerbauern

Der Weg der Gülle zum Ackerbauern kann unterschiedlich gestaltet werden. Drei Varianten sind dabei möglich. Welche Vor- und Nachteile damit verbunden sind, ist in den Tabellen 1 bis 3 zusammengestellt.

Tab. 1: Grube – Grube (in Ackerbauregion)- Feld

Vorteile +	Nachteile -
Flexible Ausbringung	Güllegrube in Ackerbauregion
Ganzjährige Anlieferung	

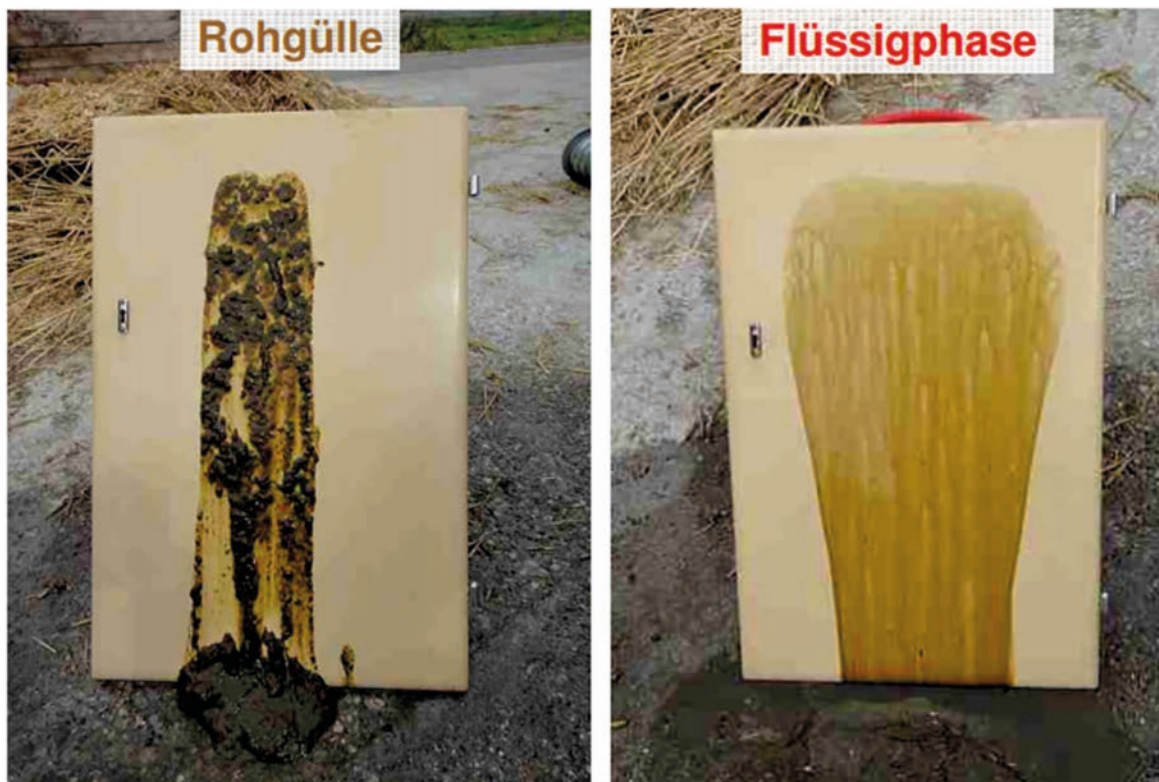
Tab. 2: Grube – Feld

Vorteile +	Nachteile -
Kein Zwischenlager	Hoher Logistischer Aufwand
	Enges Zeitfenster
	Große Schlagkraft nötig

Tab. 3: Grube – Aufbereitung - Biogas (in Ackerbauregion) - Feld

Vorteile +	Nachteile -
Höhere Wertschöpfung	Schwierige Partnersuche
Ganzjährige Anlieferung	Güllaufbereitungskosten
Flexible Ausbringung	

