BonaRes Series 2020/3 | DOI: 10.20387/BonaRes-ESZ2-NRV9

LEDERMÜLLER, S., BRUNOTTE, J., LORENZ, M., OSTERBURG, B.

Arbeitsbericht: Verbesserung des physikalischen Bodenschutzes bei der Wirtschaftsdüngerausbringung im Frühjahr – Herausforderungen und Lösungsansätze

Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie - BonaRes ist eine Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF).

www.bonares.de

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

BONARES

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Impressum

Herausgeber: BonaRes-Zentrum für Bodenforschung
c/o Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ
Department Bodensystemforschung
Theodor-Lieser-Str. 4 | 06120 Halle (Saale)
Tel: (+49) 345 558 5226 | E-Mail: info@bonares.de
www.bonares.de

Titel	Arbeitsbericht: Verbesserung des physikalischen Bodenschutzes bei der Wirtschaftsdüngerausbringung im Frühjahr - Herausforderungen und Lösungsansätze
Autoren	Ledermüller, Sandra – Thünen-Institut Stabsstellen Klima und Boden Brunotte, Joachim – Thünen-Institut für Agrartechnologie Lorenz, Marco – Thünen-Institut für Agrartechnologie Osterburg, Bernhard – Thünen-Institut Stabsstellen Klima und Boden
Kontakt	sandra.ledermueller@thuenen.de
Datum	August 2020
Kurzfassung	Durch die neue Düngeverordnung (Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 26. Mai 2017, DüV) werden die Möglichkeiten für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern im Spätsommer und Herbst stark begrenzt. Dadurch wird sich eine Verschiebung der Ausbringung relevanter Mengen in das Frühjahr vollziehen. Im Frühjahr weisen jedoch viele Böden feuchte bis sehr feuchte Bedingungen auf und sind damit sehr verdichtungsempfindlich. Insbesondere bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern kommen hohe Lasten auf das Feld und die Gefahr von Bodenverdichtungen steigt. Die vorliegende Studie befasste sich mit der speziellen Problemstellung des Bodenschutzes bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger im Frühjahr. Ziel dabei war die Bewertung von existierenden und potentiellen Maßnahmen zum Bodenschutz unter Einbeziehung von Stakeholdern. Dazu wurde ein Stakeholder-Workshop durchgeführt. Darauf aufbauend wurden existierende Handreichungen zur Bewertung des Bodenzustandes und der Befahrbarkeit bewertet und ein Verfahrensvergleich zur Ausbringung von Wirtschaftsdüngern aus ökonomischer und Bodenschutz Perspektive durchgeführt.
Stichworte	Düngeverordnung, Bodenverdichtung, Verfahrensvergleich, Kosten, Stakeholder-Workshop
Danksagung	Wir bedanken uns bei dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Finanzierung dieser Arbeit im Rahmen der Förderinitiative „Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie“ (BonaRes, Modul A, Phase 2: SOILAssist – Nachhaltige Sicherung und Verbesserung von Bodenfunktionen durch intelligente Landbewirtschaftung – ein Echtzeit-Assistenzsystem für die Praxis; Förderkennzeichen 031B0684A)
Lizenz	Diese Arbeit unterliegt den Bestimmungen der Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) -Lizenz. Um sich die Lizenzbestimmungen anzuschauen, besuchen Sie creativecommons.org.

Zusammenfassung

Durch die neue Düngeverordnung (Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 26. Mai 2017, DüV) werden die Möglichkeiten für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern im Spätsommer und Herbst stark begrenzt. Die erneute Anpassung der DüV durch Beschluss im Bundesrat Ende März 2020 schränkt die Möglichkeit zur Wirtschaftsdünger-ausbringung nach Ernte der Hauptkultur weiter ein. Dadurch wird sich eine Verschiebung der Ausbringung relevanter Mengen in das Frühjahr vollziehen. Diese Regelungen zum Gewässer- und Klimaschutz werfen ein neues Konfliktfeld in Bezug auf den Bodenschutz auf. Im Frühjahr weisen viele Böden feuchte bis sehr feuchte Bedingungen auf und sind damit sehr verdichtungsempfindlich. Insbesondere bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern kommen hohe Lasten auf das Feld und die Gefahr von Bodenverdichtungen steigt. Die vorliegende Studie befasste sich mit der speziellen Problemstellung des Bodenschutzes bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger im Frühjahr. Ziel dabei war die Bewertung von existierenden und potentiellen Maßnahmen zum Bodenschutz unter Einbeziehung von Stakeholdern. Dazu wurde ein Stakeholder-Workshop durchgeführt. Darauf aufbauend wurden existierene Handreichungen zur Bewertung des Bodenzustandes und der Befahrbarkeit bewertet und ein Verfahrensvergleich zur Ausbringung von Wirtschaftsdüngern aus ökonomischer und bodenschutz Perspektive durchgeführt. Die größten Herausforderungen sehen Akteure aus der Praxis in unsicheren Rahmenbedingungen. In den niedersächsischen Ackerbauregionen besteht gemäß Nährstoffbilanz zwar das Potenzial, aus den Veredlungsgebieten (Weser-Ems) Wirtschaftsdünger aufzunehmen, die Bereitschaft der Landwirt*innen ist allerdings gering. Dies ist zum einen auf eine große Unsicherheit (v.a. hinsichtlich Witterung, die die Planung einer bodenschonenden Befahrung erschweren und politisch-administrativer Rahmenbedingungen) unter Landwirt*innen in den aufnehmenden Regionen zurückzuführen, zum anderen auf die zusätzlichen Kosten, die bei bodenschonender Ausbringung im Frühjahr entstehen. Die wahrgenommenen Unsicherheiten resultieren gleichermaßen aus den noch unklaren Auslegungen der DüV durch die Länder und die mangelnde Erfahrung damit, wie auch aus der schlechten Vorhersagbarkeit der Witterung, die von Jahr zu Jahr verschieden ist. Diese Unsicherheiten erschweren die Planbarkeit, wirken sich investitionshemmend aus und reduzieren die Akzeptanz Wirtschaftsdünger aufzunehmen. Für die Bewertung ob und/oder unter welchen Bedingungen eine Befahrbarkeit ohne das Risiko von Bodenverdichtung gegeben ist, wird Landwirt*innen empfohlen, mit Hilfe einer visuell-haptischen Untersuchung die Befahrbarkeit des Bodens einzuschätzen. Hierfür ist Sensibilisierung und Übung notwendig, die durch Beratung und Ausbildung realisiert werden kann. Durch technische Lösungen wie beispielsweise die Gülleverschlauchung kann auch unter feuchteren Bedingungen bodenschonend gefahren werden. Dadurch kann sich das Zeitfenster für die Ausbringung vergrößern, gleichzeitig erhöht sich der Handlungsspielraum der Landwirt*innen. Diese technischen Lösungen gehen allerdings mit erhöhten Investitionskosten einher, die ab einer gewissen Flächengröße aber wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen können. Die Wirtschaftlichkeit hängt von einer Vielzahl von Betriebsparametern ab und muss im Einzelfall evaluiert werden. Der Kostenvergleich unterschiedlicher Verfahren legt nahe, dass die Gülleverschlauchung eher eine überbetriebliche Alternative bei hoher Maschinenauslastung (ca. 1333 ha/a) darstellt.

Die Ergebnisse des Verfahrensvergleichs wurden in einem weiteren Stakeholder- Workshop vorgestellt und als nicht praxisnah von den Teilnehmenden eingestuft. Als mögliche Unsachen für die Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis wurden die Datengrundlage und Berechnungsart identifiziert, die den komplexen Zusammehnhängen nicht gerecht werden. Eine weiterführende Evaluation, die einen Betrieb mit allen relevanten Komponenten beachtet ist unabdingbar. Um die Verbringung des Wirtschaftsdüngers aus den abgebenden in die aufnehmenden Regionen effizient durchzuführen, muss die Bereitschaft zur Aufnahme von Wirtschaftsdünger gestärkt werden. Hierfür wäre ein zentrales Tool wünschenswert, das die Befahrbarkeit von Böden mit unterschiedlicher Mechanisierung mit einer Vorhersage von 1-3 Tagen bewertet, auf das alle beteiligten Akteure zugreifen können und das damit die Planung erleichtert.

Keywords: Düngeverordnung, Bodenverdichtung, Verfahrensvergleich, Kosten, Stakeholder-Workshop

Inhalt

Zusammenfassung i

Abbildungsverzeichnis II

Tabellenverzeichnis III

1 Einleitung 1

1.1 Auswirkungen der novellierten Düngeverordnung 1

1.2 Physikalischer Bodenschutz 3

1.3 Novelle der Düngeverordnung und der Bodenschutz – ein neues Konfliktfeld 4

2 Sicht der Praktiker*innen 6

2.1 Herausforderungen 8

2.2 Lösungsansätze 9

3 Beratungsansätze 11

3.1 Beurteilung der aktuellen Befahrbarkeit 11

3.1.1 Beurteilung nach visuellen und haptischen Kriterien 11

3.1.2 Beurteilung mit Hilfe einer Softwarelösung 14

3.2 Beurteilung des allgemeinen Bodenzustandes 17

4 Verfahrensvergleich Ausbringetechnik 18

4.1 Befahrbarkeitstage 19

4.2 Kosten 21

5 Diskussion der Ergebnisse 24

6 Fazit und Ausblick 25

7 Literatur 28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prozentangaben: Anteil an gesamter Ausbringungsmenge von 190,7 Mio. m^3 flüssigem Wirtschaftsdünger im Jahr 2010 nach Jahreszeit und Flächenart; die roten Pfeile zeigen die erwartete Verschiebung durch die neue DüV 2

Abbildung 2: Verteilung verschiedener Bodenzustände im Winterhalbjahr (Mittelwerte 1991-2010 der Daten von 134 deutschen Agrarwetterstationen) als prozentualer Anteil des jeweiligen Halbmonats 3

Abbildung 3: Frischmasse und Stickstoffexport aus der Weser-Ems-Region in andere Regionen Niedersachsens, bzw. andere Bundesländer. 5

Abbildung 4: Anzahl an Nennungen bezüglich der Zustimmung bzw. Wahrnehmung von 19 befragten Teilnehmenden der landwirtschaftlichen Praxis zu einführenden Fragen im Rahmen des Workshops „Novelle der Düngeverordnung und der Bodenschutz – ein neues Konfliktfeld?“ 15.12.2017, Braunschweig 7

Abbildung 5: Beurteilung der Befahrbarkeit nach AGRIDEA. 12

Abbildung 6: Feuchtestufen und Konsistenzbereiche der Böden nach Ad-hoc-AG Boden (2005, S. 115) sowie Befahrbarkeit nach DIN 19731 und BMLFUW (2012, S. 42) 13

Abbildung 7: Screenshot der Terranimo® light Online-Anwendung. 14

Abbildung 8: Schadverdichtungsgefährdung (Schadverdichtungsrisiken) im Bodenprofil mit einem Mähdrescher. Eingabefelder sind grün, Resultatfelder sind orange. 16

Abbildung 9: Traktor mit Schleppschlauch und Gülleverschlauchung 18

Abbildung 10: Anzahl der Befahrbarkeitstage im Zeitraum 01.02.-15.04. je Jahr für die Gülleausbringung mit dem Tridem Pumptankwagen, Gülleselbstfahrer und der Gülleverschlauchung, mit Schwankungsbereich +/- drei Tage (Fehlerbalken) 20

Abbildung 11: Anzahl der Befahrbarkeitstage für die Gülleverschlauchung nach Jahr und Halbmonat 20

Abbildung 12: Kosten für verschiedene Verfahren zur Ausbringung und Einarbeitung von Wirtschaftsdünger (für Details s. Text) nach Schlaggröße (ha) und Feld-Hof-Entfernung (km) 21

Abbildung 13: Anteile der verschiedenen Arbeitsgänge an den Kosten für die Ausbringung mit Gülleverschlauchung nach Schlaggröße (ha) und Feld-Hof-Entfernung (km) 23

Abbildung 14: Schema zum Kommunikationstool „Befahrbarkeit“ 27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Maschinenkosten für Komponenten der Gülleverschlauchung in Abhängigkeit vom Einsatzumfang bei einer Ausbringemenge von 20 m³/ha und geplanter Nutzungsdauer des Feldrandcontainers von 15 Jahren bzw. 10 Jahre für die Gülleverschlauchung. 24

1 Einleitung

Der vorliegende Projektbericht wurde im Rahmen des vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) finanzierten BonaRes[1] Verbundprojekts „SOILAssist – Nachhaltige Sicherung und Verbesserung von Bodenfunktionen durch intelligente Landbewirtschaftung“ erstellt. Das interdisziplinäre Forschungsprojekt SOILAssist befasst sich mit dem landwirtschaftlichen Bodenschutz bei der Befahrung von Ackerflächen und verfolgt das Ziel, negative Veränderungen der Bodenstruktur und -funktionalität frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden. Durch angepasstes Management soll ein günstiger Bodenzustand erhalten und verbessert werden.

Das Arbeitspaket 5.3 beschäftigte sich mit der speziellen Problemstellung des Bodenschutzes bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger im Frühjahr. Ziel dabei war die Bewertung von existierenden und potentiellen technologischen, logistischen und Management-Optionen in einem partizipativen Prozess unter Einbeziehung von Stakeholdern (Landwirt*innen, Lohnunternehmen, Maschinenringe). Dazu wurde im ersten Schritt ein Stakeholder-Workshop in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen durchgeführt. Darauf aufbauend wurden existierende Handreichungen zur Bewertung des Bodenzustandes und der Befahrbarkeit bewertet und ein Verfahrensvergleich zur Ausbringung von Wirtschaftsdüngern aus ökonomischer und Bodenschutz-Perspektive durchgeführt. Ein weiterer Stakeholder-Workshop im Rahmen des Projekts wurde genutzt um die erzielten Ergebnisse Praktiker*innen vorzusetllen und mit ihnen zu diskutieren. Im Folgenden werden zunächst Zusammenhänge zwischen der novellierten Düngeverordnung und dem physikalischen Bodenschutz skiziert und der daraus resultierende Konflikt dargestellt.

1.1 Auswirkungen der novellierten Düngeverordnung

Die novellierte Düngeverordnung (DüV) trat am 1. Juli 2017 in Kraft. Mit der Novellierung wurden vor allem auf den Wasserschutz fokussierte, umweltpolitische Konflikte adressiert und auf die Forderungen der EU-Kommission zur Einhaltung der Nitratrichtlinie reagiert. Ziel ist unter anderem, die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern im Spätsommer und Herbst durch eine Ausbringung im Frühjahr zu ersetzen. Dies soll zu einer bedarfsgerechteren Düngung beitragen und gleichzeitig die gasförmigen Stickstoffemissionen verringern und die Stickstoffausnutzung verbessern, was wiederum zu einer Senkung der Gewässerbelastung durch Nitrat führt.

Folgende bodenschutzrelevante Aspekte werden unter anderem geregelt:

- Sperrzeiten für die Ausbringung von Düngemittel mit einem wesentlichen Gehalt an Stickstoff (N) auf Ackerflächen von der Ernte der Hauptfrucht bis 31. Januar.

[1] Förderinitiative „Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie“, gefördert duch das Bundesministerium für Bildung und Forschung

- Ausnahmen[2]: Ausbringung bis 01. Oktober zu Zwischenfrüchten, Winterraps und Ackergras (bei Aussaat bis 15. September) und Wintergerste nach einer Getreidevorfrucht (bei Aussaat bis 01. Oktober, max. 60 kg total N/ 30 kg NH_3-N/ha).
- Keine Ausbringung auf gefrorene, wassergesättigte oder schneebedeckte Flächen.
- Ausbringung auf gefrorene Flächen nur wenn der Boden im Laufe des Tages durch Auftauen aufnahmefähig wird[3], keine Gefahr für Oberflächenabfluss besteht und eine Pflanzendecke vorhanden ist, max. 60 kg N/ha.
- Verpflichtung Oberflächenabfluss und Direkteinträge in Gewässer zu vermeiden.

Rund 26 % des Aufkommens an flüssigem Wirtschaftsdünger wurde im Jahr 2010 im Zeitraum April bis September auf unbestellte Ackerflächen ausgebracht (Abbildung 1). Dabei handelt es sich zum Großteil um die Ausbringung nach der Ernte (Osterburg & Techen, 2012). Weitere 2,4 und 3,8 % wurden auf bestellte und unbestellte Ackerflächen im Zeitraum Oktober bis November ausgebracht. Die neue Regelung zu diesen Punkten (Sperrzeit nach Ernte der Hauptfrucht) lassen eine Verschiebung der Ausbringung dieser erheblichen Mengen in das Frühjahr ab 01. Februar erwarten (rote Pfeile in Abbildung 1).

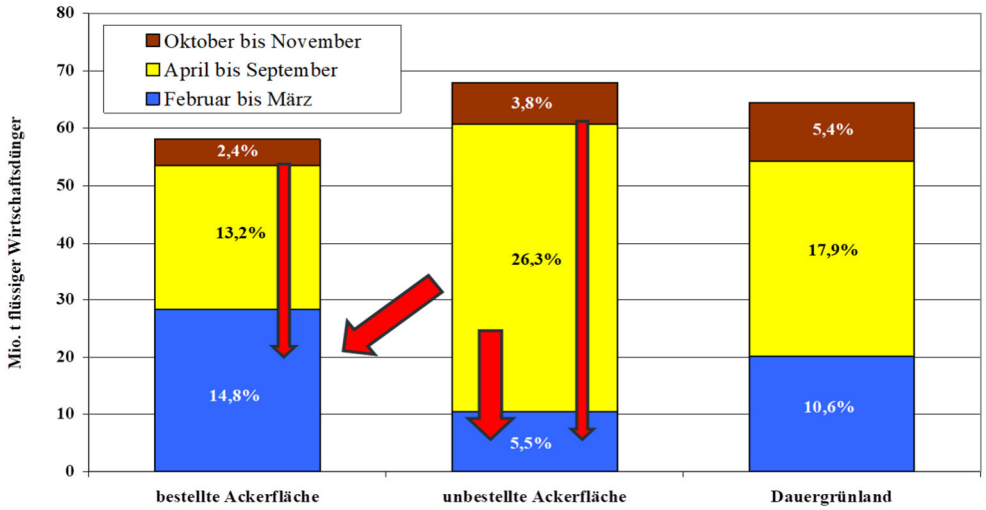

Abbildung 1: Prozentangaben: Anteil an gesamter Ausbringungsmenge von 190,7 Mio. m³ flüssigem Wirtschaftsdünger im Jahr 2010 nach Jahreszeit und Flächenart; die roten Pfeile zeigen die erwartete Verschiebung durch die neue DüV

Quelle: (Osterburg & Techen, 2012)

Die Auswertung des mittleren Bodenwassergehalts (Abbildung 2) zeigt, dass die Böden in Deutschland im 20-jährigen Mittel im Durchschnitt über alle ausgewerteten Standorte in der ersten Februarhälfte (Feb-1) an ca. 55 % der Tage wassergesättigt und an ca. 25 % der Tage schneebedeckt sind und keine Auftauschicht aufweisen.

[2] Mit der neuen Düngeverordnung 2020 gilt für besonders mit Nitrat belastete Gebiete: „Die Düngung von Winterraps und Wintergerste sowie von Zwischenfrüchten ohne Futternutzung im Herbst ist verboten. Für Winterraps sind Ausnahme unter bestimmten Voraussetzungen möglich“ (BR-Drs. 98/20)

[3] Diese Ausnahme entfällt mit der neuen Düngeverordnung 2020 (BR-Drs. 98/20)

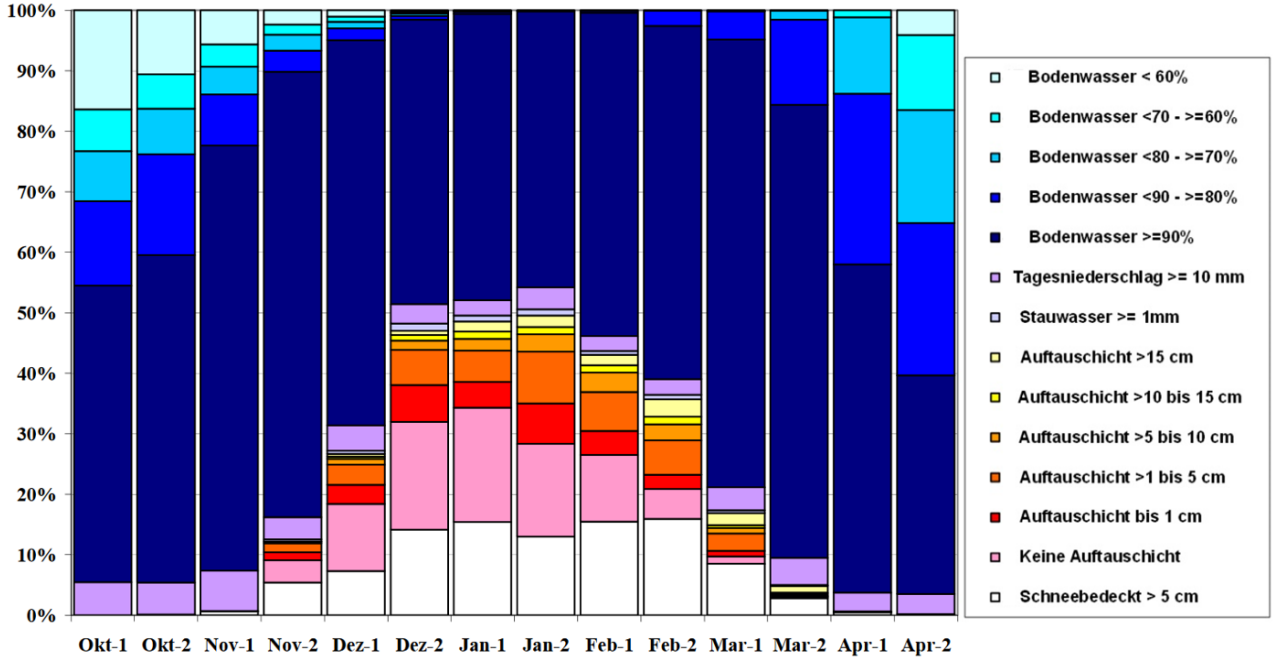

Abbildung 2: Verteilung verschiedener Bodenzustände im Winterhalbjahr (Mittelwerte 1991-2010 der Daten von 134 deutschen Agrarwetterstationen) als prozentualer Anteil des jeweiligen Halbmonats

Quelle: (Osterburg & Techen, 2012)

Folglich darf im 20-jährigen Mittel und im Durchschnitt über alle Standorte an 80 % der Tage kein Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Der Anteil geht auf ca. 60 % in der zweiten Februarhälfte (Feb-2) zurück, und sinkt weiter bis zur zweiten Aprilhälfte (Apr-2) auf ca. 35 %. An den verbleibenden Tagen bzw. Standorten (20 % in Feb-1 bis 65 % in Apr-2) treten eine Auftauschicht oder abnehmende Bodenwassergehalte auf. In diesen Zeitfenstern ist eine Ausbringung nach DüV unter Umständen erlaubt. Die Landwirt*innen müssen allerdings weiterhin entscheiden, ob der Boden befahrbar und tragfähig ist und/oder ob Gefahr für Abschwemmung besteht.

1.2 Physikalischer Bodenschutz

Der physikalische Bodenschutz im Ackerbau verfolgt das Ziel, die physikalische Schädigung des Bodens durch Erosion und Verdichtung zu vermeiden. Im Zusammenhang mit der neuen Düngeverordnung steht die Vorsorge gegen Bodenverdichtungen im Vordergrund. Bodenverdichtung wird einerseits durch die Art und Intensität der mechanischen Belastung (Gewicht, Überrollhäufigkeit, Kontaktfläche) gesteuert. Andererseits spielt die Verdichtungsempfindlichkeit, die hauptsächlich von der Bodenart und dem Wassergehalt zum Zeitpunkt der Befahrung abhängt, eine entscheidende Rolle (Brunotte et al., 2011; Défossez et al., 2003; Horn et al., 1995; Lorenz et al., 2016; Schjønning et al., 2012). Der Prozess der Bodenverdichtung führt zu einer Reduzierung des Porenvolumens und einer Veränderung der Porenstruktur bis hin zu einer dichteren Lagerung und beeinflusst den Gas-, Wasser- und Nährstoffaustausch negativ (Arvidsson & Håkansson, 1991; Brunotte et al., 2015; Horn, 2011; Soane & Ouwerkerk, 1994). Die dichtere Lagerung hemmt das Wurzelwachstum bei gleichzeitig

verminderter Verfügbarkeit und Aufnahmefähigkeit von Wasser und Nährstoffen, was zu einem Rückgang der Ertragsquantität und -qualität führen kann. Um einer sinkenden Produktivität des Kulturpflanzenanbaus entgegen zu wirken, ist ein erhöhter Einsatz von Wasser, Energie und Nährstoffen erforderlich. Kurzfristige (1-4 Jahre) Ertragsverluste durch Oberbodenverdichtung sind im Allgemeinen höher als langfristige Ertragsverluste durch Unterbodenverdichtung (Alakukku, 2000; Schjønning et al., 2016; Stoessel et al., 2018). Weiterhin wird die Infiltrations- und Speicherkapazität des Bodens reduziert, was die Wassererosion begünstigt. Dadurch kann es zu einem Verlust an Nährstoffen und einem Austrag von Agrarchemikalien (z. B. Pflanzenschutzmittel) kommen, was wiederum zu Eutrophierung und chemischer Belastung von Oberflächengewässer führt (Arvidsson & Håkansson, 1991; Schjønning et al., 2016). Darüber hinaus hat Bodenverdichtung negative Auswirkungen auf die Entstehung von Hochwasser und die Entstehung von Lachgas, einem besonders klimawirksamen Treibhausgas (Jones et al., 2003; van den Akker & Canarache, 2001; Zapf, 1997).

Um Bodenverdichtung zu vermeiden, stehen Landwirt*innen unterschiedliche technische, organisatorische oder pflanzen- und ackerbauliche Maßnahmen zur Verfügung. Das Ziel der technischen und organisatorischen Maßnahmen ist entweder, den Druckeintrag durch eine vergrößerte Kontaktfläche (z. B. Breitreifen, Zwillingsreifen, Absenkung des Reifeninnendrucks, Trennung von Feld- und Straßentransport) zu reduzieren oder das Maschinengewicht zu verringern (z. B. Fahren mit halber Bunkerfüllung). Durch organisatorische Maßnahmen (z. B. Zusammenlegen von Arbeitsgängen, Trennung von Feld- und Straßentransport) kann die Anzahl der Überrollungen gesenkt oder der Reifendruck an die Bodenverhältnisse angepasst werden. Die pflanzen- und ackerbaulichen Maßnahmen zielen darauf ab, das Bodengefüge zu stabilisieren und dadurch die Tragfähigkeit des Bodens zu verbessern (z. B. Zwischenfruchtanbau, pfluglose Bodenbearbeitung) (Brunotte et al., 2015). Als integrierte Maßnahme, die alle drei Ziele vereint, ist die standortangepasste Bewirtschaftung und Fruchtfolgegestaltung zu nennen.

1.3 Novelle der Düngeverordnung und der Bodenschutz – ein neues Konfliktfeld

Laut dem Nährstoffbericht für Niedersachsen 2016/2017 (LWK, 2018) werden in den Veredelungsgebieten der Weser-Ems-Region in sieben Landkreisen die Nitratgrenzwerte und in vier Landkreisen die Phosphorgrenzwerte überschritten. Niedersachsen weist insgesamt einen Stickstoffüberschuss von rund 70.000 t auf. Um eine umweltgerechte Ausbringung und die Einhaltung der Grenzwerte zu gewährleisten, ergibt sich daraus ein überregionaler Flächenbedarf, da die Acker- und Grünlandflächen in der Weser-Ems-Region hierfür nicht ausreichen. Im Wirtschaftsjahr 2016/17 wurden insgesamt 3 Mio. t Frischmasse Wirtschaftsdünger aus der Weser-Ems-Region in andere Regionen Niedersachsens und andere Bundesländer exportiert (Abbildung 3). Um die Vorgaben der neuen Düngeverordnung einzuhalten, müsste die Netto-Verbringung (Ausfuhr von Wirtschaftsdüngern von einer Wirtschaftsregion in eine andere) in aufnehmende Ackerbauregionen um ca. 50 % zunehmen (Hofstetter et al., 2018).

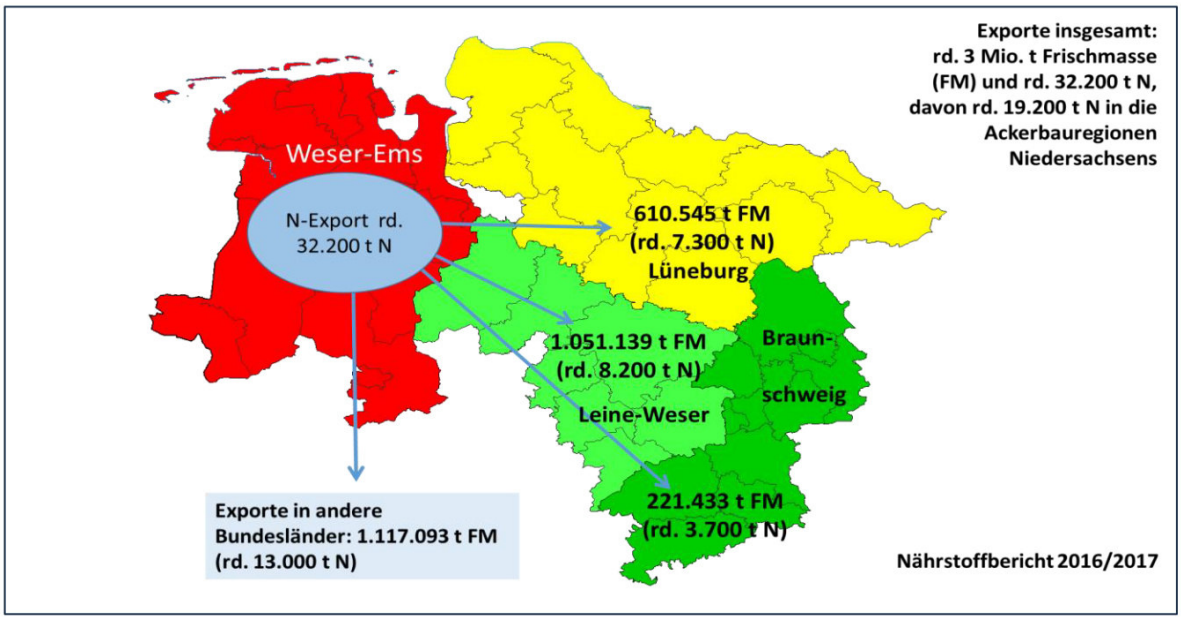

Abbildung 3: Frischmasse und Stickstoffexport aus der Weser-Ems-Region in andere Regionen Niedersachsens, bzw. andere Bundesländer.