Für Milchviehbetriebe (mit Nährstoffüberschuss) bietet sich insbesondere die Separation an, da neben dem Feststoff eine flüssige Phase mit vielen Vorteilen entsteht. Dazu zählt, dass die 5 % TS, welche Voraussetzung für eine Derogationsregelung (250 kg N/ha anstatt 170 kg N/ha) sind, ohne Wasserverdünnung und damit zusätzlicher Ausbringungsmenge erreicht werden. Des Weiteren ist die Flüssigphase bereits gefiltert und frei von Fremdkörpern, was die Störungsfreiheit der Ausbringtechnik fördert. Die verbesserten Fließeigenschaften führen zu niedrigeren Ammoniak-Emissionen und geringerer Futtermittelverschmutzung (Abb. 4).



(Quelle: Arenenberg 2011)

Abb. 4: Vergleich von Rohgülle und der Flüssigphase aus Separation von Rohgülle

Werden die zusätzlichen Ausbringkosten (ca. 2,5 €/m<sup>3</sup>) und das zusätzliche benötigte Lagervolumen (alternativ Frischwasser) miteinberechnet, ergeben sich Kosten von mind. 2 €/m<sup>3</sup>, wodurch die Separation bereits bezahlt wäre. Hinzu kommen noch die günstigeren Transportkosten bzw. mögliche Erlöse für den Feststoff.

## Transport

Auch beim Transport ergeben sich wieder verschiedene Möglichkeiten, die von der einzelbetrieblichen Situation abhängig sind. Jede Variante hat ihre eigenen Vor- und Nachteile (Tab.4).

Tab. 4: Übersicht über verschiedene LKW Transport-Varianten

	Tank	Mulde	Kombiliner
Transportkosten o. Rückfracht	0	+	-
Möglichkeit Rückfracht	--	+	++
Verfügbarkeit der Technik	++	++	--
Aufbereitungskosten	++	--	++
Partner finden	++	0	--
Einbezug in Güllekette	++	--	++

Der Tank eignet sich am besten für kurze Transporte (direkt zum Feld). Für diese Technik gibt es keine Rückfracht, sie ist aber einfach in Gülleketten zu integrieren. Der Aufwand ist gering.

Die Kippmulde eignet sich nur für trockene Güter und bedarf somit einer vorherigen Gülleaufbereitung. Dafür ist die Technik einfach und preiswert. Nach einer Reinigung (Hygiene!) ist sogar eine Rückfracht möglich.

Der Kombiliner ist ein Spezialist für Hin- und Rückfracht, da er über getrennte Bereiche für Flüssig/Fest verfügt. Als Rückfracht kommen nur schüttfähige Güter wie Dünger/Getreide in Frage. Leider gibt es jedoch bis auf einzelne Kraftfutterhersteller in unserem Ringgebiet keinen Betrieb, der solche Getreidemengen im Kippzug verarbeiten kann.

## Kosten

Der Transport selbst kostet ca. 1 €/pro t und 10 km Entfernung (grobe Faustzahl). Dies ist jedoch abhängig von:

- Straßenverhältnisse (Ø km/h)
- Zugänglichkeit zu Betrieb
- Dienstleister

Die Kosten für den Nährstoffausgleich sind von Angebot und Nachfrage abhängig. Die wichtigsten Einflussgrößen sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tab. 5: Einflussfaktoren auf die Kosten des Nährstoffausgleichs

positiv	negativ
Düngerwert	Transportkosten
Organische Substanz (Biogas/Humus)	Ausbringkosten
KULAP	Bürokratie
Güllebonus/Trockenfermentationsbonus	Zeitpunkt

Die Aufteilung der Kosten regelt der Markt. Will man den Güllewert betrachten, kann man individuell folgende Rechnung aufstellen (Tab. 6).