Quelle: LWK (2018)

Die Ackerbaubetriebe in den aufnehmenden Regionen stehen vor der Aufgabe, zum einen die anfallenden Nährstoffmengen aufzunehmen und durch effiziente Düngung zu verwerten, zum anderen die Vorschriften der neuen Düngeverordnung einzuhalten. Die neuen Regelungen zur Sperrfrist und zur Begrenzung der Ausbringungsmengen werden eine Verschiebung der Ausbringungsmengen in das Frühjahr nach sich ziehen (Abbildung 1), was in Kombination mit den steigenden Mengen zu weiteren Herausforderungen bezüglich des Bodenschutzes führt.
Durch den Feldverkehr mit großen Güllefässern ist die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern mit hohen Lasteinträgen auf den Boden verbunden. Im Frühjahr weisen die Böden bis in den März meist noch hohe Wassergehalte auf, insbesondere im Unterboden, und sind somit sehr verdichtungsempfindlich. Die neue Düngeverordnung wird dazu beitragen, den Luft- und Gewässerschutz zu verbessern. Sie kann jedoch auch die Konflikte zwischen optimierter Düngung und dem Bodenschutz verschärfen. Hieraus wird deutlich, dass die Anforderungen, einen passenden Zeitpunkt für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger zu finden, enorm gestiegen sind. Gerade bei Witterungsbedingungen wie im Winter 2017/2018 stehen Landwirt*innen vor großen Herausforderungen, die angefallenen Güllemengen, die durch die strengeren Sperrzeiten bis ins Frühjahr gelagert werden müssen, auf die Flächen zu bringen. Laut einer Umfrage von *agrarheute* antworteten am Ende der Sperrfrist Anfang Februar 2018 48 % der Befragten „Das Lager ist fast voll. Es wird knapp“ oder „Die Lager sind voll, wir müssen handeln“.

„Bis auf einige Landkreise in Bayern ist die Gülle-Sperrfrist zu Ende. Doch das nützt vielen Landwirten nichts: Die Flächen sind wassergesättigt und erlauben keine Düngung. In Kombination mit der neuen Düngeverordnung und den anhaltenden Niederschlägen im Dezember bringt das

viele Landwirte an die Grenzen ihrer Gülle-Lagerkapazitäten, wie unsere agrarheute-Umfrage zeigt."[4]

Auch nicht gesättigte Böden, die zwar von den Regelungen der DüV ausgenommen sind, sind enorm anfällig für Bodenverdichtungen. Ab einer relativen Bodenfeuchte von 70 % FK ist bei einer Befahrung fast aller Bodenarten eine negative Veränderung der Bodenfunktionen und eine Veränderung des Porensystems zu erwarten (Lorenz et al., 2016). Vor diesem Hintergrund steigen:

1. die Anforderungen an eine bodenschonende Ausbringetechnik, sodass nach Ablauf der Sperrfristen die angefallene Gülle fach- und bedarfsgerecht ausgebracht werden kann, um die Bodenstruktur zu schonen,

2. die Anforderungen an Datenbereitstellung und Kommunikationstechnik, um die effiziente, bedarfsgerechte und bodenschonende Planung der Verbringung von Wirtschaftsdünger in und zwischen den Regionen zu koordinieren,

3. die Anforderungen an die Beratung, um Landwirt*innen eine fachkundige Beurteilung des Bodenzustandes nahe zu bringen und anschließend standortangepasste Handlungsoptionen aufzuzeigen.

2 Sicht der Praktiker*innen

Um Möglichkeiten für einen verbesserten physikalischen Bodenschutz bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern im Frühjahr gemeinsam mit Akteuren aus der Praxis zu identifizieren und zu evaluieren führten wir im Dezember 2017 einen Workshop zu diesem Thema durch.
Der Workshop mit dem Titel „Novelle der Düngeverordnung und der Bodenschutz – ein neues Konfliktfeld?" wurde im Rahmen des Projekts „SOILAssist – Nachhaltige Sicherung und Verbesserung von Bodenfunktionen durch intelligente Landbewirtschaftung" am Thünen-Institut in Braunschweig in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen organisiert.
Unter Einbeziehung von Praktiker*innen aus der Region Braunschweig als aufnehmende Region wurden Hindernisse, sowie existierende und potentielle technologische, logistische und Management-Optionen diskutiert und bewertet. Weiterhin wurden Lösungsansätze und Handlungsvorschläge an Politik, Wissenschaft, Praxis und Beratung diskutiert.
Die Gruppe von 19 Teilnehmenden bestand aus sechs Landwirt*innen, zwei Vertreter*innen von Lohnunternehmen, fünf Vertreter*innen der Landwirtschaftskammer, fünf landwirtschaftlichen Berater*innen und einer Vertreterin eines Maschinenrings.

Die erste Aufgabe für die Teilnehmenden bestand in der Bewertung/Beantwortung der gestellten Leitfragen/-Aussagen und zeigte auf, dass die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern im Frühjahr für

[4] https://www.agrarheute.com/pflanze/keine-duengung-moeglich-so-voll-guellelager-umfrage-542326 (19.10.2018)

alle Teilnehmenden eine Herausforderung darstellt (Abbildung 4, 1.)). Weiterhin wurden die Handlungsspielräume bei der Ausbringung im Frühjahr von allen als „eher klein“ oder „sehr klein (Abbildung 4, 2.)), und das Informationsangebot für die Entscheidung über den Ausbringezeitraum von 15[5] als unzureichend (Abbildung 4, 3.)) bewertet

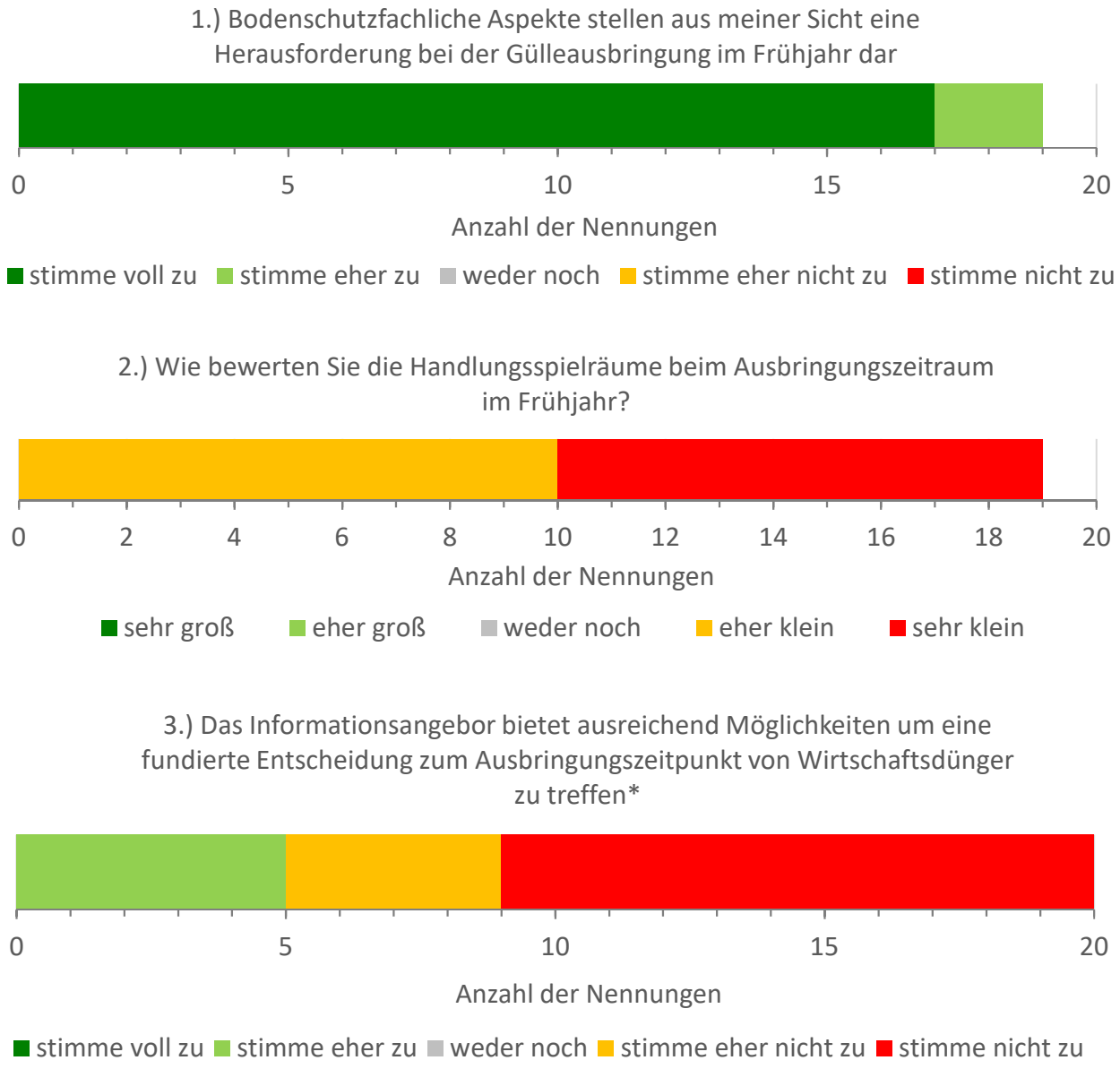

Abbildung 4: Anzahl an Nennungen bezüglich der Zustimmung bzw. Wahrnehmung von 19 befragten Teilnehmenden der landwirtschaftlichen Praxis zu einführenden Fragen im Rahmen des Workshops „Novelle der Düngeverordnung und der Bodenschutz – ein neues Konfliktfeld?“ 15.12.2017, Braunschweig
*** Diese Frage wurde durch einen Teilnehmenden doppelt beantwortet, was im Nachinein nichtmehr aufgeklärt werden konnte**

Quelle: Eigene Darstellung

[5] Diese Frage wurde durch eine Teilnehmende Person doppelt beantwortet, was im Nachinein nichtmehr aufgeklärt werden konnte

Im Anschluss wurden die Teilnehmenden in drei Gruppen aufgeteilt, in denen die Leitfragen ausführlich diskutiert und das „wie, warum, wann“ beantwortet wurden. Die Diskussionen der Kleingruppen wurden in die Blöcke „Herausforderungen“ und „Lösungsansätze“ gegliedert.

2.1 Herausforderungen

Die von den Teilnehmenden identifizierten *Herausforderungen* umfassten sechs übergeordnete Themen, die im Folgenden erläutert werden.

- Bodenschutzaspekte:
  Alle Teilnehmenden stimmten der Aussage zu, dass bodenschutzfachliche Aspekte für sie eine Herausforderung bei der Gülleausbringung im Frühjahr darstellen (Abbildung 4, 1.)). Es wird als Herausforderung wahrgenommen, die Tragfähigkeit der Böden richtig zu beurteilen um Bodenschäden zu vermeiden.

- Standörtliche Aspekte:
  Eng verknüpft mit den Bodenschutzaspekten sind die standörtlichen Aspekte. Die Auswertung der langjährigen Klima- und Bodenfeuchtedaten (Abbildung 2) deckte sich mit der Wahrnehmung der Teilnehmenden. Wassergesättigte Böden im Frühjahr, die nicht oder nur unter Umständen befahrbar sind, werden als problematisch wahrgenommen. Dabei wurde betont, dass vor allem schwere, tonige Böden betroffen sind. Hinzu kommt die Witterungslage, die von Jahr zu Jahr unterschiedlich sein kann und somit die Planung erschwert.

- Organisatorische/logistische Aspekte:
  Grade die schwer planbaren Witterungsbedingungen, die Einarbeitungsfrist, die kurzen Zeitfenster und der daraus resultierende geringe Handlungsspielraum (Abbildung 4, 2.)) zur Ausbringung erfordern gesteigerte organisatorische und logistische Bemühungen. Vor dem Hintergrund der strengen Grenzwerte für die Ausbringung von Stickstoff (N) und Phopsphor (P) erschweren variable Inhaltsstoffe im Wirtschaftsdünger die Planung, weshalb Mineraldünger bevorzugt werden. Auch in der Zusammenarbeit mit Lohnunternehmen wird ein erhöhter Kommunikations- und Abstimmungsbedarf festgestellt, wenn Arbeiten bodenschonend durchgeführt und an die aktuellen Witterungsverhältnisse angepasst werden sollen.

- Ökonomische Aspekte:
  Bei den ökonomischen Aspekten spielt die Schädigung der Pflanzen und die daraus resultierenden Ertragseinbußen eine wichtige Rolle. Die individuellen Mehrkosten für eine bodenschonende Ausbringung, bei kurzen Zeitfenstern und unsicheren Witterungsbedingungen, stellen Praktiker*innen vor ein Problem, vor allem, weil die monetären Vorteile (z. B. durch die Gülleverschlauchung, siehe Kapitel 4) schwierig zu

bewerten und daher auch nicht offensichtlich sind. Auch die Kosten für zusätzliche Lagerkapazitäten sind ein Thema.

- Administrative/regulatorische Aspekte:
  Mit Hinsicht auf die regulatorischen Vorgaben ist eine große Unsicherheit vorhanden und der bürokratische Aufwand wird als Problem wahrgenommen. Durch eine regelmäßige Novellierung von Verordnungen werden die Betriebs- und Investitionsplanung erschwert. Durch variable Nährstoffgehalte im Wirtschaftsdünger wird eine Überschätzung der Kontrollwerte und daraus folgende Strafen befürchtet. Die restriktiven Grenzwerte bei der Herbstausbringung und der Ausbringung auf gefrorenem Boden stellen eine Herausforderung dar. Das Einholen von Baugenehmigungen für zusätzliche Lagerkapazitäten für Wirtschaftsdünger ist langwierig und teuer. In Ackerbaugebieten ist es oft schwierig, überhaupt eine Baugenehmigung zu erhalten, obwohl eine Lagerung vor Ort die Bedingungen für die zeitliche Optimierung der Ausbringung verbessern würde.

- Technische Aspekte:
  Die geringen Mengen an N und P, die im Herbst und/oder Frühjahr ausgebracht werden dürfen, fordern eine Ausbringetechnik, welche dies ermöglicht. Bei der verfügbaren Technik sind Mengen unter 10 m^3/ha allerdings schwer zu realisieren. Die gängige Technik zur Gülleausbringung (Pumptankwagen) hat ein hohes Eigengewicht (> 60 t) und oft wird mit hohem Reifeninnendruck gefahren. Gerade wenn Wirtschaftsdünger im Frühjahr von Lohnunternehmen ausgebracht wird, ist die Technikverfügbarkeit ein Hindernis. Zum einen haben viele Lohnunternehmen z. B. keine Gülleverschlauchung, zum anderen müssen sich Landwirt*innen den Kund*innen in der Umgebung anpassen. Der Einsatz von Gülleverschlauchung lohnt sich erst ab einer regionalen Mindestausbringungsmenge, die bisher nicht immer erreicht wird.

- Wissenstransfer:
  Zwei Drittel der Teilnehmenden gaben an, dass das Informationsangebot, um eine fundierte Entscheidung zum Ausbringungszeitraum von Wirtschaftsdünger zu treffen, nicht ausreichend ist (Abbildung 4, 3.)).

2.2 Lösungsansätze

Aus den identifizierten Herausforderungen wurden *Lösungsansätze* abgeleitet, die sich dementsprechend nach den gleichen Themen bündeln lassen. Im Bereich der standortspezifischen Bodenschutzaspekte wurden keine Lösungsansätze definiert, weil auf die Standorteigenschaften kein oder kaum Einfluss genommen werden kann.

- Organisatorische/logistische Aspekte:
  Als sehr pragmatischer Ansatz wird die Trennung von Transport und Ausbringung mit der Gülleverschlauchung gesehen, diese sollte auch bei Lohnunternehmen vermehrt

angeboten werden. In der Planung kann die Auslastung der Maschinen gesenkt werden um vorwiegend unter günstigen Bedingungen fahren zu können. Eine erleichterte Logistik und zeitliche Organisation der Gülleausbringung schafft Flexibilität, Ausbringung an die Bodenart und Befahrbarkeit anzupassen.

- Ökonomische Aspekte:
  Als wichtiger Lösungsansatz wird eine finanzielle Förderung für umwelt-/bodenschonendes Wirtschaften, z.B. Gülletechnik und -verschlauchung für alle Betriebe (Marktfrucht und Biogas) angesehen.

- Administrative/regulatorische Aspekte:
  Auf der administrativen Seite ist es notwendig, alle Unklarheiten und Unsicherheiten bezüglich rechtlich zulässiger Ausbringungszeitpunkte soweit es geht abzubauen. Gleichzeitig müssten die Bestimmungen regional angepasst werden, da Landwirt*innen aus verschiedenen Regionen oftmals mit sehr unterschiedlichen Problemen und Schwierigkeiten umgehen müssen. Die Regelung 60 kg/ha N auf gefrorenen Flächen ausbringen zu dürfen, sollte evaluiert werden, um eine flexiblere Düngeplanung zu ermöglichen, wobei eine Nachsteuerung der Düngung ebenfalls erstrebenswert ist. Zudem könnte die Errichtung einer fachkundigen Schiedsstelle für den Konfliktfall von Vorteil sein.

- Technische Aspekte:
  Die Anpassung des Reifeninnendrucks, der Bereifung und des Gewichts an die Bodenverhältnisse und die weitere Verbreitung der Verschlauchungstechnik werden als mögliche Lösungsansätze gesehen, die teilweise schon umgesetzt werden. Im Bereich der Landtechnik wird eine Weiterentwicklung in folgenden Bereichen erwartet:

  - Ausbringetechnik für geringe Mengen (< 10 m^3).
  - Ausbringetechnik auf > 20 m, um in bestehenden Fahrspuren fahren zu können.
  - Aktuelle Bestimmung von P-und N-Mengen bei der Ausbringung für eine sichere Dosierung

  Die Schlitztechnik[6] muss praxistauglich gemacht werden, um die Nährstoffeffizienz zu verbessern und gasförmige Verluste zu vermeiden. Gleiches gilt für die Ansäuerung von Gülle, um sowohl bei der Lagerung als auch bei der Ausbringung die Ammoniakemission zu reduzieren. Große Hoffnungen werden in die Separierung oder Aufbereitung von Gülle gesetzt. Durch die Separierung der Nährstoffe in die Trockenphase und deren Aufbereitung zu Pellets[7] können diese einfach gelagert, transportiert und bedarfsgerecht ausgebracht werden.

[6] Dabei werden schmale Rillen in den Boden geritzt in die der Wirtschaftsdünger geleitet wird.

[7] Zu kleinen Einheiten (z. B. Zylindern) gepresstes Trockenmaterial

- Wissenstransfer:
  Um fundierte Entscheidungen zum Ausbringungszeitraum, der Ausbringungsmenge und dem notwendigen Technikeinsatz treffen zu können, muss ein verstärkter Wissenstransfer stattfinden. Dabei sollte Praktiker*innen ein praktikables Verfahren zur Beurteilung der aktuellen Verdichtungsempfindlichkeit zur Verfügung gestellt werden, um angemessen auf den Zustand des Bodens reagieren zu können. Weiterhin muss mehr Aufklärung bezüglich der Möglichkeiten zur Vermeidung oder Minimierung von Bodenschäden stattfinden. Hierbei ist es wichtig, deren Vorteile und Kosten zu verdeutlichen.

In der abschließenden Diskussion wurde deutlich, dass die Teilnehmenden das größte Lösungspotenzial bei der Ausbringung in der Verschlauchungstechnik sehen. Trotz großem Interesse an der Technik und dem Bewusstsein für den Bodenschutz wird die Gülleverschlauchung wenig eingesetzt. Das größte Problem stellen hierbei die zusätzlichen Kosten und auch die Technikverfügbarkeit bei Lohnunternehmen dar. Ein weiteres zentrales Problem ist die bestehende Unsicherheit bezüglich der neuen Düngeverordnung und die damit verbundene Angst vor Sanktionen. Die zentralen Forderungen der Teilnehmenden beziehen sich auf eine finanzielle Förderung von bodenschonender Technik, Weiterentwicklung von Aufbereitungstechniken und den Abbau von Unsicherheiten.

3 Beratungsansätze

Zur Vermeidung von Bodenverdichtungen bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger im Frühjahr müssen Landwirt*innen den Zustand des Bodens richtig beurteilen können, um anschließend über eine angepasste Ausbringetechnik entscheiden zu können. Dafür stehen Hilfestellungen und Anleitung in verschiedenen Formen bereit.

3.1 Beurteilung der aktuellen Befahrbarkeit

3.1.1 Beurteilung nach visuellen und haptischen Kriterien

Mit Beginn der Mechanisierung in der Landwirtschaft haben Landwirt*innen und Berater*innen nach praxisorientierten Methoden gesucht, um Äcker auf ihre Befahrbarkeit und Bearbeitbarkeit anzusprechen. Dabei sind Möglichkeiten der Bodenansprache entstanden, die den Spaten als Hauptinstrument beschreiben (wie z.B. Spatendiagnose nach GÖBRING (1947), Spatendiagnose nach DIEZ (1989), Erweiterte Spatendiagnose nach BESTE (2002)). Beispielhaft sollen hier zwei Methoden skizziert werden:

(1) Die Firma AGRIDEA schlägt ein sehr praxisnahes Vorgehen für die Beurteilung der Befahrbarkeit vor (Marbot et al., 2014). Unabhängig von der Bodenart wird in drei

Feuchtestufen unterschieden, die anhand einer visuellen und haptischen Begutachtung des Bodens zugeordnet werden können (Abbildung 5).

Abbildung 5: Beurteilung der Befahrbarkeit nach AGRIDEA.

Quelle: Marbot et al. (2014)

In der ersten Feuchtestufe (trocken) sind ideale Bedingungen für eine Befahrung gegeben, in der zweiten Stufe (feucht) ist Vorsicht geboten und Bodendruck zu vermeiden. In der dritten Stufe (nass) wird empfohlen, eine Befahrung zu unterlassen.

(2) Der Bewertungsvorschlag der LfULG in Sachsen (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Sachsen) differenziert weiter nach bindigen und nicht bindigen Böden (Feldwisch & Friedrich, 2016). Es gibt sechs Feuchtestufen, die auch visuell und haptisch festgelegt werden, jedoch mit korrespondierenden Bodenfeuchtewerten versehen sind. Die Befahrbarkeit wird von „gut“ (trocken) bis „sehr schädlich“ (nass/ sehr nass) eingeteilt. Es werden jedoch keine Aussagen oder Hinweise zu den Handlungsoptionen bei der tatsächlichen Befahrung gegeben (Abbildung 6).

Bodenfeuchtezustand			Konsistenz/Merkmale bei geringer und mittlerer effektiver Lagerungsdichte		Befahrbarkeit [2]
Bezeichnung	pF [log cm Ws]	cbar [1]	Merkmale bindiger (ausrollbarer) Böden	Merkmale nicht bindiger Böden	
trocken	> 4, 0	> 981	fest, nicht ausrollbar bzw. knetbar, dunkelt bei Wasserzugabe stark nach	staubig, dunkelt bei Wasserzugabe stark nach	gut
			Schrumpfgrenze → Rissbildung		
schwach feucht	4,0 bis > 2,7	981 bis > 50	halbfest – bröcklig, noch ausrollbar aber bröckelnd, Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe nach	Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe noch etwas nach	gut
			Ausrollgrenze		
feucht	2,7 bis > 2,1	50 bis >12	steif, ausrollbar auf < 3 mm Dicke ohne zu zerbröckeln, dunkelt bei Wasserzugabe nicht nach	Finger werden etwas feucht, kein Wasseraustritt durch Klopfen am Bohrer, dunkelt bei Wasserzugabe nicht nach	tolerierbar
sehr feucht	2,1 bis > 1,4	12 bis > 2,5	weich, ausrollbar bis > 3 mm Dicke, sehr gut knetbar	Finger werden deutlich feucht, durch Klopfen am Bohrer Wasseraustritt aus den Poren	schädlich
nass	≤ 1,4	≤ 2,5	breiig, kaum knetbar, da zu weich	Finger werden sehr feucht, durch Klopfen am Bohrer deutlicher Wasseraustritt aus Poren	sehr schädlich
			Fließgrenze		
sehr nass	0	0	zähflüssig, nicht ausrollbar und knetbar	Bohrkernverlust	sehr schädlich

[1] Die Einheit Centibar wird hier in Anlehnung an das schweizer Nomogramm verwendet. Die Umrechnung in den pF-Wert erfolgt über eine Multiplikation mit 10,2 und einer anschließenden Logarithmierung zur Basis 10 (LOG10).

[2] Bei bindigen Böden ist die Bearbeitbarkeit (Aushub, Umlagerung, Wiedereinbau) bei sehr starker Austrocknung zum Teil nur bedingt möglich, weil starke Klutenbildung die Bearbeitungsqualität – insbesondere im Hinblick auf die Wiederherstellung durchwurzelbarer Bodenschichten – vermindert. Sehr tonreiche Böden (> 25 % Ton) sind im ausgetrockneten, festen Konsistenzzustand nicht bearbeitbar.

Abbildung 6: Feuchtestufen und Konsistenzbereiche der Böden nach Ad-hoc-AG Boden (2005, S. 115) sowie Befahrbarkeit nach DIN 19731 und BMLFUW (2012, S. 42)

Quelle: Feldwisch & Friedrich (2016)

Für die Beurteilung nach visuellen und haptischen Kriterien wird im Idealfall mit dem Spaten ein Erdstück (sog. „Erdziegel“) aus dem Oberboden ausgehoben. Aus Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes sind Feldarbeiten nur unter idealen Befahrungsbedingungen (AGRIDEA) oder bei guter Befahrbarkeit (LfULG) bedenkenlos durchzuführen. Bei tolerierbarer Befahrbarkeit (LfULG) oder Befahrung mit Vorsicht (AGRIDEA) ist eine Befahrung nur unter Anpassung des Maschinengewichts und des Reifeninnendrucks möglich. Bei einer weiteren Zunahme des Bodenwassergehaltes sollte die Befahrung vermieden werden (AGRIDEA), da es sich dann um eine schädliche oder sehr schädliche Befahrbarkeit handelt (LfULG). Bei der Befahrung wird weiterhin empfohlen, darauf zu achten, dass keine tiefen Fahrspuren sichtbar sind und nicht zu viel Erde an den Reifen haften bleibt (Marbot et al., 2014). Zusätzlich zu dieser Beurteilung ist der Witterungsverlauf zu beobachten, um beurteilen zu können, ob eine Befahrung im guten oder tolerierbaren Bereich in den kommenden Tagen zu erwarten ist und die Feldarbeit unter Umständen auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden sollte.

<u>Vorteile bei diesem Vorgehen:</u>

- keine detaillierten Daten notwendig (Bodenfeuchtegehalt oder Bodenart),
- keine zusätzlichen Materialien notwendig,
- Landwirt*innen treten in Kontakt zu ihrem Boden und können sicherer über eine Befahrung entscheiden.

<u>Nachteile bei diesem Vorgehen:</u>

- die zu befahrende Fläche muss im Voraus aufgesucht werden,
- ein gewisses Maß an Übung und Erfahrung ist notwendig,
- keine exakte Beurteilung.

3.1.2 Beurteilung mit Hilfe einer Softwarelösung

Neben visuellen und haptischen Kriterien ist es insbesondere bei der Planung von Investitionen und Einsatzzeiten hilfreich, Computerprogramme zu verwenden. Wie in Kapitel 1.2 erläutert, ist das Ausmaß von Bodenverdichtungen auch von der Art der Belastung, das heißt des Maschinengewichtes und der Maschinenkonfigurationen abhängig. Werden Maschine und Bodenzustand zur Bewertung der Befahrbarkeit kombiniert, sind die Ansätze deutlich komplexer. Auch hier werden zwei bestehende Programme beispielhaft genannt.

(1) Lassen et al. (2013) und Stettler et al. (2014) haben Terranimo®, ein „Simulationsmodell zur Berechnung des Bodenverdichtungsrisikos beim Einsatz von landwirtschaftlichen Fahrzeugen“ entwickelt, was als anwenderfreundliche Web-Anwendung[8] zur Verfügung steht. In der light-Version kann es kostenlos über die Homepage genutzt werden. Bei dieser Anwendung werden Bodenart, aktueller Feuchtezustand und Maschinenparameter kombiniert und Anwender*innen erhalten Auskunft ob Bodenverdichtungen zu erwarten sind (Abbildung 7). Es wird in die Kategorien „Keine Verdichtungsgefährdung“ (grün), „Beträchtliche Verdichtungsgefährdung - Radlast oder Reifendruck reduzieren“ (gelb) und „ACHTUNG: Schadverdichtung im Unterboden zu erwarten - Befahrung unterlassen“ (rot) unterteilt.