Tab. 6: Beispiel Güllewert

Beispiel Güllewert (Rindergülle)	
Mineraldüngeräquivalent x Nährstoffpreise	8 €/m <sup>3</sup>
KULAP Bodennahe Ausbringung	1,5 €/m <sup>3</sup>
Organische Substanz	0 €/m <sup>3</sup>
Ausbringkosten (Gülleinjektion)	-3,5 €/m <sup>3</sup>
<b>Summe</b>	<b>6 €/m<sup>3</sup></b>

## Rechnet sich der Nährstoffexport/ die “Überschusskuh“

Ein Beispiel aus der Praxis:

Ein Milchviehbetrieb mit überwiegend Grünland und 8.500 kg abgelieferter Milch/Kuh überschreitet die 170kg N/ha-Grenze, wobei er die N- und P- Bilanzen einhält und muss somit 29 m<sup>3</sup> Gülle/Kuh abgeben (Tab. 7).

Tab. 7: Gülleexport bei „Überschusskuh“

Gülleexport bei „Überschusskuh“	
N Ausscheidung/Kuh (aus Gelbem Heft)	124 kg N
-Stall u. Lagerverluste	15 %
=Summe	105,4 kg N
: kg N/m <sup>3</sup> Gülle	3,7 kg N/m <sup>3</sup>
<b>Abzugebende Gülle/“Überschusskuh“</b>	<b>29 m<sup>3</sup></b>

Für die Gülleabgabe muss er nun den Transport bezahlen und sich die abgegebenen Nährstoffe wieder mineralisch zukaufen (gilt nur bei tatsächlichem Nährstoffbedarf!), er erspart sich dafür aber die Gülleausbringung (Tab. 8). Dies führt zu einem Gewinnverlust von 362,5 € pro “Überschusskuh“.

Tab. 8: Gewinnänderung bei Nährstoffüberschuss

Gewinnänderung bei Nährstoffüberschuss	
<b>Nährstoffverlust (8 €/m<sup>3</sup> x 29 m<sup>3</sup>)</b>	<b>-232 €</b>
<b>Transportkosten (7 €/m<sup>3</sup> x 29 m<sup>3</sup>)</b>	<b>-203 €</b>
<b>Ausbringkosten (2,5 €/m<sup>3</sup> x 29 m<sup>3</sup>)</b>	<b>+72,5 €</b>
<b>Gewinnänderung/Kuh</b>	<b>-362,5 €</b>

In der Praxis werden bei gut geführten Betrieben rund 1000 € Gewinn/Kuh (vor Arbeitsentlohnung) erwirtschaftet. Dies bedeutet einen Gewinneinbruch um 36 % für die

„Überschusskuh“ im Beispiel. Ob sich das bei allen Betrieben wirtschaftlich rechnet, ist fragwürdig.

## **Alternativen zum Nährstoffexport**

Da der Wirtschaftsdüngertransport teuer ist, sollten auch andere Möglichkeiten in Betracht gezogen werden.

Dazu zählen insbesondere:

- Abstocken (Erstkalbealter senken/Jungvieh auslagern, Überbelegung reduzieren)
- Flächen pachten, um Nährstoffe zu verwerten (je nach Pachtpreis)
- Derogation (250 kg N/ha) nutzen
- Fütterung umstellen (N und P reduziert)
- Haltungssystem ändern
- Fruchtfolge anpassen (Biogas)

Welche Variante sich für den jeweiligen Betrieb rechnet, kann nur individuell betrachtet werden.

## **Ausblick**

Die zu transportierende Menge und die Strecke für den Nährstofftransport werden mit der neuen Düngeverordnung steigen. Eine regionale Nährstoffverteilung wäre dabei am sinnvollsten, um die Umwelt und die Landwirte zu entlasten. Eine große Erleichterung wird die Derogation bringen, da damit auf Grünland 47 % mehr Nährstoffe aus organischen Düngern zulässig werden.

### **Angebot des MR**

Der Maschinenring bietet den Landwirten eine kostenlose Plattform für ihr betriebliches Nährstoffmanagement zu den Bereichen (LfL Basis):

- Düngebedarfsermittlung
- Dokumentation
- Nährstoffbilanz
- Stoffstrombilanz

Zusätzlich bietet der MR dafür auch folgende Dienstleistungen an:

- Nährstoffmanagement durch MR
- MR Beratung
- MR Jungviehaufzucht
- MR Güllebörse