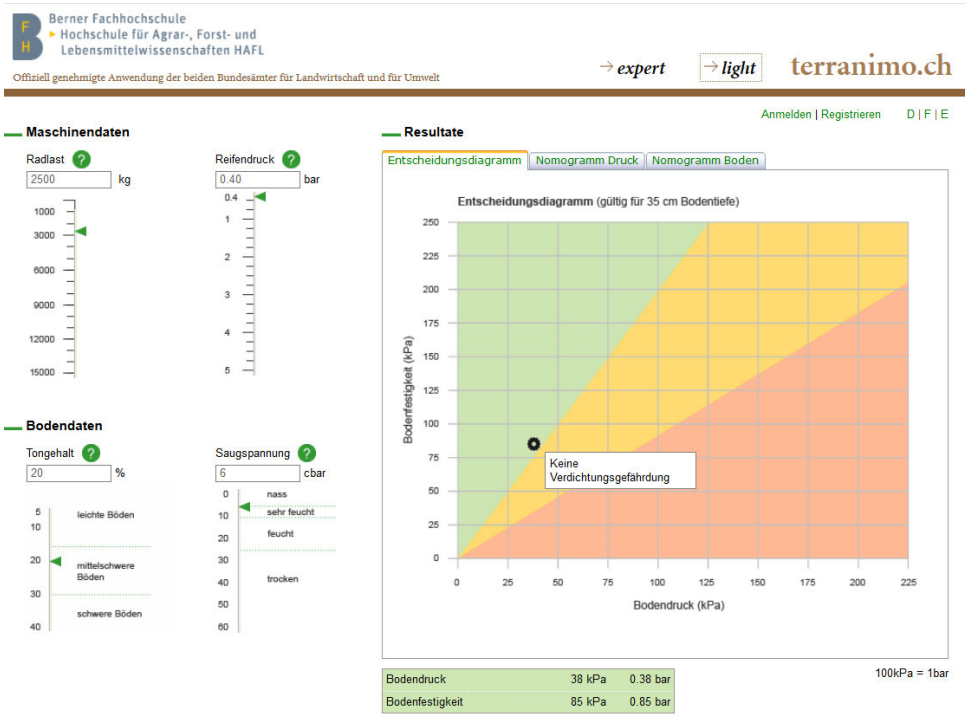

Abbildung 7: Screenshot der Terranimo® light Online-Anwendung.

Quelle: (https://www.terranimo.world/CH/light/Default.aspx)

[8] https://terranimo.world/ch/

Für die Anwendung ist die genaue Kenntnis über die Parameter *Tongehalt* und *Saugspannung* des Bodens und *Radlast* und *Reifendruck* der Maschine notwendig. Stehen diese Angaben zur Verfügung, kann man über die Änderung dieser Parameter evaluieren, unter welchen Bedingungen „bodenschonend“ gefahren werden kann. Die Minderung der Radlast und der angepasste Reifeninnendruck können tatsächlich für die Feldarbeit, und dadurch zur erhöhten Bodenschonung, umgesetzt werden (z. B. von Kategorie gelb zu grün). Werden die Wetterprognosen mit einbezogen, kann die Empfehlung auch lauten, die Feldarbeit bis zu einer ausreichenden Abtrocknung des Bodens zu verschieben, da mit Absenkung der Saugspannung auch das Verdichtungsrisikos sinkt.

Leider stehen in Deutschland derzeit keine flächendeckenden Daten zur Bodenfeuchte unter verschiedenen Kulturen für verschiedene Böden zur Verfügung. Das gleiche gilt für großmaßstäbige Bodenkarten, die Auskunft über Bodenarten in einem hinreichenden Detailgrad geben. Im Grenzbereich zwischen den Kategorien kann beispielsweise die Änderung des Tongehalts um 1 % oder der Saugspannung um 1 Centibar eine Verschiebung von der gelben in die grüne Kategorie ausmachen. Hier besteht die Gefahr, dass sich Anwender*innen auf der Grundlage einer unzureichender Datenlage in Sicherheit wiegen, dadurch unvorsichtig werden und unwissentlich eine Bodenschädigung hervorrufen, oder anders herum, dass mögliche Befahrungen oder Bodenbearbeitungen ohne tatsächliche Notwendigkeit verschoben werden.

(2) Mit der Excel-Anwendung TASC (Tyres/Tracks And Soil Compaction) der Forschungsanstalt Agroscope wurde ein praxistaugliches Werkzeug entwickelt, um über die Ausrüstung und den Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen, unter Berücksichtigung des Bodenschutzes zu entscheiden (Abbildung 8, Diserens & Battiato, 2013). Das Risiko der Bodenverdichtung wird über die einzugebenden Parameter *Fahrwerkart, Last, Bereifungs- oder Reifendimension, Reifeninnendruck, und -festigkeit* bestimmt (Diserens & Spiess, 2004). Um die Parameter *Bodenart* (Fühlprobe) und *-festigkeit* (Schraubenziehertest) zu bestimmen, werden praxisnahe Methoden empfohlen. In der aktualisierten Anwendung von 2013 wird zwischen Verdichtungsrisiko für den Ober- und Unterboden unterschieden. Hierfür müssen weiterhin die Parameter *kritische Bodentiefe* mit Hilfe des Doppelmeters, und die *Bodenkohäsion* über den Hacktest bestimmt werden. Die Entwickler*innen haben den Anspruch, dass alle empfohlenen Methoden „möglichst schnell, mit minimalem Aufwand und ohne Kosten durchzuführen sind“ (Diserens & Battiato, 2013, S. 4) und sind im Handbuch ausführlich beschrieben. Im Ergebnis zeigt die Anwendung ob Schadverdichtungen[9] zu erwarten sind (ja/nein) und in welchem Tiefenbereich.

[9] Eine Bodenverdichtung, die die Bodenfunktionen dauerhaft negativ beeinträchtigt wird auch als Bodenschadverdichtung bezeichnet.

Druckausbreitung im Boden durch Rad-, und Raupenlasten

Bezeichnung: Mähdrescher (132 kW) und Unterbodengefährdung

Nutzung - Bodenfeuchte: Landwirtschaft - feuchter Boden - pF 1.8 | kritische Tiefe [cm]: 25

Bodenart in der kritischen Tiefe: sandiger Lehm, lehmreicher Sand | Tongehalt [%] | Schluffgehalt [%]

Variante	Reifenart / Raupen	Reifen-aufbau	Reifen-/ Raupen-breite	Reifen-durchmesser/ Laufbandlänge	max Rad-/ Raupen-last	Reifen-innen-druck	Oberboden-festigkeit	Kontakt-fläche	mittl. Kontakt-druck	Schad-verdichtungs-gefahr **	Schad-verdichtungs-gefahr bis ... Tiefe
Alle Eingaben löschen	no/ni/tr/ra	d/r	[cm]	[cm]	[kg]	[bar]*	[kgf]	[cm²]	[bar]*	nein / ja	[cm]
Variante 1	LANDWIRTSCHAFT / Antriebsreifen										
800/65R32 - Korntank voll	ni	r	77	182	7630	1.5	halbfest	5888	1.27	ja	28
Variante 2	LANDWIRTSCHAFT / Antriebsreifen										
800/65R32- Korntank 50% voll	ni	r	77	182	6830	1.5	halbfest	5497	1.22	nein	25
Variante 3	LANDWIRTSCHAFT / Antriebsreifen										
800/65R32 - Korntank voll	ni	r	77	182	7630	1.5	weich	5888	1.27	ja	35
Variante 4	LANDWIRTSCHAFT / Antriebsreifen										
800/65R32 - Korntank voll	ni	r	77	182	7630	1.5	fest	5039	1.49	nein	13

* 1 bar = 1.019 kg/cm² = 10 N/cm² = 100 kPa = 0.9872 atm

** unterhalb der maximalen Auflockerungstiefe

Informationen

Abbildung 8: Schadverdichtungsgefährdung (Schadverdichtungsrisiken) im Bodenprofil mit einem Mähdrescher. Eingabefelder sind grün, Resultatfelder sind orange.

Quelle: (Diserens & Battiato, 2013)

Durch die Anpassung von Reifenparametern oder Radlast kann erkundet werden, durch welche Maßnahme (z. B. Fahren mit halber Bunkerfüllung, Anpassung des Reifeninnendrucks) ein Schadverdichtungsrisiko verringert bzw. vermieden werden kann.

<u>Vorteile bei diesem Vorgehen:</u>

- Anwender*innen bekommen einen genauen Wert für die Maschinenkonfiguration (Gewicht, Reifendruck), um Boden(-schad)verdichtung zu vermeiden,
- Sensibilität der Anwender*innen hinsichtlich des Einflusses der Eingangsparameter auf das Verdichtungsrisiko wird erhöht,
- kann bei Neuinvestition in bodenschonende Technik (Bereifung, Reifendruckregelanlage) als anschauliche Entscheidungshilfe dienen.

<u>Nachteile bei diesem Vorgehen:</u>

<u>Terranimo:</u>

- exakte Daten zum Bodenwasser- und Tongehalt sind notwendig, die großmaßstäbig meist nicht vorhanden sind,
- besonders im Grenzbereich zwischen den Kategorien ist das Programm hinsichtlich der Eingangsdaten sehr sensitiv,
- es ist nur eine scheinbare Genauigkeit/Sicherheit zu erzielen, da der Wasser- und der Tongehalt innerhalb eines Schlages variieren können, bzw. nicht in der geforderten Genauigkeit bestimmt sind,
- Gefahr vor „blindem Vertrauen“ in das Programm,
- eine Überprüfung der Empfehlung hinsichtlich Plausibilität ist auf dem Ackerschlag mittels Spaten unbedingt erforderlich.

TASC:

- die zu beurteilende Fläche muss im Voraus aufgesucht werden,
- ein gewisses Maß an Übung und Erfahrung ist zur Beurteilung des Bodenzustandes notwendig,
- keine exakte Beurteilung,
- eine Überprüfung der Empfehlung hinsichtlich Plausibilität ist auf dem Ackerschlag mittels Spaten unbedingt erforderlich.

3.2 Beurteilung des allgemeinen Bodenzustandes

Um eine Einschätzung über den allgemeinen Zustand des Bodens zu erhalten, haben sich Konzepte, wie zum Beispiel die „Feldgefügeansprache“ oder die „Spatendiagnose“ (welche inhaltlich ähnlich sind) etabliert. Bei beiden wird anhand von visuellen und haptischen Kriterien, sowie des Geruchs der Zustand des Bodens beurteilt. Die Auswertungen geben Aufschluss über die Funktionsfähigkeit des Bodens hinsichtlich Wasser- und Gasaustausch, biologische Aktivität und Durchwurzelbarkeit. Der Aggregataufbau, die Lagerungsdichte und mögliche Verdichtungshorizonte liefern Hinweise über eine mögliche Schädigung des Bodens. Dies ermöglicht Landwirt*innen rechtzeitig Vorsorge- oder im Nachhinein Sanierungsmaßnahmen zu ergreifen. Es werden beispielhaft zwei Methoden angeführt, wie Praktiker*innen den Boden ansprechen können, um im Vorfeld die Befahrbarkeit/Bearbeitbarkeit zu überprüfen, bzw. im Nachgang die Auswirkung der Befahrung zu beurteilen:

(1) Feldgefügeansprache: Die „Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker“ wurde in Kooperation des Thünen-Instituts für Agrartechnologie (Brunotte et al., 2015) und der Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung entwickelt. Das Klemmbrett fürs Feld mit Anleitung steht über die Homepage der Landwirtschaftskammer Niedersachsen als Download zur Verfügung[10] oder kann über die Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V. bestellt werden[11]. Weiterhin kann die Anleitung kostenlos als mobile Applikation auf dem Handy genutzt werden[12].

(2) Spatendiagnose: Die „Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten“ wird von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) mit Beteiligung der Bundesländer Niedersachsen, Sachsen, und Thüringen herausgegeben. Die Anleitung steht auf der Homepage der LfL Bayern zum Download zur Verfügung[13].

[10] https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/279/article/19679.html

[11] https://www.gkb-ev.de/publikationen-2/

[12] https://www.dlg-mitteilungen.de/mediathek/apps/

[13] https://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/040146/index.php

4 Verfahrensvergleich Ausbringetechnik

Abbildung 9: Traktor mit Schleppschlauch und Gülleverschlauchung

Als Beispiel für die Anpassung der Ausbringetechnik wird hier die Gülleverschlauchung vorgestellt (Abbildung 9). Dabei wird das auszubringende Substrat in einem Container am Feldrand gelagert und über einen Schlauch zum Verteilfahrzeug gepumpt, um dort mit der gewünschten Ausbringetechnik auf dem Feld ausgebracht zu werden. Für die Umsetzung der Gülleverschlauchung sind als technische Komponenten Pumpe, Schlauch, Schlauchtrommel und ab einer Feld-Hof-Entfernung von >1 - 1,5 km ein Feldrandcontainer notwendig (Laubenbacher agrar (o. J.). Je nach Feld-Hof-Entfernung und Flächengröße muss die Größe des Feldrandcontainers angepasst und weitere Transportfahrzeuge zur Befüllung eingesetzt werden (Amon, 2008). Die Länge des Schlauches ist variabel (alle 100 m mit einer Kupplung ausgestattet) und kann je nach Flächeneigenschaften gewählt werden. Für den besseren Überblick sorgt eine zusätzliche Durchflussmessung und eine Funksteuerung kann die Arbeit an der Pumpe erleichtern. Da der Schlauch über den Acker gezogen wird, haben viele Landwirt*innen die Befürchtung, dass die bestehende Kultur Schaden nehmen könnte. Dies wird allerdings durch die Erfahrungsberichte widerlegt. Eine problemlose Bearbeitung von Weizen bis zum 2. Knotenstadium oder bis 25-30 cm Wuchshöhe bei Mais ist möglich (Fick-Haas, 2015). Durch diese Verfahrenskette kann die Radlast um die Last des Tankwagens (Tridem-Pumptankwagen bis zu 30 t Gesamtmasse) und dessen Inhalt verringert werden. Dies bringt vor allem in feuchten Frühjahren eine erheblich Entlastung für den Boden (Lorenz et al., 2016). Durch die verringerte Belastung können die Feldarbeitszeiten im Frühjahr (= Befahrbarkeitstage) ausgeweitet und flexibler gestaltet werden, was zusätzlich zu einer deutlichen Entspannung der Arbeitsspitzen führt. Als positive Nebeneffekte sind weiterhin ein sichereres Ausbringen in Hanglagen und dadurch eine verringerte Unfallgefahr zu nennen (Kreß, 2015). Durch die geringere Last kann Kraftstoff eingespart und durch die Trennung von Feld und Straßentransport eine Verunreinigung der Straße vermieden werden. Als nachteilig wird die hohe Rüstzeit, die bei einem eingespielten Team auf eine halbe Stunde geschätzt wird, gesehen (Fick-Haas, 2015). Weiterhin werden meist zwei Personen benötigt; jeweils eine Person zum Fahren des Ausbringefahrzeugs sowie zur Bedienung der Pumpe am Lagerort.

Im Folgenden werden drei unterschiedliche Verfahren zur Ausbringung von Wirtschaftsdünger hinsichtlich ihrer Kosten und der damit zur Verfügung stehender Befahrbarkeitstage gegenübergestellt. Es wird für alle drei Verfahren angenommen, dass 20 m^3/ha ausgebracht werden. Für die dargestellten Berechnungen wurde folgende Mechanisierung unterstellt:

Einphasiges Verfahren zur Ausbringung (Transport und Ausbringung mit dem gleichen Fahrzeug)

(1) *Ausbringung + Transport:* Tridem-Pumptankwagen 20 m³ (Reifendruck für Straße = pi Straße); Schlepper 233 kW (Straßendruck); Schleppschlauchverteiler 24 m
Einarbeitung: Schlepper 233 kW; Grubber 6 m

Mehrphasige Verfahren zur Ausbringung (Transport und Ausbringung mit unterschiedlichen Fahrzeugen)

(2) *Ausbringung + Einarbeitung:* Gülleselbstfahrer: 275 kW, 20 m³ (Hundeganglenkung, angepasster Reifeninnendruck) Güllegrubber 6 m
Transport: Vierachs-LKW 20 m³, 350 kW

(3) *Ausbringung:* Gülleverschlauchung mit Schlepper 138 kW (angepasster Reifeninnendruck); Schleppschlauchverteiler 24 m; Gülleverschlauchung 1.000 m, 125 mm, 180 m³/h; Feldrandcontainer 50 m³
Einarbeitung: Schlepper 233 kW; Grubber 6 m
Transport: Vierachs-LKW 20 m³, 350 kW

Das Verfahren Gülleverschlauchung ist dabei das bodenschonendste und wird nach Lorenz et al. (2016) mit einer *sehr geringen* mechanischen Belastung des Bodens assoziiert. Danach folgen der Gülleselbstfahrer mit einer *mittleren* und der Tridem-Pumptankwagen mit einer *hohen* mechanischen Belastung.

4.1 Befahrbarkeitstage

Die mittlere Anzahl der Tage ohne Verdichtungsrisiko (im folgenden Befahrbarkeitstage) im Zeitraum 01. Februar bis 15. April (75 Tage) wurde für die drei Verfahrensvarianten berechnet. Grundlage waren Bodenfeuchtedaten für die Jahre 2005-2015 des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und einen Beispielstandort mit einem tonigen Lehm (Lt3). Es wurde der Bewertungsansatz nach Lorenz et al. (2016) genutzt.

Generell sank die Anzahl verfügbarer Befahrbarkeitstage mit steigender mechanischer Belastung (Gülleverschlauchung > Gülleselbstfahrer > Tridem-Pumptankwagen; Abbildung 10). Für den Tridem-Pumptankwagen wurden in 10 von 11 Jahren und für den Gülleslbstfahrer in zwei von 11 Jahren keine Befahrbarkeitstage ermittelt. Für die Gülleverschlauchung schwankten die Befahrbarkeitstage zwischen 11 Tagen in 2010 und 48 Tagen in 2011. Die Felhlerbalken stellen die bodenartbedingte Schwankungsbreite (+/- drei Tage) dar, welche durch die Zusammenfassung der Bodenarten in fünf Klassen zustande kommt.

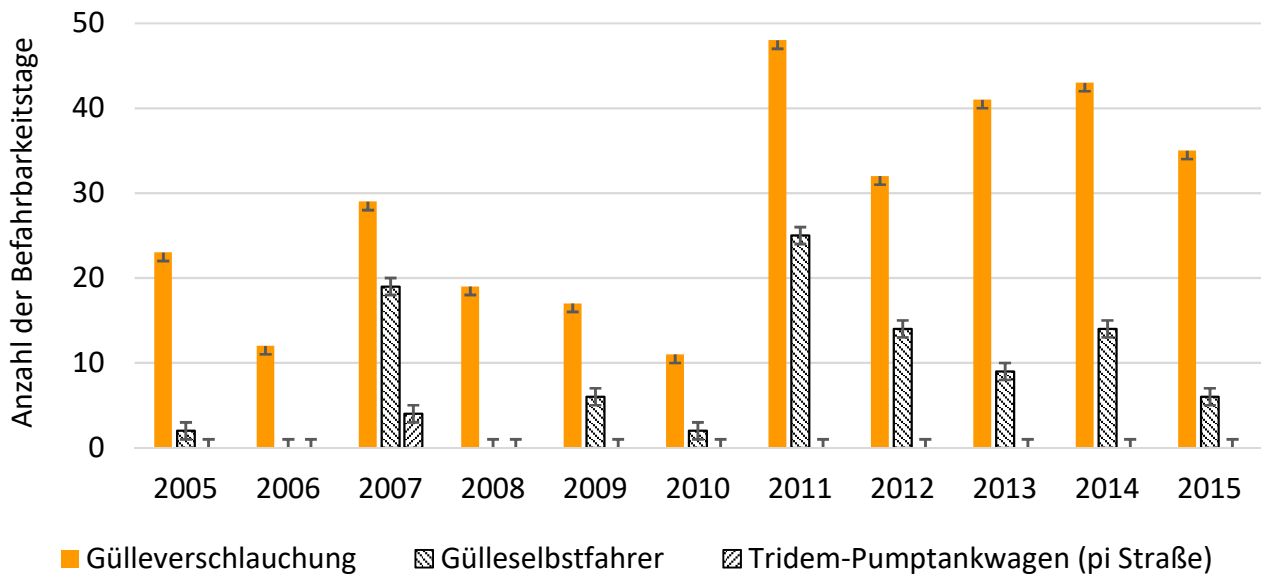

Abbildung 10: Anzahl der Befahrbarkeitstage im Zeitraum 01.02.-15.04. je Jahr für die Gülleausbringung mit dem Tridem Pumptankwagen, Gülleselbstfahrer und der Gülleverschlauchung, mit Schwankungsbereich +/- drei Tage (Fehlerbalken)

Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage BÜK50, DWD

Am Beispiel der Gülleverschlauchung wurde deutlich, dass die Anzahl der Befahrbarkeitstage im Jahresverlauf von Februar bis April auf Grund der sinkenden Niederschläge und der Abtrocknung der Böden zunimmt (Abbildung 11). Jedoch war dieser Verlauf nicht in allen Jahren gleich. Die Anzahl der Befahrbarkeitstage pro Halbmonat waren in jedem der ausgewerteten Jahre unterschiedlich. Während in 2005, 2006, 2008 und 2015 bereits in der ersten Februarhälfte (Feb 01) Befahrbarkeitstage ermittelt wurden, traten diese 2009 und 2010 erst in der zweiten Märzhälfte (Mrz 02) auf.

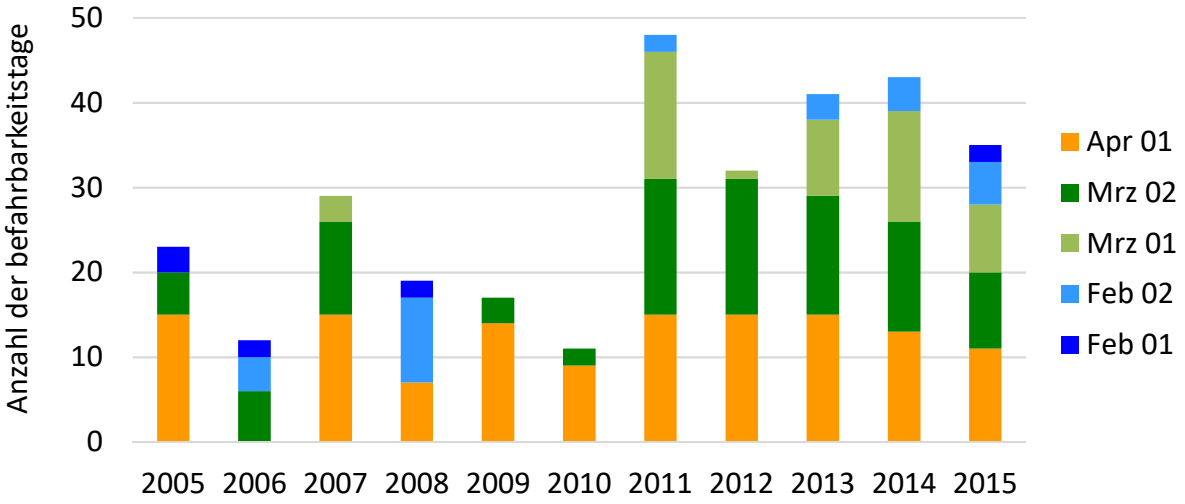

Abbildung 11: Anzahl der Befahrbarkeitstage für die Gülleverschlauchung nach Jahr und Halbmonat

Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage BÜK50, DWD

Hieraus werden zwei Aspekte deutlich:

1. durch eine Umstellung auf Gülleverschlauchung kann die Anzahl der Befahrbarkeitstage deutlich erhöht und kalkulierbarer werden,
2. die Befahrbarkeit und die Anzahl der Befahrbarkeitstage sind für die drei gezeigten Verfahren extrem variabel, sowohl zwischen den Jahren als auch innerhalb eines Jahres.

4.2 Kosten

Die Kosten in €/m³[14] für die Ausbringung und Einarbeitung von Wirtschaftsdünger hängen sowohl vom gewählten Verfahren und der Mechanisierung, als auch von betrieblichen Parametern und Bedingungen ab. Sie wurden hier für die drei untersuchten Verfahren und Szenarien verschiedener Feld-Hof-Entfernungen (1, 5, 10, 20 km) und Schlaggrößen (2, 5, 10 ha) ermittelt. Die Berechnungen basieren auf Daten des Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Fröba, 2019). Bei allen drei Verfahren stiegen die Kosten mit zunehmender Feld-Hof-Entfernung und sinken mit zunehmender Schlaggröße (Abbildung 12).

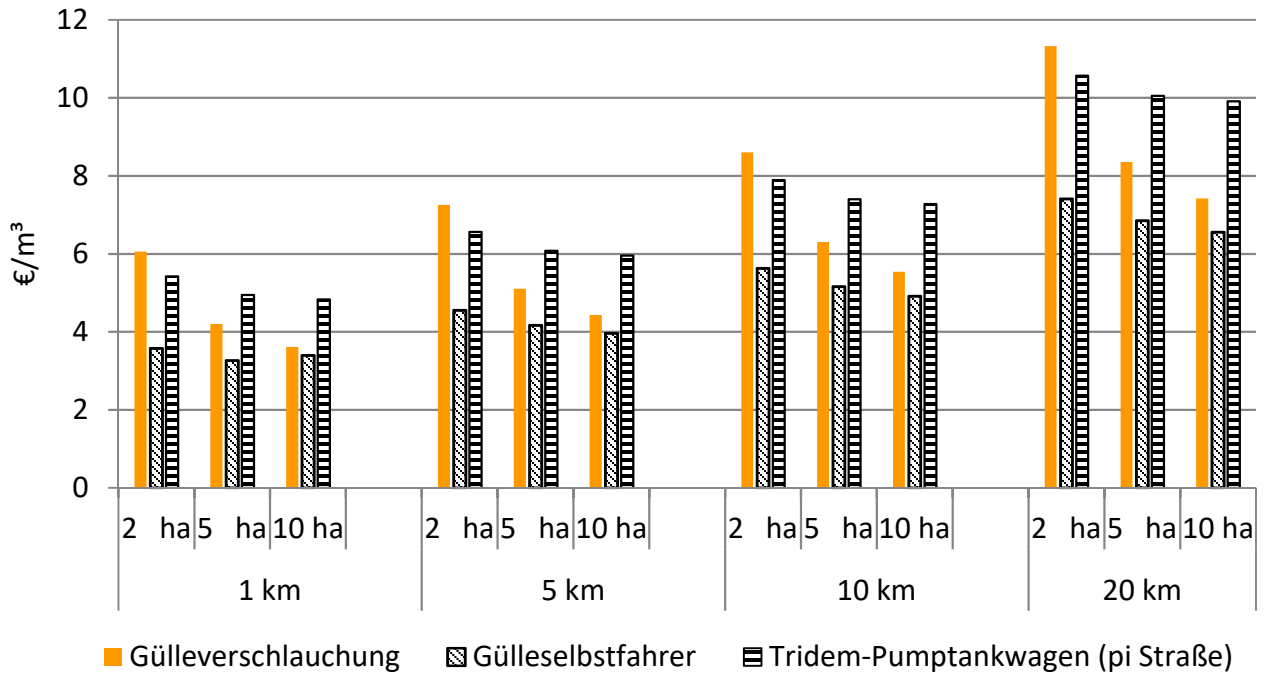

Abbildung 12: Kosten für verschiedene Verfahren zur Ausbringung und Einarbeitung von Wirtschaftsdünger (für Details s. Text) nach Schlaggröße (ha) und Feld-Hof-Entfernung (km)

Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage KTBL

Die Gülleverschlauchung war bei einer Schlaggröße von 2 ha die teuerste Variante. Bei zunehmender Schlaggröße überstiegen die Kosten des Tridem-Pumptankwagens die der

[14] Inbegriffen sind Fixe und Variable Maschinenkosten, Kraftstoffverbrauch mit 0,75 €/l Diesel, und Lohnkosten mit 20€ Lohnsatz dauerhaft Beschäftigte und 11 € Lohnsatz Saisonarbeitskräfte

Gülleverschlauchung. In allen Szenarien war die Variante mit dem Gülleselbstfahrer die günstigste. Die relative Vorzüglichkeit des Gülleselbstfahrers gegenüber dem Tridem-Pumptankwagen ist durch die Zusammenlegung der Arbeitsschritte Ausbringung und Einarbeitung zu erklären. Die separate Einarbeitung mit dem Güllegrubber macht bei dem Verfahren mit dem Tridem-Pumptankwagen zwischen 20 % (10 ha Schlaggröße, 20 km Feld-Hof-Entfernung) und 40 % (2 ha Schlaggröße, 1 km Feld-Hof-Entfernung) der Kosten aus. Die Kosten des Gülleselbstfahrers setzen sich weiterhin aus der Asubringung und dem Transport der Wirtschaftsdünger zum Feld zusammen. Die Kosten pro Hektar sinken für die Ausbringung mit steigender Schlaggröße, da sich einmalige Arbeitsschritte wie die Anfahrt oder fixe Maschinenkosten auf mehr Fläche verteilen. Für die Ausbringug (Anfahrt) und den Transport steigen die Kosten mit zunehmender Feld-Hof-Entfernung. Hierbei fällt der Transport mit einer Zunahme um rund 68 % (von 1 auf 5 km Feld-Hof-Entfernung) und um rund 50 % (von 10 auf 20 km Feld-Hof-Entfernung) besonders ins Gewicht. Die gleichen Mechanismen wirken bei der Kostenbildung der Gülleverschlauchung, da hier auch die Ausbringung und der Transport mit unterschiedlichen Fahrzeugen stattfinden.

Den geringeren Ausbringekosten stehen die hohen Anschaffungskosten von ca. 415.000 €[15] (KTBL 2018) für die Verschlauchungstechnik (Feldrandcontainer + Gülleverschlauchung + Schleppschlauchverteiler + Traktor) im Gegensatz zu rund 340.000 € für den Selbstfahrer (Kowalewsk & Gers-Grapperhaus, 2012) gegenüber. Auch das Verfahren mit dem Tridem-Pumptankwagen (Pumptankwagen + Schleppschlauchverteiler + Traktor) erfordert hohe Investitionen von ca. 376.000 €[16] (KTBL 2018). Die Anschaffungskosten für die Einarbeitungstechnik sind hier nicht inbegriffen, da sie für alle drei Varianten gleich sind. Weiterhin wurden die Anschaffungskosten für die Gülleverschlauchung und das Tridem-Tandemfass inklusive Traktor gerechnet, auch wenn dieser eventuell schon auf denem Betrieb vorhanden ist und auch für weitere Arbeiten genutzt wird.

Die Gesamtkosten für die Ausbringung mit der Gülleverschlauchung, als bodenschonendste Variante, ergeben sich aus dem Straßentransport des Wirtschaftsdüngers vom Hof zum Feld, der Ausbringung auf dem Feld, der Einarbeitung und dem Aufstellen des Feldrandcontainers am Feldrand (Abbildung 13).

[15] 238.000 € ohne Traktor

[16] 121.000 € ohne Traktor

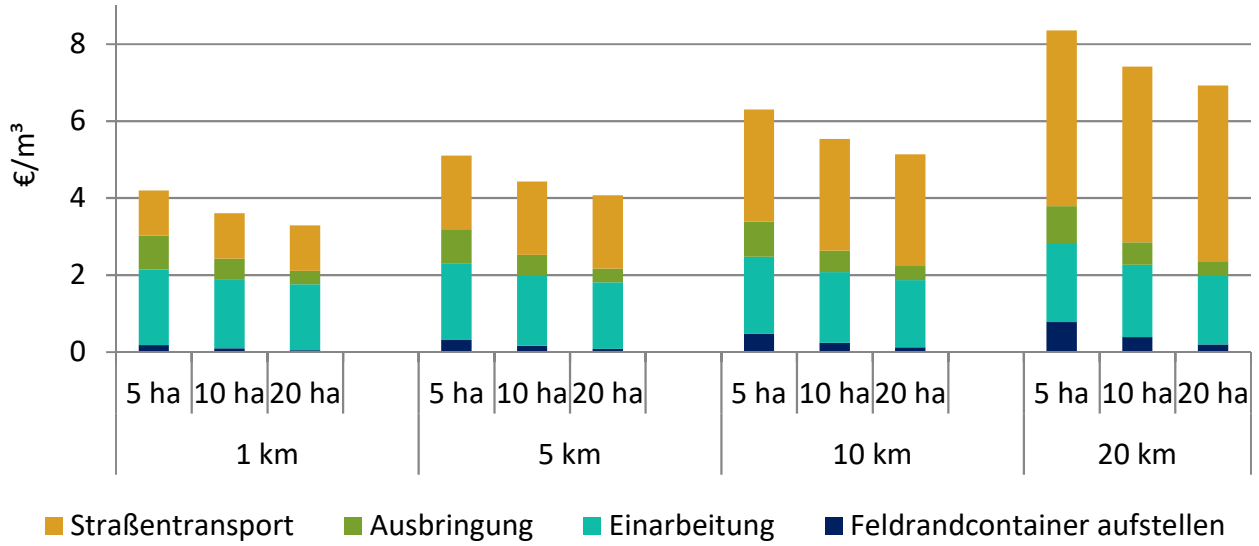

Abbildung 13: Anteile der verschiedenen Arbeitsgänge an den Kosten für die Ausbringung mit Gülleverschlauchung nach Schlaggröße (ha) und Feld-Hof-Entfernung (km)

Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage KTBL

Die Kosten für den Straßentransports und die Aufstellung des Feldrandcontainers hängen direkt mit der Feld-Hof-Entfernung zusammen und steigen mit dieser. Gleiches gilt in geringerem Maße für die Kosten der Ausbringung und der Einarbeitung auf Grund der Anfahrtskosten. Die Kosten für die Aufstellung des Feldrandcontainers nehmen mit zunehmender Schlaggröße ab, da es sich hierbei um einen einmaligen Arbeitsgang handelt. Auch bei der Ausbringung und Einarbeitung sind einmalige Arbeitsschritte wie Rüsten oder Fahrt zum Feld beinhaltet, die bei steigender Schlaggröße weniger ins Gewicht fallen und daher zu sinkenden Kosten bei steigender Schlaggröße führen. Der Straßentransport nimmt marginal zu, da sich zusätzliche Fahrten für die Befüllung des Feldrandcontainers durch die zusätzliche Flächenleistung weitgehend ausgleichen. Neben der Feld-Hof-Entfernung und Schlaggröße beeinflussen weitere Größen wie die Arbeitsbreite, das Fassungsvermögen (Feldrandcontainer und Pumptankwagen oder LKW für den Transport) oder die Fahrgeschwindigkeit die Kosten (vgl. hierzu z.B. Amon, 2008). Die Gesamtfläche, die gedüngt werden soll, die ausgebrachte Menge pro Hektar und die zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage bestimmen weiterhin, ob die gegebenen Maschinenkapazitäten für die zu verrichtende Arbeit ausreichen und in welcher Zeit sich die Investition in die Gülleverschlauchung amortisieren. Dies macht die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern zu einer komplexen Planungsanforderung, vor allem bei Neuinvestitionen in Ausbringetechniken. Landwirt*innen stehen dabei verschiedene Optionen zur Verfügung die im Einzelfall hinsichtlich ihrer Eignung betriebsspezifisch bewertet werden müssen.

5 Diskussion der Ergebnisse

Die dargestellten Ergebnisse wurden in einem weiteren Workshop mit Vertreter*innen aus Landwirtschaft, Lohnunternehmen und Industrie vorgestellt und diskutiert. Besonders kritisch wurde der Kostenvergleich diskutiert. Die Teilnehmenden konnten aus ihrer subjektiven Erfahrung nicht bestätigen, dass die Gülleverschlauchung ab ca. 2 ha Schlaggröße günstiger ist als ein Tandem- oder Tridem-Güllefass. Ein Teilnehmer beschrieb diese Verfahrensvariante als „Theoriekonstrukt". Hier scheint es zwischen der theoretischen Berechnug der Kosten und den tatsächlichen anfallenden Kosten in der Praxis eine Diskrepanz zu geben. Diese kann durch die Datengrundlage erklärt werden. Das KTBL rechnet stets an der Auslastungsschwelle[17] der beteiligten Maschinen. Die Kosten steigen jedoch mit sinkender Auslastung (Tabelle 1).

Tabelle 1: Maschinenkosten für Komponenten der Gülleverschlauchung in Abhängigkeit vom Einsatzumfang bei einer Ausbringemenge von 20 m³/ha und geplanter Nutzungsdauer des Feldrandcontainers von 15 Jahren bzw. 10 Jahre für die Gülleverschlauchung.

Feldrandcontainer	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*
Einsatzumfang m³/a	26.667	20.000	10.000	4.000	2.000
Einsatzumfang ha/a	1333	1000	500	200	100
Kosten €/m³	0,1	0,2	0,2	0,5	0,9
Gülleverschlauchung					
Einsatzumfang m³/a	30.000	20.000	10.000	4.000	2.000
Einsatzumfang ha/a	1500	1000	500	200	100
Kosten €/m³	0,6	0,9	1,5	3,4	6,6

Quelle: Eigene Berechnung, Datengrundlage KTBL

Um die angegebenen Kosten an Auslastungsschwelle verwirklichen zu können, muss der Feldrandcontainer mit 1333 ha/a und die Gülleverschlauchung mit 1500 ha/a ausgelastet werden. Bei sinkender Auslastug steigen die Kosten deutlich an. Für einen Betrieb, der beispielsweise 100 ha pro Jahr mit der Gülleverschlauchung düngt, steigen die Kosten um ein Vielfaches von 0,70 €/ha auf 7,50 €/ha (Container + Verschlauchung, 6,60 € + 0,90 €). Diese können selbst durch eine Erhöhung der Nutzungsdauer auf 50 Jahre nicht ausgeglichen werden.
Weiterhin sind nicht mit einbezogen die Rüstzeit, nämlich das Auslegen des Schlauches, die anschließende Reinigung und das Aufrollen. Je nach Erfahrung, Schlauchlänge und Schlaggröße kann diese zwischen 45-60 Minuten liegen. Zudem wird teilweise mit zwei Personen gearbeitet:

[17] Jährlicher Einsatzumfang eines Gebrauchsgutes, bei dem das Nutzungspotenzial, sowohl in Jahren als auch in Nutzungseinheiten gemessen, vollständig verbraucht wird (= Nutzungspotenzial in Nutzungs-einheiten : Nutzungspotenzial in Jahren) (KTBL 2013)

eine Person auf dem Feld für die Gülleausbringung, die zweite am Feldrand zur Bedienung der Pumpe oder zum Umstellen des Containers (Möller Agrarmarketing 2019; Fick-Haas 2015). Das KTBL rechnet jedoch mit nur einer Arbeitskraft. Schlussendlich wird ein isolierter Verfahrensvergleich auf Schlagebene mit standartisierten Zahlen den komplexen Zusammenhängen und vielfältigen Einflussgrößen auf die tatsächlichen Kosten in der vorgenommenen Form nicht gerecht. Bisher fehlt eine systematische Untersuchung zum Vergleich unterschiedlicher Verfahren auf Praxisbetrieben.
Daher kann den Zweifeln von Praktiker*innen nur bedingt etwas entgegengestellt werden. Um dennoch eine praxisnähere Enschätzung der Kosten vornehmen zu können, ist ein Verfahrensvergleich auf Betriebsebene, der unterschiedliche Produktionsverfahren und Betriebsstrukturen integriert und sowohl die Rüstzeit als auch eine weitere Arbeitskraft berücksichtigt, unabdingbar.

Die hier erzielten Ergebnisse zeigen jedoch deutlich, dass die Variante mit der Gülleverschlauchung eher ein Verfahren für die überbetriebliche Nutzung ist. Als Verfahren durch Lohnunternehmen oder als Güllegemeinschaft durchgefürt, können die erforderlichen Auslastungen erreicht werden, sodass eine relative ökonomische Vorzüglichkeit beispielsweise gegenüber einem Tridem-Pumptankwagen erreicht werden kann.

Hinsichtlich der Varianten mit dem Tridem-Pumptankwagen und der Gülleverschlauchung gilt weiterhin zu beachten, dass sich durch die Zusammenlegung der Arbeitsschritte Ausbringung und Einarbeitung geringere Kosten ergeben. Auch bei der Variante mit dem Tridem-Pumtankwagen ist eine Zubringung der Wirtschaftsdünger ans Feld möglich, was sich weiter auf die Kosten auswirkt. Weitere Ausführungen zu Verfahrensvergleichen mit unterschiedlichen Ausbringe-, Lagerungs- und Transporttechniken sind beispielsweise in Schleicher (2011) oder Amon et al. (2008) zu finden.

6 Fazit und Ausblick

Für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern im Frühjahr zeigte sich seitens von Landwirt*innen in den aufnehmenden Regionen Niedersachsens große Unsicherheit bezüglich jährlich wechselnder Witterungsbedingungen sowie bezüglich der Kosten für bodenschonendes Ausbringen. Dies wirkt sich investitionshemmend aus. Gemeinsam führen beide Faktoren (und andere, z. B. Entwicklung der politischen Rahmenbedingungen und deren Umsetzung) dazu, dass Landwirt*innen in den Ackerbauregionen momentan bevorzugt keinen Wirtschaftsdünger aus den abgebenden Regionen aufnehmen. Statt dessen wird auf mineralische Düngemittel zurückgegriffen. Die begrenzte Aufnahme von Wirtschaftsdüngern in Ackerbauregionen führt zu einem weiter ansteigenden Kostendruck für die Tierhaltung in den Veredelungsregionen. Um Probleme des Bodenschutzes bei der Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger im Frühjahr zu vermeiden, ist die Gülleverschlauchung eine vielversprechende technische Option. Angesichts der hohen Kosten und der bisher geringen Akzeptanz ist die Forschung gefordert, den ökonomischen Nutzen aus der

Gülleverschlauchung zu monetarisieren und damit besser sichtbar und bewertbar zu machen. Folgende Aspekte kommen dabei in Betracht: Weniger Aufwand bei der Abmilderung von Verdichtungserscheinungen (z. B. durch Tiefenlockerung mit anschließender biologischer Stabilisierung mittels Tiefwurzler), positive Ertragseffekte, Ausweitung und bessere Kalkulierbarkeit der Einsatztage und damit Rentabilitätsvorteile. Dies würde zu einer effektiven Akzeptanzsteigerung führen. Weiterhing kann die Akzeptanz in den Ackerbaubetrieben und die Aufnahmebereitschaft durch Anreize und veränderte Rahmenbedingungen gestärkt werden. Hierzu gehört auch Beratung, denn durch bodenschonende Technik entstehen sowohl neue Handlungsspielräume, als auch Möglichkeiten für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, ohne den Boden zu schädigen.

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) schlägt in den „Eckpunkten des Bodenschutzes für die Gemeinsame Agrarpolitik der EU nach 2020“ sowohl für die 1. Säule eine „Hektar-bezogene Förderung des Einsatzes standortangepasster Landtechnik für bodenschonende Bearbeitung“, als auch für die 2. Säule „Agrarinvestitionsförderprogramme für die Anschaffung bodenschonender Landtechnik“ vor (Böhm et al., 2018). Hierunter könnten beispielsweise die Gülleverschlauchung, Reifendruckverstellanlagen oder eine bodenschonende Bereifung fallen. Die Investition in die Gülleverschlauchung ist für einzelne Betriebe aufgrund der mangelnden Auslastung meißt unrentabel. Bei der Anpassung der Auslastung zeigt sich, dass die Gülleverschlauchung eher eine überbetriebliche Alternative darstellt, da bei einer zu düngenden Fläche von z. B. 100 ha diese Variante ökonomisch nicht wirtschaftlich ist. Für eine Güllegemeinschaft oder einen Lohnunternehmer kann sie durchaus lohnenswert sein, wie Praxiserfahrungen zeigen (Fick-Haas, 2015). Hier kann die Beratung ansetzen und beispielsweise Hilfestellungen bei der Gründung von Güllegemeinschaften oder der betriebsspezifischen Eignungsbewertung unterschiedlicher bodenschonender Verfahrensvarianten geben. Für eine praxisnahe Kalkulation der Kosten muss jedoch eine gesamtbetriebliche Betrachtung stattfinden und vor allem die entsprechende Maschienenauslastung beachtet werden. Da Lohnunternehmen von den Agrarinvestitionsförderprogrammen ausgeschlossen sind, könnten solche überbetrieblichen Lösungen besser durch eine flächenbezogene Prämie und die Förderung von Kooperationen zur Wirtschaftsdüngerverwertung gefördert werden. Eine einzelbetriebliche Investitionsförderung für verbesserte Gülletechnik könnte dagegen dazu führen, dass in weniger bodenschonende Technik investiert wird.

Trotz Jahrzehnten internationaler Forschung im Bereich Bodenverdichtung in der Landwirtschaft, stehen Landwirt*innen aktuell nur eingeschränkt daten- und/oder computergestützte Bewertungsmethoden zur Befahrbarkeit zur Verfügung. Nach wie vor ist die zu empfehlende Methode zur Bewertung der aktuellen Befahrbarkeit das physische Aufsuchen des Ackers und die visuelle und haptische Bewertung durch die Landwirt*innen. Diese Bewertung ist allerdings von der Erfahrung und dem Kenntnisstand der durchführenden Personen abhängig. Besonders wenn Arbeitsgänge von Lohnunternehmen durchgeführt werden, kann der Mangel an objektiven, datengestützten Bewertungsmethoden problematisch sein. Anleitungen zu den visuell/haptischen Methoden stehen über verschiedene Institutionen online zur Verfügung (BMEL, Thünen, LWK, Landesämter). Zu evaluieren bleibt, wie verbreitet die Anwendung ist und was mögliche

Hindernisse bei der Anwendung sind, um diese zu überwinden. Ein Problem bei der überbetrieblichen Verwertung von Wirtschaftsdünger und mehr noch bei der überregionaler Verbringung ist es, bei der Planung und Umsetzung der Ausbringung zeitnah Kriterien zur Beurteilung der Befahrbarkeit zu berücksichtigen.

Um den gestiegenen Anforderungen sowohl hinsichtlich des Bodenschutzes als auch hinsichtlich der Koordination der Verbringung gerecht zu werden, ist ein Kommunikationstool notwendig, das beides vereint. In dieses Tool müssen Bodendaten und Wetterprognosen so integriert werden, dass die Befahrbarkeit einzelner Flächen mit verschiedenen Maschinenvarianten und -Konfigurationen der kommenden 1-3 Tage für alle Beteiligten ersichtlich werden (Abbildung 14). Bei den Beteiligten handelt es sich um Landwirt*innen in den aufnehmenden Regionen und die abgebenden Akteure, wie Biogasanlagen, Lohnunternehmen, Transportunternehmen, landwirtschaftliche Betriebe oder Vermittler (LWK, 2018).

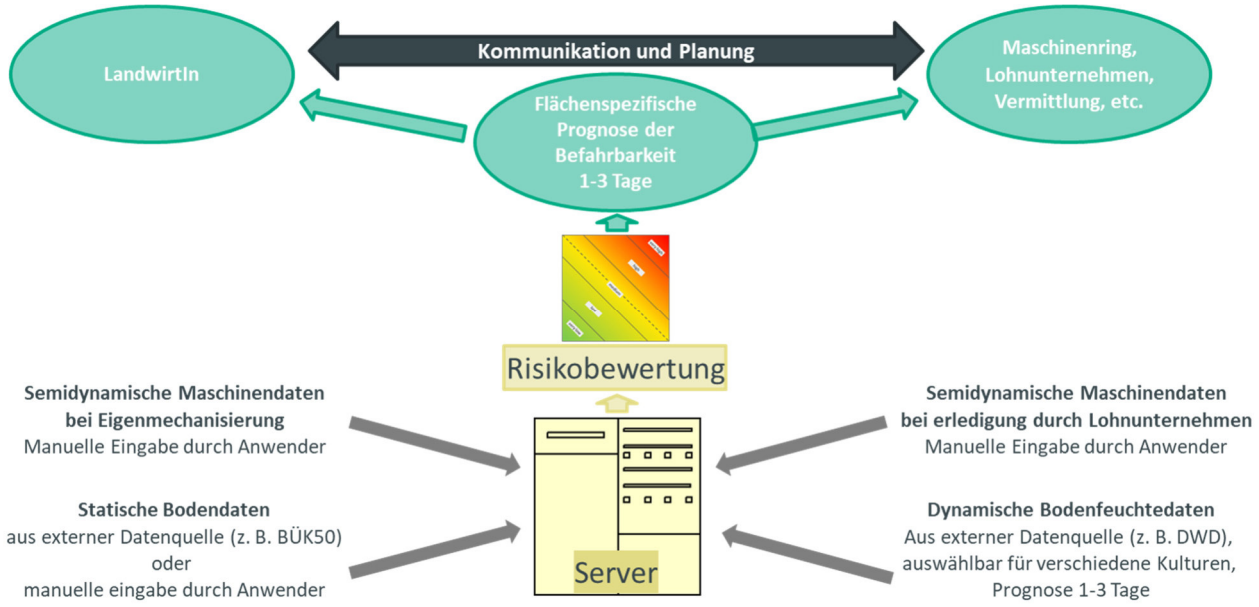

Abbildung 14: Schema zum Kommunikationstool „Befahrbarkeit“

Quelle: Eigener Entwurf

Solch ein Tool ermöglicht es den abgebenden Akteuren, in Rücksprache mit den aufnehmenden Akteuren die Verbringung effektiv zu planen und gezielt Regionen und Flächen zu beliefern und anzufahren, für die eine Befahrbarkeit prognostiziert ist. Gleichzeitig ist mit dem Tool bekannt, unter welchen Umständen (z. B. angepasster Reifeninnendruck, breite Bereifung oder Gülleverschlauchung) eine bodenschonende Ausbringung gewährleistet werden kann. Daraufhin können Landwirt*innen oder das beauftragte Lohnunternehmen die Arbeitsorganisation entsprechend planen. Als Beitrag zur Akzeptanzsteigerung unter den aufnehmenden Akteuren können so Unsicherheiten abgebaut und sowohl das überregionale Nährstoffmanagement als auch der Bodenschutz verbessert werden. In dem BMBF -geförderten Projekt SOILAssist wird an der Entwicklung eines derartigen Tools gearbeitet. Eine PC-Anwendung nach Lorenz et al. 2016 wird zurzeit entwickelt.

7 Literatur

AG Boden – Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005). Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage. Hrsg. von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland, Hannover, in Kommission. E. Schweizerbart´sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Alakukku, L. (2000). Response of annual crops to subsoil compaction in a field experiment on clay soil lasting 17 years. In R. Horn, J. J. H. van den Akker & J. Arvidsson (Eds.), *Advances in Geoecology. Subsoil compaction: Distribution, processes and consequences* (Vol. 32, pp. 205-208). Reiskirchen.

Amon, T. (2008). Optimierung der Beschaffungs- und Distributionslogistik bei großen Biogasanlagen Wien. Universität für Bodenkultur Wien Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Landtechnik.

Arvidsson, J., Håkansson, I. (1991). A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. *Soil and Tillage Research, 20*(2), 319-332. DOI: https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90046-Z.

BMLFUW – Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2012). Richtlinien für die sachgerechte Bodenrekultivierung land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen.

Böhm, P., Düwel, O., Groth, A., Hakemann, O., Kasten, H., Raffelsiefen, M., Straßburger, T., Utermann, J. (2018). Bodenschutz in der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) nach 2020 „Eckpunkte des Bodenschutzes für die Gemeinsame Agrarpolitik der EU nach 2020“. Magdeburg: LABOBund/Länder - Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz.

Brunotte, J., Brandhuber, R., Vorderbrügge, T., Schrader, S. (2015). Vorsorge gegen Bodenverdichtung. *Gute fachliche Praxis - Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz, 2*, 21-73.

Brunotte, J., Vorderbrügge, T., Nolting, K., Sommer, C. (2011). Teil IV: Ein praxisorientierter Lösungsansatz zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen. *Landbauforschung vTI Agriculture and Forestry Research, 61*(1), 51-70.

Défossez, P., Richard, G., Boizard, H., O'Sullivan, M. F. (2003). Modeling change in soil compaction due to agricultural traffic as function of soil water content. *Geoderma, 116*(1), 89-105. DOI: https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00096-X.

Diserens, E., Battiato, A. (2013). TASC V3.0 – Prognose Bodengefährdung und Treibstoffverbrauch. ART-Berichte, 766. ISSN 1661-7568.

Diserens, E., Spiess, E. (2004). Wechselwirkung zwischen Fahrwerk und Ackerbode - TASC: Eine PC-Anwendung zum Beurteilen und Optimieren der Bodenbeanspruchung. FAT-Berichte, 613. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon.

Feldwisch, N., Friedrich, C. (2016). Schädliche Bodenverdichtung vermeiden (Vol. 10). Landesamt für Umwelt, Landwirtschafts und Geologie Freistaat Sachsen.

Fick-Haas, V. (2015). Schlauch statt Fass. *Maschinenring-Magazin, 04*.

Fick-Haas, V. (2015). Verschlauchen: Komplett anderes Güllefahren. *Landtechnik BLW, 18*.

Fröba, N. (2019. Kosten verschiedener Verfahren zur Gülleausbringung (unveröffentlichte Daten). KTBL.

Groß, M. (2011). *Handbuch Umweltsoziologie*. Springer-Verlag.

Hofstetter, M., Uhlenhaut, T., Buschmann, H. (2018). Gülleflut in Niedersachsen stoppen! Verbände fordern Masterplan für sauberes Grundwasser, Flüsse und die Nordsee BUND, Greenpeace, NABU.

Horn, R. (2011). Bodenverdichtung. In H.-P. Blume, R. Horn & B. Thiele (Eds.), *Handbuch des Bodenschutzes: Bodenökologie und –belastung/Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen* (4 ed.). Weinheim. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Horn, R., Domżżał, H., Słowińska-Jurkiewicz, A., van Ouwerkerk, C. (1995). Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil and Tillage Research, 35*(1–2), 23-36. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(95)00479-C.

Jones, R. J., Spoor, G., Thomasson, A. (2003). Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis. *Soil and Tillage Research, 73*(1), 131-143. DOI: https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00106-5.

Kowalewsk, H.-H., Gers-Grapperhaus, Chr. (2012). Maschinenvorführung. Organische Düngung - Ausbringung von Gülle und Festmist. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Nortrup. https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/348/article/20275.html (zuletzt abgerufen am 04.08.2020).

Kreß, Klaus. (2015). Gülle in neuen Schläuchen. *Top agrar Südplus* (03).

KTBL (2013). Glossar. Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Fachbegriffe. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt.

KTBL (2018). MaKost. https://daten.ktbl.de/makost/#notLoggedInInfo?language=de-DE (zuletzt abgerufen am 12.06.2018).

Lassen, P., Lamandé, M., Stettler, M., Keller, T., Jørgensen, M. S., Lilja, H., Alakukku, L, Pedersen , JSchjønning, P. (2013). Terranimo®-A Soil Compaction Model with internationally compatible input options. Paper presented at the Efita-wcca-cigr Conference "Sustainable Agriculture through ICT Innovation", Turin, Italy.

Laubenbacher agrar (o.J.). Gülleverschlauchung - nährstoffeffizient, bodenschonend und kostensparend. http://www.laubenbacher-agrar.de/leistungen/guelleverschlauchung/ (zuletzt abgerufen am 08.08.2017).

Lorenz, M., Brunotte, J., Vorderbrügge, T., Brandhuber, R., Koch, H.-J., Senger, M., Fröba, N., Löpmeier, F.-J. (2016). Anpassung der Lasteinträge landwirtschaftlicher Maschinen an die Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens - Grundlagen für ein bodenschonendes Befahren von Ackerland. *Landbauforschung 66*(2), 101-144.

LWK (2018). Nährstoffbericht für Niedersachsen 2016/2017. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg.

Marbot, B., Fischler, M., Küng, J. (2014). Bodenverdichtung vermeiden – so funktioniert's! Lindau. AGRIDEA.

Möller Agrarmarketing (2019). Gülle Check Gülleverschlauchung (Excel-Anwendung). Möller Agrarmarketing.

Osterburg, B., Techen, A. (2012). Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung. Thünen-Institut für Ländliche Räume, Braunschweig.

Schjønning, P., Lamandé , M., Keller, T., Pedersen, J., Stettler, M. (2012). Rules of thumb for minimizing subsoil compaction. *Soil Use and Management, 28*(3), 378-393. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00411.x.

Schjønning, P., Lamandé, M., Munkholm, L. J., Lyngvig, H. S., Nielsen, J. A. (2016). Soil precompression stress, penetration resistance and crop yields in relation to differently-trafficked, temperate-region sandy loam soils. *Soil and Tillage Research, 163*, 298-308. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.003.

Schleicher, Roland (2011): Gülle-und Gärresttransport (Teil 2) Verfahrensalternativen. Arbeitsgruppe II (Substratbereitstellung) im „Biogas Forum Bayern“.

Soane, B. D., Ouwerkerk, C. v. (1994). Soil compaction problems in world agriculture. In B. D. Soane & C. v. Ouwerkerk (Eds.), *Soil compaction in crop production* (pp. 1-21).

Stettler, M., Keller, T., Weisskopf, P., Lamandé, M., Lassen, P., Schjønning, P. (2014). Terranimo® – ein webbasiertes Modell zur Abschätzung des Bodenverdichtungsrisikos. *Landtechnik, 69*(3), 132-138.

Stoessel, F., Sonderegger, T., Bayer, P., Hellweg, S. (2018). Assessing the environmental impacts of soil compaction in Life Cycle Assessment. *Science of The Total Environment, 630*, 913-921. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.222.

van den Akker, J. J. H., Canarache, A. (2001). Two European concerted actions on subsoil compaction. *Landnutzung und Landentwicklung, 42*(1), 15-22.

Zapf, R. (1997). Mechanische Bodenbelastung durch die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion in Bayern: Flächenbezogene Quantifizierung des bewirtschaftungsbedingten Bodenverdichtungspotentials auf Ackerland: Flächenbezogene Quantifizierung des bewirtschaftungsbedingten Bodenverdichtungspotentials auf Ackerland. *Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 19*.

Bisherige Veröffentlichungen

2020/2 Siebert. Energy Crops and Erosion Control in Germany in the Context of the Bioeconomy Strategy.
DOI: 10.20387/BonaRes-TZKG-FNRC

2020/1 Wiesemeier et al. CO2-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen.
DOI: 10.20387/BonaRes-F8T8-XZ4H

2019/6 Hoffmann et al. Data Standards for Soil- and Agricultural Research
DOI: 10.20387/BonaRes-ARM4-66M2

2019/5 Techen & Helming. Policy goals as reference points for interdisciplinary soil research
DOI: 10.20387/BonaRes-52TA-02M9

2019/4 Paul & Helming. Handbook of Soil-Related Impact Assessment.
DOI: 10.20387/BonaRes-6DJM-E22M

2019/3 Gerdes et al. Workshop-Protokoll: Den Unterboden nutzen, um auf Trockenperioden besser vorbereitet zu sein - Eine Akzeptanzanalyse von Maßnahmen zur Aufwertung des Unterbodens
DOI: 10.20387/BonaRes-W02N-H27N

2019/2 Grosse et al. Fact Sheet for the Description of Long-Term Field Experiments / Steckbrief zur Beschreibung von Dauerfeldversuchen
DOI: 10.20387/BonaRes-R56G-FGRW

2019/1 Stein et al. Report on available soil data for German agricultural areas.
DOI: 10.20387/BonaRes-CD4Q-1PEM

2018/3 Schucknecht et al. (Eds.) SUSALPS Conference 2018 - Book of Abstracts.
DOI: 10.20387/BonaRes-R0P3-X8GN

2018/2 Hoffmann et al. Overview of relevant standards for the BonaRes-Program.
DOI: 10.20387/BonaRes-9D25-0D93

2018/1 Schneider et al. Grünlandwirtschaft & Klimawandel. Zusammenfassung des Runden Tisches vom 18. Juli 2017 in Garmisch-Partenkirchen.
DOI: 10.20387/BonaRes-HV15-M61E

2017/3 Gärtner et al. The BonaRes Metadata Schema.
DOI: 10.20387/BonaRes-5PGG-8YRP

2017/2 Hoffmann et al. Overview of relevant standards for the BonaRes-Program.
DOI: 10.20387/BonaRes-FK84-PCR9

2017/1 Svoboda, N., Heinrich, U. The BonaRes Data Guideline.
DOI: 10.20387/BonaRes-E1AZ-ETD7

BONARES

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

BonaRes Series

In der BonaRes Series werden verschiedene Formate zur Förderinitiative „Boden als nachhaltige Resource für die Bioökonomie - BonaRes" des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) veröffentlicht. Im Fokus von BonaRes steht die nachhaltige Nutzung der Böden als begrenzte Ressource. BonaRes erweitert das gesicherte Wissen in Bezug auf das System Boden für Wissenschaftler*innen und Entscheidungsträger*innen. Ziel ist es, die Produktivität und alle anderen Bodenfunktionen zu erhalten und zu verbessern sowie neue Strategien für ein nachhaltiges Bodenmanagement zu entwickeln.

Die BonaRes Series wurde im Rahmen des Projektes „Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie - BonaRes", Projekt „BonaRes (Modul B): BonaRes-Zentrum für Bodenforschung, Teilprojekte A, B" (Förderkennzeichen 031A608A, B) gefördert.

Erfahren Sie mehr über BonaRes: www.bonares.de

Senden Sie Ihr Manuskript zur Veröffentlichung an: info@bonares.de

BONARES

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung