Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 94 | Ausgabe 1

Mai 2016

Agrarwissenschaft

Forschung

Praxis

Herausgegeben vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

http://buel.bmel.de

ISSN 2196-5099

Berichte über Landwirtschaft
Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

Anwendung von organischen Düngern und organischen Reststoffen in der Landwirtschaft

1 Veranlassung

Organische Dünger und organische Reststoffe leisten einen entscheidenden Beitrag für die Humusreproduktion von Böden und das Recycling von Pflanzennährstoffen. Im Hinblick auf deren Anfall und Nutzung sind in den vergangenen Jahren zwei gegenläufige Trends festzustellen. Einerseits hat das Volumen der in der Landwirtschaft anfallenden und der in die Landwirtschaft eingetragenen organischen Dünger regional stark zugenommen, andererseits hat sich gleichzeitig eine starke außerlandwirtschaftliche Nachfrage nach bisher für den Humusersatz genutzter Biomasse entwickelt.

Der zunehmende Anfall organischer Dünger ist (i) auf die regionale Ausweitung der Tierhaltung sowie (ii) die Zunahme der Biomassevergärung in Biogasanlagen mit entsprechendem Anfall an Gärresten zurückzuführen. Zudem werden organische Reststoffe aus der Abwasserreinigung sowie aus Industrie- und Hausabfällen der pflanzenbaulichen Verwertung zugeführt. Für eine Anwendung in der Landwirtschaft unter dem Aspekt einer ordnungsgemäßen Düngung im Sinne des Düngegesetzes und der Düngeverordnung sind besonders problematisch:

- die lokale und regionale Konzentration der Tierhaltung und der Biogasproduktion, die dazu führt, dass der betriebliche, lokale und regionale Nährstoffanfall den Bedarf häufig überschreitet,
- der daraus folgende zunehmende Zwang einer überbetrieblichen oder überregionalen Verwertung, woraus sich auch für Wirtschaftsdünger erhöhte seuchen- und phytohygienische Risiken ergeben, sowie
- die Belastung organischer Dünger und organischer Reststoffe mit anorganischen und organischen Schadstoffen.

Die zunehmende außerlandwirtschaftliche Nachfrage nach Biomasse ist vor allem auf die stofflichen und energetischen Verwertungsmöglichkeiten von Stroh zurückzuführen. Der Entzug von Stroh aus dem landwirtschaftlichen Stoffkreislauf ist dann problematisch, wenn (i) kein ausreichender Humusersatz stattfindet oder (ii) mit dem vermehrten Ausbringen von alternativen Humusersatzdüngern Schadstoffe in die Böden gelangen.
Ziel dieser Stellungnahme ist es, den nationalen und regionalen Bedarf von Stickstoff, Phosphat und Kalium sowie von organischem Kohlenstoff für den Humusersatz abzuschätzen und dem nationalen und regionalen Anfall dieser Stoffe mit organischen Düngern und organischen Reststoffen gegenüberzustellen. Dabei soll eine Bewertung der organischen Dünger und organischen Reststoffe im Hinblick auf Nährstoffgehalte und Nährstoffverfügbarkeit, Schadstoffgehalte, Nähr- und Schadstofffrachten sowie hygienische Risiken bei der landwirtschaftlichen Verwertung vorgenommen werden. Auf der Basis des geschätzten Bedarfs, des Anfalls und der Bewertung von Nutzen und Risiken sollen Nutzungsempfehlungen für Landwirtschaft, Verwaltung, Politik und Rechtsetzung abgeleitet werden.

2 Berücksichtigte Stoffgruppen

Für die Stellungnahme wurden die folgenden Stoffgruppen berücksichtigt:

- Stalldung (Rind, Schwein, Geflügel, Schaf, Ziege, Pferd)
- Jauche (Rind)
- Gülle (Rind, Schwein, Geflügel)
- Hühnertrockenkot
- Gärreste aus Biogasanlagen (Biogasgülle)
- Bioabfallkompost
- Grüngutkompost
- Klärschlamm
- Tierische Nebenprodukte (Fleischknochenmehl, Fleischmehl, Blutmehl)
- Pflanzliche Nebenprodukte (Vinasse, Kartoffelfruchtwasser, Schlempe)
- Pflanzliche Biomasse zur Stroh- / Gründüngung (Ernterückstände oder Koppelprodukte: Getreidestroh und Rübenblatt; Gründüngung)

Die genannten Stoffgruppen decken den weitaus größten Teil des Anfalls organischer Dünger und organischer Reststoffe ab. Auf eine Erweiterung der Stoffliste wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit und der Unsicherheit der Datenlage verzichtet.

3 Bedarf und Anfall von Nährstoffen und organischem Kohlenstoff für die Humusreproduktion in der deutschen Pflanzenproduktion

3.1 Nationale Betrachtung

Bei der Berechnung des **Nährstoffbedarfs** (Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K)) wurde auf der Grundlage der aktuellen Anbaustatistiken (Statistisches Jahrbuch, 2014) unterstellt, dass sich mittelfristig ein Düngebedarf entsprechend der Nährstoffaufnahme (Ernte- und Koppelprodukte) der verschiedenen Kulturen ergeben wird. Dem wurde der Nährstoffanfall mit den oben genannten organischen Düngern, den Koppelprodukten aus der Pflanzenproduktion sowie dem Anbau humusmehrender Früchte und von Pflanzen zur Gründüngung (N-Fixierung durch Leguminosen) gegenübergestellt. Tabelle 1 zeigt, dass unter Berücksichtigung aller Stoffgruppen rechnerisch etwa 91 Prozent des N-Bedarfs, 71 Prozent des P-Bedarfs und 76 Prozent des K-Bedarfs der deutschen Pflanzenproduktion in den anfallenden organischen Düngern und organischen Reststoffen enthalten sind, wobei allerdings die tatsächliche Wirksamkeit nicht berücksichtigt ist. Die mit Abstand wichtigsten Nährstoffträger sind die wirtschaftseigenen Dünger, die Gärreste aus Biogasanlagen sowie die Ernterückstände. Eine insgesamt eher geringe Rolle für den Nährstoffersatz spielen dagegen Kompost, Klärschlamm, die tierischen Nebenprodukte und vermutlich auch die pflanzlichen Nebenprodukte (keine verlässlichen Angaben verfügbar). In Bezug auf Klärschlamm ist festzustellen, dass die aktuell landwirtschaftlich verwertete Stoffmenge nur rund drei Prozent des potentiellen P-Bedarfs der deutschen Pflanzenproduktion deckt. Selbst die Nutzung des gesamten Klärschlammanfalls aus der öffentlichen Abwasserbehandlung (1,846 Millionen Tonnen Trockenmasse) für Düngungszwecke würde lediglich zu einer Deckung des P-Bedarfs von rund zehn Prozent beitragen.

Der nationale Bedarf an Kohlenstoff zur Humusreproduktion (Häq) in der deutschen Pflanzenproduktion wurde auf der Basis der Ackernutzung und des Humusreproduktionsbedarfs humuszehrender Fruchtarten geschätzt und dem Anfall mit organischen Düngern, Ernterückständen sowie humusmehrenden Früchten und Pflanzen zur Gründüngung gegenübergestellt.

Tabelle 1 zeigt insgesamt einen sehr deutlichen Überschuss an Humusäquivalenten in Deutschland. Der Humusbedarf kann zu etwa 71 Prozent mit den anfallenden Ernterückständen und zu knapp acht Prozent mit dem derzeitigen Anbau humusmehrender Früchte und Zwischenfrüchte gedeckt werden.

Die verbleibende Lücke kann mit Wirtschaftsdüngern und Gärresten aus Biogasanlagen mehr als gedeckt werden. Bei deren sehr hohem Anfall an Humusersatzstoffen (65 Prozent des Humusbedarfs der Ackerkulturen) muss allerdings berücksichtigt werden, dass ein Teil der wirtschaftseigenen Dünger auf Grünland eingesetzt wird.

Der Anteil von Kompost und Klärschlamm zur Deckung des Humusbedarfs ist insgesamt gering und macht derzeit nur etwa vier Prozent am gesamten Humusbedarf aus.

Tabelle 1: Nationaler Bedarf an Stickstoff, Phosphor und Kalium sowie an organischem Kohlenstoff zur Humusreproduktion (Häq) in der deutschen Pflanzenproduktion; Anfall dieser Stoffe mit organischen Düngern und humusmehrenden Früchten oder Zwischenfrüchten zur Gründüngung.

	N (1000 t)	P (1000 t)	K (1000 t)	Häq (x 1.000.000)
Bedarf[1]	**2833**	**533**	**2888**	**5860**
Anfall				
Wirtschaftsdünger[2]	1270	202	976	3086
Gärreste (mit Gülle)[3]	518	73	389	748
Kompost[4]	24	6	18	197
Klärschlämme[5]	22	16	1	44
tierische Nebenprodukte[6]	1531	9	1	k. A.
pflanzliche Nebenprodukte[7]	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Ernterückstände[8]	374	74	812	4189
humusmehrende Früchte[9]	191	–	–	444
Zwischenfrüchte zur Gründüngung[10]	24	–	–	112
Summe Anfall	**2576**	**380**	**2197**	**8820**
Anfall - Bedarf	**- 257**	**- 153**	**- 691**	**2960**

Anmerkungen:
1 *Schätzung des Bedarfs an Nährstoffen auf der Basis der Ackernutzung sowie der Grünlandnutzung in Deutschland (STATISTISCHES JAHRBUCH, 2014).*
Ackernutzung: Berücksichtigung aller Fruchtarten (einschließlich Gemüse, ohne Obst und Reben, insgesamt machen die berücksichtigten Fruchtarten 97 Prozent der ackerbaulich genutzten Fläche in Deutschland aus) und der Nährstoffaufnahme von Haupt- und Nebenprodukten (nach LLFG et al., 2008; LFL, 2012).
Grünlandnutzung: Aufteilung der Grünlandfläche nach Nutzungshäufigkeit entsprechend der jeweiligen

Flächenanteile in Bayern (HARTMANN et al., 2011), Multiplikation mit der mittleren Nährstoffabfuhr je nach Nutzungshäufigkeit von bayerischem Grünland (DIEPOLDER et al., 2014).
Schätzung des Bedarfs an Humusäquivalenten auf der Basis der Ackernutzung in Deutschland (siehe oben) sowie des VDLUFA-Standpunktes Humusbilanzierung (VDLUFA, 2014; Verwendung der mittleren Werte).

2 *Kalkulation des Nährstoffanfalls mit Wirtschaftsdüngern auf Basis des Vieh- und Geflügelbestandes (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014; 2015) sowie der geschätzten Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere (DLG, 2014). In die Berechnungen wurden Importe von Wirtschaftsdüngern aus anderen Staaten nicht einbezogen.*
Kalkulationsgrundlage für den Anfall an Humusäquivalenten mit Wirtschaftsdüngern: Errechnung der Menge an Wirtschaftsdüngern aus dem Nährstoffanfall, Humusreproduktionskoeffizienten nach VDLUFA-Standpunkt Humusbilanzierung (VDLUFA, 2014).

3 *Kalkulation des Anfalls an Nährstoffen und Humusäquivalenten mit Gärrückständen auf der Basis der Leistung aller Biogasanlagen und eines daraus resultierenden geschätzten Anfalls an Gärrückständen von 100,7 Millionen Tonnen Frischmasse pro Jahr (errechnet auf Grundlage von Daten aus Fachverband Biogas e. V. 2014, Bundesgütegemeinschaft Kompost 2013, TLL 2012, MÖLLER et al. 2009, WENDLAND und LICHTI 2012 und weitere) sowie den in Tabelle A1 angegebenen Trockensubstanz- und Nährstoffgehalten sowie Humusäquivalenten (116 Häq pro Tonne Trockenmasse).*

4 *Kalkulation des Anfalls an Nährstoffen und Humusäquivalenten mit Kompost auf der Basis einer geschätzten Verwendung von 2,682 Millionen Tonnen "Kompost" in der Landwirtschaft (STATISTISCHES JAHRBUCH, 2014), eines Trockensubstanzgehaltes des Komposts von 61,3 Prozent sowie den in Tabelle A1 angegebenen Nährstoffgehalten und Humusäquivalenten (120 Häq pro Tonne Trockenmasse).*

5 *Kalkulation des Anfalls an Nährstoffen und Humusäquivalenten mit Klärschlamm auf der Basis der aktuell landwirtschaftlich verwerteten Klärschlammmenge von 0,544 Millionen Tonnen Trockenmasse (STATISTISCHES JAHRBUCH, 2014) und den in Tabelle A1 angegebenen Nährstoffgehalten und Humusäquivalenten (80 Häq pro Tonne Trockenmasse).*

6 *Kalkulation des Anfalls an Nährstoffen mit tierischen Nebenprodukten nach NIEMANN (2015) sowie MÖLLER und SCHULTHEISS (2014). In Bezug auf die Humusreproduktionsleistung liegen für tierische Nebenprodukte keine verlässlichen Daten vor.*

7 *In Bezug auf die gesamten Nährstoffmengen und die gesamte Humusreproduktionsleistung liegen für pflanzliche Nebenprodukte keine verlässlichen Daten vor.*

8 *Kalkulation des Anfalls an Nährstoffen und Humusäquivalenten mit Ernterückständen auf der Basis der Anbaustatistik des Statistischen Jahrbuchs (2014) mit den aufgeführten durchschnittlichen Erträgen sowie den Haupternte- zu Nebenernteprodukt-Verhältnissen nach Angaben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL, 2012) und der Humusreproduktionsleistung der Nebenprodukte nach VDLUFA (2014).*
9 *Kalkulation der N-Fixierung von humusmehrenden Früchten (Leguminosen) auf Basis der Ackernutzung in Deutschland (STATISTISCHES JAHRBUCH, 2014) sowie der N-Fixierungsleistung einzelner Arten nach Angaben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL, 2012).*
Kalkulation des Anfalls an Humusäquivalenten mit humusmehrenden Früchten auf Basis der Anbaustatistik des Statistischen Jahrbuchs (2014) und des VDLUFA-Standpunktes Humusbilanzierung (VDLUFA, 2014).

10 *Kalkulation der N-Fixierung aus dem Anbau von Zwischenfrüchten zur Gründüngung nach Angaben des Statistischen Jahrbuchs (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2008) für das Jahr 2007 (800.000 ha) sowie der N-Fixierungsleistung einzelner Arten nach Angaben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL, 2012).*
Kalkulation des Anfalls an Humusäquivalenten aus dem Anbau von Zwischenfrüchten zur Gründüngung auf Basis der Anbaustatistik des Statistischen Jahrbuchs (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2008) für das Jahr 2007 (800.000 ha) sowie dem VDLUFA-Standpunkt Humusbilanzierung (VDLUFA, 2014; Tabelle A2: 300 Häq pro Hektar).

3.2 Regionale Betrachtung

Auch wenn der Nährstoffanfall mit organischen Düngern und organischen Reststoffen bei nationaler Betrachtung nur relativ geringe Lücken zum Nährstoffbedarf aufweist, ergeben sich bei regionaler Betrachtung sehr große Unterschiede. Dies kann exemplarisch am Beispiel von Phosphat gezeigt werden (Abbildung 1). Setzt man den Phosphatanfall mit tierischen Ausscheidungen ins Verhältnis zur P-Abfuhr mit pflanzlichen Produkten, ergeben sich großräumig sehr ausgeprägte P-Überschusssituationen, insbesondere in den tierintensiven Regionen im Nordwesten Niedersachsens und im Nordwesten Nordrhein-Westfalens. Die anderen Regionen mit hohen P-Überschüssen, vor allem in Ostdeutschland, sind relativ kleinräumig. Regionen mit moderaten Phosphatüberschüssen aus tierischen Ausscheidungen finden sich verteilt in ganz Deutschland. In sehr vielen Regionen in Deutschland ist der Phosphatanfall mit tierischen Ausscheidungen geringer als die P-Abfuhr mit den pflanzlichen Produkten. Dies hat in einigen Ackerbauregionen aufgrund vernachlässigter mineralischer P-Düngung zu einer allmählichen Verschlechterung des P-Versorgungszustandes der Böden geführt (ZORN und SCHRÖTER, 2014).

Ähnlich wie die Phosphat-Teilbilanzen weisen die Humusbilanzen erhebliche regionale Unterschiede in Deutschland auf (Abbildung 2). Während auf dem größten Teil der landwirtschaftlich genutzten Fläche ausgeglichene bis positive Humusbilanzen berechnet werden können, weisen einige größere Regionen negative Humusbilanzen auf. Diese Regionen zeichnen sich unter anderem durch einen großen Gemüse- und Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge (zum Beispiel Vorderpfalz, Hessisches Ried, Straubinger Gäu, Nordost-Niedersachsen), ausgedehnte Biogasproduktion (Brandenburg, Schleswig-Holsteiner Geest, Teile Niedersachsens und Nordostdeutschlands) oder niedrige Getreide- / Stroherträge (Teile Nordostniedersachsens, Brandenburg) aus.

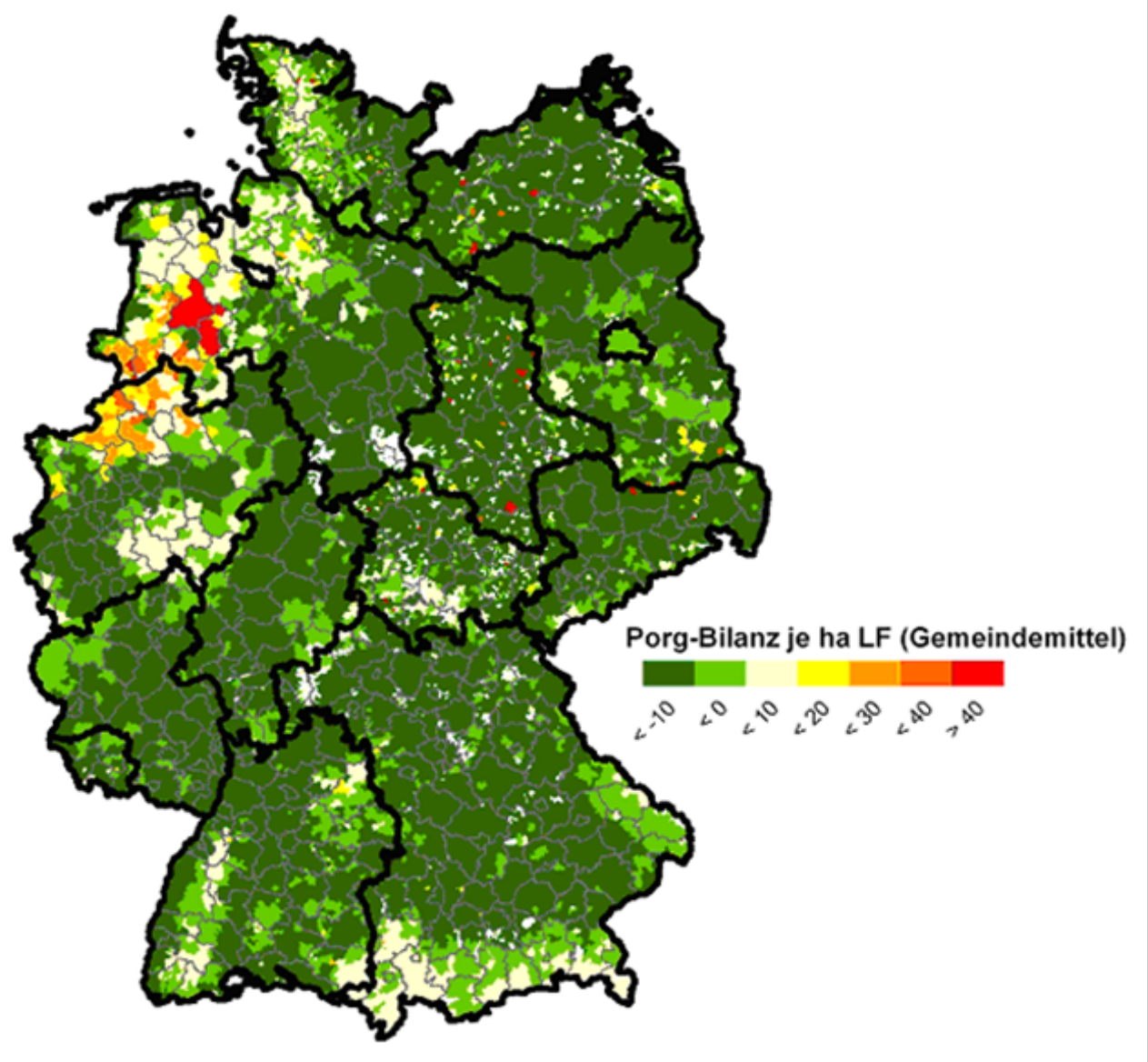

Abbildung 1: Teilbilanz für P_2O_5 (tierische P-Ausscheidungen minus pflanzliche P-Abfuhr) in kg ha^{-1} Landwirtschaftsfläche (ohne Geflügeldung).
Weiße Flächen: Gemeindefreie Gebiete. Berechnungen auf Basis von Daten der Agrarstrukturerhebung 2007, Forschungsdatenzentren des Bundes und der Länder.
Quelle: OSTERBURG und TECHEN (2012), Karte A 4.2, Seite 203.

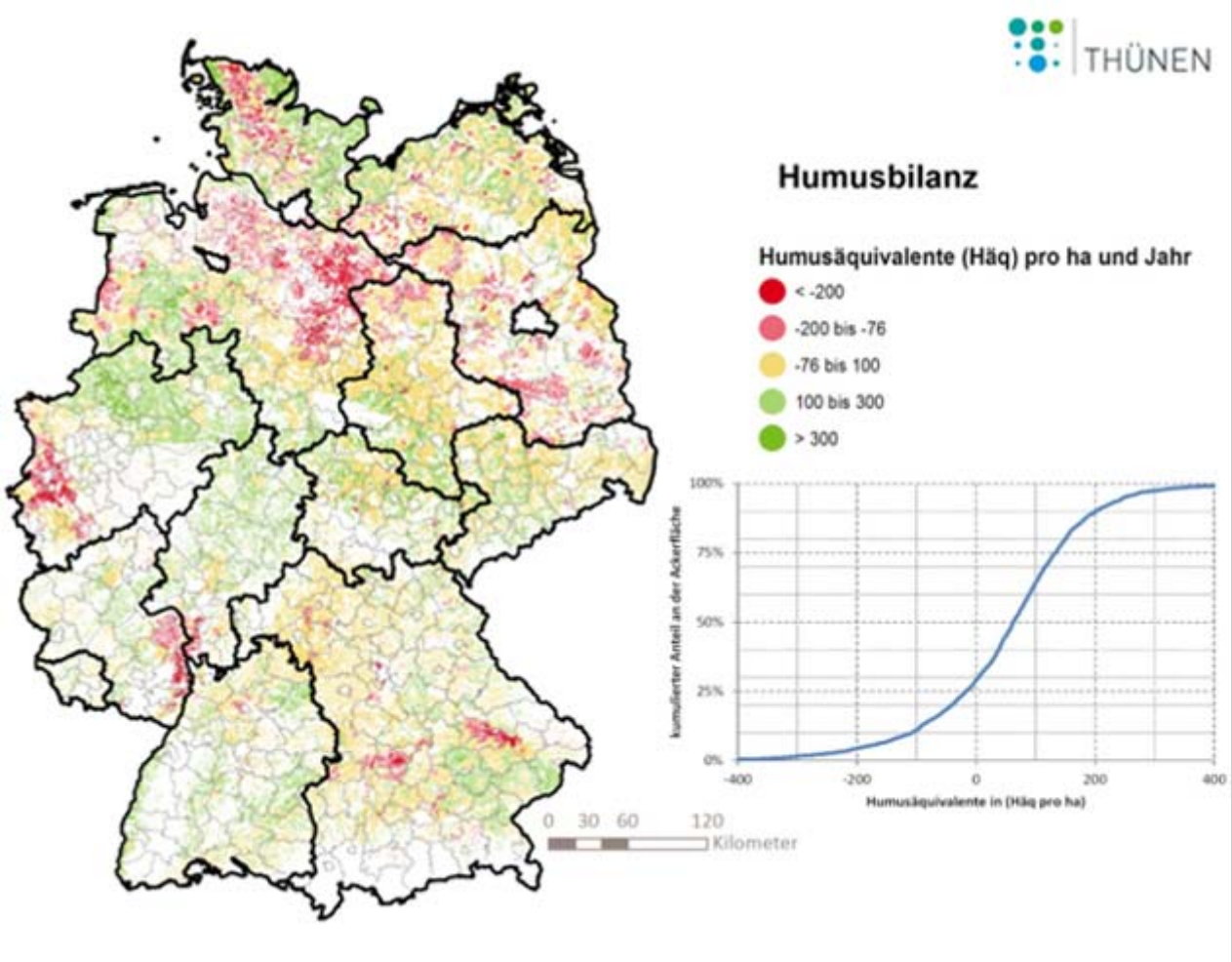

Abbildung 2: Humusbilanz-Salden in der Bundesrepublik Deutschland in Humusäquivalenten, berechnet mit der VDLUFA-Methode (2014). Keine Berücksichtigung der Zufuhr aus dem nichtlandwirtschaftlichen Bereich (Klärschlamm, Kompost und andere). Die Berechnungen erfolgten im Thünen-Institut Braunschweig durch Dr. Norbert Röder.
Quelle: Methodik: Gocht & Röder (2014), [doi: 10.1080/13658816.2014.897348], Daten: Statistische Ämter der Länder, Kreisdaten der Landwirtschaftszählung 2010 (eigene Berechnungen); Forschungsdatenzentren (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Landwirtschaftszählung 2010 (eigene Berechnung: Clusterschätzer); 2010 Basis-DLM – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), Darstellung: Gebietsstand der Landwirtschaftszählung 2010 nach VG250, BKG.

4 Bewertung der organischen Dünger und organischen Reststoffe im Hinblick auf Nährstoffgehalte, Nährstoffverfügbarkeit und Nährstofffrachten

Organische Dünger und organische Reststoffe stellen bedeutsame Quellen für Stickstoff, Phosphor, Kalium und organischen Kohlenstoff für den Humusersatz dar (Tabellen A1 und A2 im Anhang). Insbesondere bei Stickstoff und Phosphor ist neben den ausgebrachten Nährstoffmengen deren Pflanzenverfügbarkeit zu berücksichtigen. Die maximale Ausbringungsmenge wird bei Stalldung, Jauche, Hühnertrockenkot, Gülle, Gärresten aus Biogasanlagen sowie tierischen und pflanzlichen Nebenprodukten durch die Stickstoff-Obergrenze von 170 Kilogramm pro Hektar im Betriebsdurchschnitt für organische Dünger nach der Düngeverordnung (DüV [geplante Novelle]) bestimmt. Bei Klärschlamm und Kompost setzen dagegen die Klärschlammverordnung (AbfKlärV) oder die Bioabfallverordnung (BioAbfV) feste Obergrenzen für die Ausbringungsmengen. Die Stickstoffzufuhr ist bei der Ausbringung dieser Stoffgruppen in der Regel niedriger als 170 Kilogramm pro Hektar. Auch in pflanzlicher Biomasse können erhebliche N-Mengen gebunden sein.

Dies trifft insbesondere auf Zwischenfrüchte und Rübenblatt zu, während mit Getreidestroh eher geringe N-Mengen im Boden verbleiben.

Bei der Beurteilung der Nährstoffzufuhr ist die unterschiedliche Stickstoff-Mineralisierungsrate der organischen Dünger zu berücksichtigen. Gemessen an den veröffentlichten Mineraldüngeräquivalenten (MDÄ) zeichnen sich durch (i) eine schnelle N-Verfügbarkeit (MDÄ > 75 Prozent) Jauche und alle aufgeführten tierischen Nebenprodukte, durch (ii) eine moderat schnelle N-Verfügbarkeit (MDÄ 50 bis 75 Prozent) Schweinegülle, Gärreste aus Biogasanlagen und Hühnertrockenkot, durch (iii) eine moderat langsame N-Verfügbarkeit (MDÄ 25 bis 50 Prozent) Rindergülle, Schlempen und Klärschlamm (dünn) sowie durch (iv) eine langsame N-Verfügbarkeit (MDÄ < 25 Prozent) Biokompost, Stalldung und Klärschlamm (dick) aus (GUTSER et al., 2005).

Mit der im Betriebsdurchschnitt maximal erlaubten Ausbringungsmenge übersteigt die **Phosphatzufuhr** bei den meisten untersuchten Stoffgruppen deutlich den jährlichen P-Entzug der relevanten landwirtschaftlichen Kulturen. Eine (i) sehr hohe P-Zufuhr (> 100 kg P ha^{-1}) erfolgt mit Fleischknochenmehl, eine (ii) hohe Zufuhr (50 bis 100 kg P ha^{-1}) mit einigen Stalldungarten, Geflügelgülle, Hühnertrockenkot und Fleischmehl, eine (iii) mittlere Zufuhr (25 bis 50 kg P ha^{-1}) mit Rinder- und Schafstalldung, Rinder- und Schweinegülle, Klärschlamm, Bioabfallkompost, Kartoffelfruchtwasser sowie einigen Schlempen. Eine eher (iv) geringe P-Zufuhr (< 25 kg P ha^{-1}) weisen dagegen Jauche, Grüngutkompost, Blutmehl und Vinasse auf.

Ähnlich wie bei Stickstoff zeichnen sich die aufgeführten Stoffgruppen auch durch sehr unterschiedliche **Phosphatverfügbarkeiten** aus. Sehr schlecht verfügbar sind Phosphate in Klärschlämmen, die mit einem hohen Überschuss an Eisen und Aluminium ausgefällt wurden, sowie in unbehandelten Fleischknochenmehlen. Letztere weisen zwar sehr hohe Phosphatgehalte auf; da diese jedoch überwiegend als Hydroxylapatit vorliegen, entspricht ihre Verfügbarkeit derjenigen von schwer löslichen Rohphosphaten. Deshalb sollten Fleischknochenmehle ausschließlich bei niedrigen Boden-pH-Werten zum Einsatz kommen, wo sie zum langfristigen Erhalt der P-Versorgung des Bodens beitragen können. Mittelfristig sollte zur Verbesserung der Verfügbarkeit ein technischer P-Aufschluss in P-Recyclingprodukten wie Fleischknochenmehl angestrebt werden.

Auch die **Kaliumzufuhr** variiert sehr stark zwischen den Stoffgruppen. Eine (i) sehr hohe K-Zufuhr (> 300 kg K ha^{-1}) erfolgt mit Jauche und Kartoffelfruchtwasser, eine (ii) hohe Zufuhr (200 bis 300 kg K ha^{-1}) mit Stalldung von Rind, Schaf und Pferd, Vinasse und Kartoffelschlempe, eine (iii) mittlere Zufuhr (100 bis 200 kg K ha^{-1}) mit Stalldung von Schwein und Geflügel, Rindergülle, Gärresten aus Biogasanlagen und Bioabfallkompost. Eine eher (iv) geringe K-Zufuhr (< 100 kg K ha^{-1}) weisen dagegen Schweine- und Geflügelgülle, Grüngutkompost, einige Schlempen und insbesondere auch Klärschlamm, Fleischknochenmehl und Blutmehl auf. Mit Stickstoff und Phosphor vergleichbare Einschränkungen der Verfügbarkeit bestehen bei Kalium nicht.

Die **Humusreproduktionsleistung** folgt unter Berücksichtigung der maximalen Ausbringungsmengen der Reihe Kompost > Stalldung > pflanzliche Biomasse aus Ernterückständen und Gründüngung > Gülle > Klärschlamm.

5 Bewertung der organischen Dünger und organischen Reststoffe im Hinblick auf anorganische Schadstoffgehalte und Schadstofffrachten

Organische Dünger und organische Reststoffe können wesentliche Quellen für Schwermetalleinträge in Böden sein. Als Datenbasis für die Bewertung einzelner organischer Dünger können der EU-Klärschlammbericht, Auswertungen der Träger freiwilliger Qualitätssicherungssysteme (zum Beispiel Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., VDLUFA-QLA-GmbH), Auswertungen von Untersuchungsstellen (zum Beispiel LUFA), Umfragen oder Literaturrecherchen (zum Beispiel KÖRDEL et al. 2007; MÖLLER und SCHULTHEISS, 2014) dienen.

Die in Tabelle A3 aufgeführten Schwermetallgehalte weisen in Abhängigkeit von Probe und Literaturquelle eine teilweise sehr hohe Variabilität auf. Trotz beachtlicher Fortschritte in der Verminderung der Kontamination in den vergangenen Jahrzehnten ist Klärschlamm insgesamt immer noch mit den höchsten Schwermetallgehalten belastet. Ebenfalls vergleichsweise hohe Gehalte weisen Bioabfallkompost und

Grüngutkompost auf. Schweinegülle sowie Schweine- und Geflügeldung sind durch überdurchschnittlich hohe Kupfer- und Zinkgehalte charakterisiert. Durchweg niedrige Schwermetallgehalte und insbesondere auch keine zusätzlichen Einträge in die Böden sind dagegen bei pflanzlicher Biomasse zu erwarten. In der Regel ebenfalls niedrig sind die Gehalte in pflanzlichen und tierischen Nebenprodukten. Einen Sonderfall können Gärreste darstellen. Bei ihnen kann aufgrund des Abbaus organischer Masse ein Anstieg der Schwermetallgehalte stattfinden. Weiterhin hat sich in Biogasanlagen seit einigen Jahren die Supplementierung mit Spurenelementen (Co – Cobalt, Ni – Nickel, Fe – Eisen, Mo – Molybdän, Se – Selen und W – Wolfram) etabliert. Studien zum Einfluss dieser Praxis auf die Gehalte und Frachten an Schwermetallen mit Gärresten liegen allerdings bislang nicht vor.

Da Schadstoffeinträge in Böden mit Düngemitteln nicht allein durch deren Schadstoffgehalte, sondern auch durch die ausgebrachten Düngermengen bestimmt werden, schlägt der Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen in Anlehnung an seine Stellungnahme "Neue Schadstoffregelungen für Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel" aus dem Jahr 2011 vor, bei der Bewertung organischer Dünger und organischer Reststoffe neben den Schwermetallgehalten insbesondere deren Schwermetallfrachten zu berücksichtigen (Tabelle A4).

Die Bewertung auf der Basis von Frachten kann zu anderen Ergebnissen führen als die Bewertung auf der Basis der Gehalte. Dies zeigt sich besonders anschaulich bei einem Vergleich der Cadmium-Gehalte und Cadmium-Frachten von Klärschlamm und Kompost. Unter der Annahme maximal zulässiger jährlicher Ausbringungsmengen (1,67 t TM ha^{-1} bei Klärschlamm und 10 t TM ha^{-1} bei Komposten) und unter Zugrundelegung der in Tabelle A3 aufgeführten Cadmium-Gehalte ergibt sich eine jährliche Cadmium-Fracht von 1,6 bis 2,2 Gramm pro Hektar mit Klärschlamm, von 3,6 Gramm pro Hektar mit Grüngutkompost und von 3,9 Gramm pro Hektar mit Bioabfallkompost.

Insgesamt vermindern sich die Frachten für viele Schwermetalle in der Regel in der Reihe Komposte > Klärschlamm > Stalldung, Gülle >> tierische Nebenprodukte, pflanzliche Nebenprodukte, pflanzliche Biomasse.

Hohe Frachten können zu einer Überschreitung der Grenzfrachten nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) und teilweise auch nach der Bioabfallverordnung (BioAbfV) führen. Langfristig ist mit einer Anreicherung von Schwermetallen im Boden, insbesondere bei der Anwendung von Komposten und Klärschlamm zu rechnen (PANG et al., 2011).

6 Bewertung der organischen Dünger und organischen Reststoffe im Hinblick auf organische Schadstoffe, pharmazeutisch wirksame Substanzen und andere

Die Datengrundlage zu organischen Schadstoffen und pharmazeutisch wirksamen Substanzen ist für die Bewertung der Risiken des Einsatzes organischer Dünger und organischer Reststoffe zu Düngungszwecken sehr unbefriedigend. Neben wenigen systematisch erhobenen Daten, die allerdings nicht bundesweit ausgewertet werden (zum Beispiel polychlorierte Dibenzodioxine / -furane (PCDD / PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB) in Klärschlamm) stehen Daten aus einigen Studien zur Verfügung (zum Beispiel KÖRDEL et al. 2007; MÖLLER und SCHULTHEISS, 2014). Häufig werden Verdachtsproben punktuell untersucht, sodass sich insgesamt kein repräsentatives Bild über die Belastung von organischen Düngern und organischen Reststoffen mit organischen Schadstoffen ergibt.

In **Wirtschaftsdüngern** wie Gülle wurden verschiedene Kontaminanten wie Nonylphenole, Phthalate, Organozinnverbindungen, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), PCB und PCDD / PCDF gefunden. Die Konzentrationen sind in der Regel aber sehr niedrig oder im Bereich der unvermeidbaren Hintergrundbelastung. So erfolgt der bedeutendste Eintrag an Schadstoffen wie PCB und PCDD / PCDF in landwirtschaftliche Nutzflächen in der Regel über die Deposition aus der Luft. Werden die Verbindungen über das Futter aufgenommen, verbleibt nur ein geringer Anteil im Körper der Tiere, der überwiegende Teil wird mit dem Kot ausgeschieden. Niedrig chlorierte Verbindungen werden zum Teil metabolisiert, sodass sich das Kongenerenmuster von demjenigen im Futter unterscheidet. In der älteren Literatur wird häufig auf

zusätzliche Eintragsquellen für chlorierte Verbindungen wie Bindegarn, Siloanstriche oder Altöl verwiesen, die in das Futter oder die Gülle gelangten. Wirtschaftseigene Dünger sind auch ein Eintragspfad für Rückstände von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln aus der Stallhygiene in Böden.

Große Aufmerksamkeit erfuhr in den vergangenen Jahren der Einsatz von Tierarzneimitteln, insbesondere von antimikrobiell wirksamen Substanzen, die zu einem großen Teil nicht oder nicht vollständig abgebaut und von den Tieren wieder ausgeschieden werden, sodass sie sowohl in Wirtschaftsdüngern als auch im beaufschlagten Boden nachgewiesen werden können (zum Beispiel TOLZIN-BANASCH und BÄHR, 2014; SCHWARZ, 2014). In wenigen Einzelfällen wurden bei besonders ungünstigen Standortbedingungen antimikrobiell wirksame Substanzen aus der Tierhaltung auch im oberflächennahen Grundwasser festgestellt (HANNAPPEL et al., 2014). Im Vordergrund stehen vor allem die Tetracycline und einige Sulfonamide, die zum Teil eine längere Halbwertszeit aufweisen. Sie verdienen besondere Aufmerksamkeit, da sie die Zusammensetzung der Mikroorganismen im Boden beeinflussen können, die für die Übertragung von Resistenzgenen verantwortlich sind. Ein aktueller Forschungsgegenstand ist die mögliche Aufnahme von Antibiotika durch Pflanzen.

Die Kontamination von **Gärresten aus Biogasanlagen** mit organischen Schadstoffen und pharmazeutisch wirksamen Substanzen hängt von der Qualität des Ausgangsmaterials, deren Abbaubarkeit während des Gärprozesses sowie von deren Aufkonzentrierung aufgrund des Abbaus organischer Masse ab. Nach heutigem Stand des Wissens werden organische Schadstoffe und antimikrobiell wirksame Substanzen unter den anoxischen Bedingungen des Gärprozesses nicht oder unterschiedlich stark abgebaut (MÖLLER und SCHULTHEISS, 2014). So konnten in einigen Studien in Gärrückständen höhere Gehalte an Nonylphenolen, Phthalaten, Organozinnverbindungen und PAK im Vergleich zu Gülle aus der Tierhaltung nachgewiesen werden (KÖRDEL et al., 2007).

Insgesamt besteht die Gefahr einer relevanten Zusatzbelastung der Böden mit organischen Schadstoffen am ehesten beim Ausbringen von Gärresten aus Kofermentationsanlagen, während sie beim Ausbringen von Gärresten aus Anlagen, die mit Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und Nachwachsenden-Rohstoff-Substraten betrieben werden, kaum zu erwarten ist (MÖLLER und SCHULTHEISS, 2014).

Die Kontamination von **Klärschlamm** mit organischen Schadstoffen und Arzneimittelrückständen ist Gegenstand jahrzehntelanger kontroverser Debatten. Unbestritten stellt Klärschlamm eine potentielle Senke für eine Vielzahl organischer Schadstoffe dar (FRAGEMANN und BARKOWSKI, 2007; ZWIENER et al., 2014), von denen viele bisher weder geregelt noch ausreichend in ihrem Umweltverhalten wie Persistenz, Toxizität, Mobilität und Boden-Pflanze-Transfer charakterisiert sind.

Von den in Frage kommenden organischen Schadstoffen müssen PCDD / PCDF, PCB, dioxinähnliche (dl) PCB sowie die perfluorierten Chemikalien (PFC) nach der gültigen Klärschlammverordnung (AbfKlärV) oder Düngemittelverordnung (DüMV) regelmäßig untersucht und die vom Gesetzgeber festgelegten Grenzwerte eingehalten werden. Diese Vorgaben werden im Hinblick auf die Gehalte an PCDD / PCDF und PCB und vermutlich auch im Hinblick auf den im Jahre 2012 eingeführten Summengrenzwert für PCDD / PCDF plus dl-PCB (DüMV) in der Regel eingehalten, sodass Klärschlamm eher ein weniger relevanter Eintrittspfad für diese Stoffe in die Nahrungskette ist.

Nach Einführung eines Grenzwertes für PFC (PFOA plus PFOS) in Düngemitteln mussten dagegen relativ viele Klärschlämme von einer landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung ausgeschlossen werden. Selbst bei Einhaltung des Grenzwertes dieser sehr persistenten Verbindungen kann es bei langjähriger Klärschlammanwendung zu einer nachweisbaren Erhöhung der PFC-Gehalte im Boden und zu einem PFC-Transfer in die Pflanze kommen (PANG et al, 2011). Nicht ausgeschlossen werden kann aufgrund der guten Wasserlöslichkeit eine Auswaschung von PFC in das Grundwasser. Nach neueren Befunden muss in Zukunft auch besonderes Augenmerk auf kurzkettige PFC gelegt werden, deren Transfer in die Pflanze noch leichter erfolgt als der Transfer der Leitsubstanzen PFOA und PFOS.

Auch bei anderen persistenten Schadstoffen deuteten sich in Monitoringprojekten durch einen Vergleich mit in räumlicher Nähe befindlichen "Kontrollflächen" erhöhte Gehalte von Benzo(a)pyren, Organozinnverbindungen und Moschusverbindungen im Boden nach regelmäßiger Klärschlammanwendung an (LFU, 2003; KÖRDEL et al., 2007).

Arzneimittelwirkstoffe sind in der Regel sehr gut wasserlöslich und passieren aus diesem Grund nahezu ungemindert Kläranlagen. Einige Wirkstoffe werden in Kläranlagen durch die mechanisch biologische Abwasserbehandlung eliminiert. Der größere Teil wird biologisch abgebaut. Einige Wirkstoffe können in Abhängigkeit von den Stoffeigenschaften in geringen Mengen am Klärschlamm sorbiert werden. Eine Extraktion dieser Stoffe für Analysezwecke ist schwierig. Die Belastung von Klärschlämmen mit Arzneimittelrückständen scheint aber insgesamt gering zu sein.
Ungeachtet dieser Befunde muss noch einmal auf die insgesamt unzureichende Datengrundlage sowohl hinsichtlich der meisten organischen Schadstoffe als auch hinsichtlich der Arzneimittelwirkstoffe bei gleichzeitig sehr großem Potential einer Belastung von Klärschlamm mit organischen Schadstoffen hingewiesen werden.

In geringerem Ausmaß stellen auch Komposte eine Quelle für Einträge organischer Schadstoffe in die Landwirtschaft dar. Die in der DüMV eingeführten Höchstgehalte für Dioxine und dl-PCB sowie PFC werden vermutlich bei der Kompostverbringung auf Ackerflächen in der Regel eingehalten. In besonderen Fällen können aber auch Komposte erhöhte Gehalte an organischen Schadstoffen wie PFC aufweisen. Diese können sowohl in das Grundwasser verlagert als auch in die Kulturpflanzen aufgenommen werden und somit schwerwiegende wirtschaftliche Konsequenzen für die betroffenen Landwirte haben (REGIERUNGSPRÄSIDIUM KARLSRUHE, 2015).

Die Belastung von pflanzlicher Biomasse wie Stroh oder Rübenblatt, pflanzlichen Nebenprodukten wie Vinasse, Kartoffelfruchtwasser oder Schlempen und tierischen Nebenprodukten wie Fleischknochenmehl, Fleischmehl oder Blutmehl mit organischen Schadstoffen ist insgesamt sehr gering. Eine Kontamination mit pharmakologisch wirksamen Substanzen, insbesondere Tetracyclinen, kann allenfalls in tierischen Nebenprodukten nicht ausgeschlossen werden (MÖLLER und SCHULTHEISS, 2014).

7 Bewertung der organischen Dünger und organischen Reststoffe im Hinblick auf seuchen- und phytohygienische Risiken

In unbehandelten organischen Materialien (insbesondere Stalldung und Gülle jeder Art, Gärresten aus mesophilen Biogasanlagen, Klärschlämmen, tierischen Nebenprodukten sowie pflanzlichen Nebenprodukten wie Bioabfällen) ist mit einer Vielzahl von Erregern unterschiedlichster Pathogenität und Antibiotikaresistenz zu rechnen, das heißt Humanpathogene, Tierpathogene und Zoonoseerreger (Tabelle A5).

Die Aufbringung dieser Dünger auf die Bodenfläche stellt ein ständiges **seuchenhygienisches Risikopotential** für Pflanzen, Böden und Grundwasser und somit ein Infektionsrisiko für Mensch und Tier durch Futter- und Lebensmittel pflanzlicher Herkunft dar. Da dieses Infektionsrisiko für verschiedene Erreger und Dünger sehr unterschiedlich zu beurteilen ist, besteht eine relativ hohe Unsicherheit für die Risikobewertung einer möglichen Kontamination von Pflanzen mit pathogenen Bakterien im Zusammenhang mit organischen Düngemitteln. Ein hohes seuchenhygienisches Risikopotenzial zeigen insgesamt Gülle, mesophil behandelte Biogasgülle und Klärschlamm. Stalldung ist mit einem mittleren seuchenhygienischen Risiko behaftet. Die anderen berücksichtigten Stoffgruppen weisen dagegen ein geringes bis vernachlässigbares epidemiologisches Risikopotential auf.

Das Risiko eines Eintrags von Pathogenen fäkalen Ursprungs in die Nahrungskette des Menschen oder von Tieren ist zwar reduziert, wenn organische Dünger bestimmungsgemäß verwertet und unter Beachtung der bestehenden Ausbringungsverbote und der Wartezeiten angewendet werden. Ein erhöhtes epidemiologisches Risiko liegt allerdings dann vor, wenn organische Dünger überbetrieblich eingesetzt und dadurch neue epidemiologisch relevante Infektionsketten geschaffen werden können.

Deshalb sollte die überbetriebliche Verwertung dieser Stoffe in der Landwirtschaft nur dann erfolgen, wenn zuvor eine ausreichende Reduzierung der pathogenen Erreger stattgefunden hat. Dabei muss in jedem Fall das aktuelle epidemiologische Risiko in Abstimmung mit den Vorgaben des Tiergesundheitsgesetzes berücksichtigt werden.

Eine Reduzierung oder Inaktivierung von Pathogenen kann durch verschiedene Behandlungsmaßnahmen (zum Beispiel thermisch, geeignete Lagerung und andere) erfolgen. Alternativ dazu sollte für die

überbetriebliche Nutzung von Gülle und Gärresten aus Biogasanlagen ein Qualitätssicherungssystem (QS) aufgebaut werden. Entsprechende QS-Systeme haben sich für Komposte, Klärschlämme und andere organische Reststoffe bereits seit Jahren bewährt.

Ein **phytohygienisches Risiko** liegt vor, wenn Ausgangsstoffe einen Befall oder eine äußerliche Kontamination mit Phytopathogenen aufweisen und die relevanten Schadorganismen in den Ausgangsstoffen überdauern, gegebenenfalls eine Behandlung überstehen und nach einer Ausbringung des organischen Düngemittels erneut Wirtspflanzen infizieren können.

Klärschlamm, pflanzliche Nebenprodukte sowie pflanzliche Biomasse weisen ein hohes phytohygienisches Risiko auf. Gärreste aus mesophilen Biogasanlagen (37 – 42° C) werden als Stoffe mit mittlerem bis hohem Risiko eingestuft. Bei ihnen reduzieren Expositionszeiten > 24 Stunden im Fermenter das Risiko. Bioabfallkompost und Grüngutkompost weisen ein mittleres Risiko auf. Stalldung, Jauche, Gülle, thermophile Gärreste und tierische Nebenprodukte weisen ein geringes Risiko auf.

Pflanzliche Stoffe mit hohem Risiko sind vor der Verwendung als Düngemittel einer hygienisierenden Behandlung zu unterziehen. Bekanntermaßen mit Quarantäneschadorganismen der Kartoffel befallene pflanzliche Stoffe dürfen nicht als Ausgangsstoffe von Düngemitteln verwendet werden, das heißt es greifen spezifische pflanzengesundheitliche Regelungen (Pflanzenbeschauverordnung und andere). Darüber hinaus sollte einer unbeabsichtigten Einbringung von Quarantäneschadorganismen der Kartoffel in Düngemittel vorgebeugt werden, indem zum Beispiel unbehandelte Abwässer und Abfälle aus der gewerblichen Kartoffel- und Rübenver- und -bearbeitung nicht als Ausgangsstoffe für Düngemittel zugelassen werden.

8 Nutzungsempfehlungen für organische Dünger und organische Reststoffe unter Würdigung von deren Nutzen und Risiken

Der Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen stellt fest und empfiehlt:

- In Deutschland erfolgt keine ausreichende systematische Auswertung der Untersuchung von Düngemitteln auf Mineralstoff- sowie Schadstoffgehalte. Lediglich zur Gütesicherung (zum Beispiel Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.) und in ausgewählten Untersuchungseinrichtungen (zum Beispiel LUFA) werden vorliegende Daten ad hoc (zum Beispiel bei der Novellierung von Gesetzen und Verordnungen) systematisch ausgewertet. Dies macht die Datengrundlage zur Beurteilung von Nutzen und Risiken der Verwendung organischer Dünger und organischer Reststoffe insgesamt unsicher. Der Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen empfiehlt deshalb die Erstellung einer Datenbank, in die unter anderem die Daten aus der amtlichen Düngemittelverkehrskontrolle eingehen sollten. Möglichkeiten der anonymisierten Auswertung von Daten nichtamtlicher Untersuchungseinrichtungen sollten eruiert werden.
- Organische Düngemittel und organische Reststoffe stellen wichtige Quellen für den Humusersatz der landwirtschaftlich genutzten Böden dar. Die zu diesem Standpunkt vorgenommene Auswertung zeigt, dass allein durch die vollständige Nutzung pflanzlicher Koppelprodukte wie Stroh und Zuckerrübenblatt, den derzeitigen Anbau humusmehrender Früchte wie Leguminosen und Feldgras sowie Zwischenfrüchte zur Gründüngung der nationale Humusbedarf zu einem großen Teil gedeckt werden könnte. Diese Stoffgruppen sollten bevorzugt für den Humusersatz genutzt werden, da sie in der Regel sehr niedrige Gehalte an anorganischen und organischen Schadstoffen aufweisen, sodass kein zusätzlicher Eintrag von Schadstoffen in den Boden erfolgt. Zudem sind sie auch von geringem seuchenhygienischen Risiko. Beim Verkauf von Stroh bei gleichzeitigem Einsatz anderer Humusträger wie Kompost erhöht sich das Risiko von Schadstoffeinträgen in landwirtschaftlich genutzte Böden.
- Für die Verwendung der anderen Stoffgruppen sollte eine Abwägung zwischen Nutzen (primär in Bezug auf den Nährstoffersatz, gegebenenfalls auch in Bezug auf den Humusersatz) und Risiken (anorganische und organische Schadstoffe, Seuchen- und Pflanzenhygiene) erfolgen.

- Die mit Abstand höchsten Nährstoffmengen fallen mit Wirtschaftsdüngern und Gärresten aus Biogasanlagen an. Ihre Rückführung in den landwirtschaftlichen Stoffkreislauf ist geboten und mit moderaten stofflichen Risiken verbunden. Allerdings müssen seuchenhygienische Risiken minimiert werden (siehe unten). Im Zusammenhang mit dem Anwender- und Verbraucherschutz sowie dem Umweltschutz erscheint auch die weitergehende Untersuchung des Transfers von Tierarzneimitteln in die Wirtschaftsdünger, Böden, Grundwasser und gegebenenfalls Pflanzen geboten.
- Aus Gründen des Umwelt- und Ressourcenschutzes stellt der lokal und regional sehr unterschiedliche Anfall an Wirtschaftsdüngern und Gärresten aus Biogasanlagen das größte Problem dar, der teilweise zu extremen Nährstoffüberschüssen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen aus organischer Düngung führt (zum Beispiel LWK Niedersachsen, 2013 und 2015; LWK Nordrhein-Westfalen, 2014). Der Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen empfiehlt dringend, dass der Einsatz organischer Dünger konsequent auf der Basis des Nährstoffbedarfs der Pflanzen erfolgen muss. In diesem Zusammenhang sind sowohl die 170 kg N-Obergrenze für organische Dünger als auch eine P-Düngung unterhalb des Entzuges auf hoch und sehr hoch versorgten Böden einzuhalten. Gelingt es nicht, diese Forderung durch überbetriebliche / überregionale Verbringung von Wirtschaftsdüngern und Gärresten einzuhalten, sieht der Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen wie der Wissenschaftliche Beirat für Agrarpolitik mittelfristig keine Alternative zur Reduzierung der Tierdichten in tierintensiven Regionen (WBA, 2015). Im Baurecht und im landwirtschaftlichen Fachrecht sollten die Voraussetzungen geschaffen werden, dass mit einer klaren zeitlichen Perspektive nachhaltige Nährstoffhaushalte in der Landwirtschaft erreicht werden.
- Gemessen an den Wirtschaftsdüngern und Gärresten sind andere organische Dünger wie Klärschlamm, Kompost und pflanzliche sowie tierische Nebenprodukte insgesamt nur von geringer Bedeutung für die Nährstoffzufuhr.
- Klärschlamm und Kompost weisen unter den hier berücksichtigten Stoffgruppen das größte stoffliche Risiko auf. Der Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen empfiehlt eine stärkere Frachtenbegrenzung für die anorganischen Schadstoffe. Dies kann insbesondere bei Kompost zu einer stärkeren Mengenbegrenzung führen als sie derzeit nach Bioabfallverordnung vorgeschrieben ist. Die Grundlagen für eine Frachtenbegrenzung der organischen Schadstoffe müssen dringend geschaffen werden.
- Zum Schutz der Umwelt vor vermeidbaren Kontaminationen mit Pathogenen und antibiotikaresistenten Bakterien und somit der Etablierung neuer gesundheitlicher Risiken wird eine ausreichende Reduzierung dieser Mikroorganismen in überbetrieblich genutzten organischen Düngern durch geeignete Maßnahmen empfohlen.
- Die bestehenden Anwendungsverbote und –beschränkungen, insbesondere bei der Klärschlammverwertung, können zur seuchen- und phytohygienischen Risikominderung beitragen. Die sofortige tiefwendende Einarbeitung der organischen Dünger vor der Aussaat bewirkt allerdings keine ausreichende Risikominderung für Schadorganismen, weil widerstandsfähige Pflanzenpathogene und auch einige Infektionserreger für Mensch und Tier bei tiefwendender Einarbeitung im Wurzelraum ihrer Wirtspflanzen günstige Infektions- und Überdauerungsbedingungen vorfinden. Ein zeitlicher Abstand zwischen Aufbringung der organischen Dünger und dem Anbau von Wirtspflanzen ist aus Sicht der Phytohygiene zu befürworten, um das Risiko von langjährig überdauerungsfähigen Schadorganismen zu minimieren.

- Besondere Beachtung sollte die zukünftige Verwendung von Klärschlamm finden. Zweifellos konnten in den vergangenen Jahrzehnten erhebliche Erfolge zur Reduzierung der Belastung mit Schadstoffen erzielt werden und auch in Zukunft sollte das Prinzip der Schadstoffvermeidung eine hohe Priorität haben. Dies trägt nicht nur zur Schadstoffarmut im Klärschlamm, sondern auch in den Kläranlagenausläufen bei. Dennoch wird Klärschlamm eine Senke für Schwermetalle und organische Schadstoffe bleiben. Diese Substanzen können sich bei langjähriger Klärschlammanwendung allmählich im Boden akkumulieren, womit auch ein Eintrag in die Nahrungskette nicht ausgeschlossen werden kann. Die mittelfristige Umstellung auf alternative Verfahren der Klärschlammentsorgung ist deshalb folgerichtig, wenn wertvolle Klärschlamminhaltsstoffe schadstoffarm zurückgewonnen werden können. Die Rückgewinnung von Wertstoffen aus Klärschlamm sollte sich nicht nur auf Phosphor beschränken, sondern alle Stoffe mit geringer statischer Reichweite wie Zink oder Kupfer sollten einbezogen werden.
- Aus Sicht des Ressourcenschutzes empfiehlt der Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen die Ermittlung der P-Verfügbarkeit in unterschiedlichen P-Recyclingprodukten. Dieser Thematik sollte sich auch das landwirtschaftliche Versuchswesen mit einer hohen Priorität annehmen. Zudem sollten die Möglichkeiten zur technischen Aufbereitung von Stoffen mit geringer P-Verfügbarkeit weiterentwickelt werden.

Zusammenfassung

Organische Dünger und organische Reststoffe leisten einen entscheidenden Beitrag für die Humusreproduktion von Böden und das Recycling von Pflanzennährstoffen. Im Hinblick auf deren Anfall und Nutzung sind in den vergangenen Jahren zwei gegenläufige Trends festzustellen. Einerseits hat das Volumen der in der Landwirtschaft anfallenden und der in die Landwirtschaft eingetragenen organischen Dünger regional stark zugenommen, andererseits hat sich gleichzeitig eine starke außerlandwirtschaftliche Nachfrage nach bisher für den Humusersatz genutzter Biomasse entwickelt.
Ziel dieser Stellungnahme ist es, den nationalen und regionalen Bedarf von Stickstoff, Phosphat und Kalium sowie von organischem Kohlenstoff für den Humusersatz abzuschätzen und dem nationalen und regionalen Anfall dieser Stoffe mit organischen Düngern und organischen Reststoffen gegenüberzustellen. Dabei soll eine Bewertung der organischen Dünger und organischen Reststoffe im Hinblick auf Nährstoffgehalte und Nährstoffverfügbarkeit, Schadstoffgehalte, Nähr- und Schadstofffrachten sowie hygienische Risiken bei der landwirtschaftlichen Verwertung vorgenommen werden. Auf der Basis des geschätzten Bedarfs, des Anfalls und der Bewertung von Nutzen und Risiken sollen Nutzungsempfehlungen für Landwirtschaft, Verwaltung, Politik und Rechtsetzung abgeleitet werden.

Summary

Use of organic fertilizers and organic wastes in agriculture

Organic fertilizers and organic wastes contribute significantly to humus reproduction in soil and to plant nutrient recycling. As regards their generation and usage, two opposing trends have appeared over the past few years. On the one hand, there has been a marked regional increase in the volume of organic fertilizers produced and used in agriculture, on the other, the non-agricultural demand for biomass previously used as a humus substitute has risen significantly.
This article intends to estimate the national and regional demand for nitrogen, phosphates and potassium as well as for organic carbon for humus substitution and to compare it to the national and regional volume of these substances that arises with organic fertilizers and organic wastes. This includes an assessment of organic fertilizers and organic wastes in terms of their nutrient content and nutrient availability, pollutant

content, nutrient and pollutant load and any health risks associated with their use in agriculture. Based on the estimated demand, the available amount and the assessment of risks and benefits, recommendations for use are derived for the agricultural, administrative, political and legislative sectors.

Resúmé

L'utilisation d'engrais et de déchets organiques dans l'agriculture

Les engrais et les déchets organiques contribuent de manière significative à l'humification des sols et au recyclage des substances nutritives pour les plantes. Quant à leur production et leur utilisation, deux tendances opposées se sont manifestées au cours des dernières années. D'une part, le volume des engrais organiques produits et utilisés dans l'agriculture a fortement augmenté au niveau régional; d'autre part, la demande extra-agricole de biomasse, jusqu'alors utilisée pour remplacer l'humus, a fortement augmenté.

L'objectif de la présente contribution est d'estimer les besoins nationaux et régionaux en azote, en phosphate, en potassium et en carbone organique pour remplacer l'humus et de comparer la production nationale et régionale de ces substances avec les engrais et déchets organiques. À cet effet, il convient d'évaluer la teneur en nutriments et leur disponibilité, la teneur en polluants, les charges de nutriments et de polluants, ainsi que les risques hygiéniques lors de la valorisation agricole. Sur la base de l'estimation des besoins et de la production ainsi que de l'évaluation des bénéfices et des risques, il convient de déduire des recommandations d'utilisation pour les secteurs agricole, administratif, politique et législatif.

LITERATUR

1. BMEL; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.) (2014): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2014. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
2. BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E. V. (Hrsg.) (2013): Datengundlagen zum Beitrag "Organische Dünger in der Landwirtschaft". Humuswirtschaft und Kompost 12/2013, S. 1 – 3. (▶ www.kompost.de/fileadmin/docs/Archiv/Aktuelles/Datengrundlagen_-_Organische_Duenger_in_der_Landwirtschaft.pdf ; zuletzt abgerufen am 5. November 2015).
3. DIEPOLDER, M., RASCHBACHER, S., HEINZ, S. und KUHN, G. (2014): Erträge, Nährstoffgehalte und Pflanzenbestände bayerischer Grünlandflächen. VDLUFA-Schriftenreihe 69, Kongressband 2013, S. 376 – 383, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
4. DLG; Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere, 2. Auflage, Arbeiten der DLG, Band 199, DLG Verlag, Frankfurt/M.
5. FACHVERBAND BIOGAS E. V. (2014): 2014 Branchenzahlenprognose für die Jahre 2014 und 2015. (▶ http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_PM-32-14/$file/14-11-07_Biogas%20Branchenzahlen_Prognose_2014-2015.pdf; zuletzt abgerufen am 5. November 2015).
6. FRAGEMANN, H.-J., und BAROWSKI, D. (2007): Klärschlammbelastungen mit organischen Schadstoffen – Ergebnisse der landesweiten Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen, in: Perspektiven der Klärschlammverwertung. BMU-Expertentagung vom 6. und 7. Dezember 2006 in Bonn. KTBL-Schrift 453, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.
7. GUTSER, R., EBERTSEDER, TH., WEBER, A., SCHRAML, M. und SCHMIDHALTER, U. (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. J. Plant Nutrition Soil Sci. 168, 439 – 446.
8. HANNAPEL, S., GROENEWEG, J., und ZÜHLKE, S. (2014): Antibiotika und Antiparasitika im Grundwasser unter Standorten mit hoher Viehbesatzdichte. Texte 27/2014, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

9. HARTMANN, S., DIEPOLDER, M. und LICHTI, F. (2011): Grünland als Biogassubstrat. Biogas-Forum Bayern, Nr. I – 12/2011. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V., Freising.
10. KÖRDEL, W., HERRCHEN, M., MÜLLER, J., KRATZ, S., FLECKENSTEIN, J., SCHNUG, E., SARING, THOMAS, J., HAAMANN, H. und REINHOLD (2007): Begrenzung von Schadstoffeinträgen bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft bei Düngung und Abfallverwertung. UBA-Texte 30/2007, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
11. LFL; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, 10. unveränderte Auflage, Freising-Weihenstephan.
12. LFU; Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008): Austrag von Tierarzneimitteln aus Wirtschaftsdüngern in Sickerwasser, Grund¬wasser und oberirdische Gewässer. (▶ https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/tierarzneimittel_im_sickerwasser /doc/abschlussbericht.pdf).
13. LFU; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2003): Schadstoffe in klärschlammgedüngten Ackerflächen Baden-Württembergs. (▶ http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/13541 /schadstoffe_klaerschlammgeduengt.pdf?command=downloadContent& filename=schadstoffe_klaerschlammgeduengt.pdf).
14. LLFG; Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt, Bernburg, LVLF; Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Güterfelde, und LFBMV; Landwirtschaftliche Fachbehörde des Landes Mecklenburg-Vorpommern, Rostock (2008): Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV), Gemeinsame Hinweise der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt. (▶ http://www.isip.de/coremedia/generator/Inhalt/Nachrichten /Deutschland/Brandenburg/Fachinformationen_20D_C3_BCn¬gung/Brosch_C3_BCren /Richtwerte,property=Dokument.pdf).
15. LTZ (Landwirtschaftliches Technologiezentrum) Augustenberg und CVUA (Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt) Karlsruhe (2009): Transfer von Arzneimittelrückständen in Böden und Pflanzen über Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft. Zwischenbericht. (▶ http://www.ua-bw.de/uploaddoc/cvuaka/Bericht.pdf).
16. LWK (Landwirtschaftskammer) Niedersachsen (2013): Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2012/2013. Herausgeber: Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg.
17. LWK (Landwirtschaftskammer) Niedersachsen (2015): Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2013/2014. Herausgeber: Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg.
18. LWK (Landwirtschaftskammer) Nordrhein-Westfalen (2014): Nährstoffbericht 2014 über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein-Westfalen. Herausgeber: Der Direktor der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen als Landesbeauftragter, Münster.
19. MÖLLER, K., SCHULZ, R. und MÜLLER, T. (2009): Mit Gärresten richtig düngen. Aktuelle Informationen für Berater. Herausgeber: Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenernährung, in Zusammenarbeit mit der E.ON Ruhrgas AG.
20. MÖLLER, K. und SCHULTHEISS, U. (2014): Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau. KTBL-Schrift 499, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt.
21. NIEMANN, H. (2015): Statistik der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte II, 22 – 24. Bonn: STN – Servicegesellschaft Tierische Nebenprodukte mbH.

22. OSTERBURG, B. und TECHEN, A. (2012): Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung. Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung, Abschlussbericht, Braunschweig.

23. PANG, H., ARMBRUSTER, M., MARTENS, D., WIES, K. und WIESLER, F. (2011): Boden-Pflanze-Transfer von anorganischen und organischen Schadstoffen nach langjähriger Klärschlammdüngung. VDLUFA-Schriftenreihe 67, S. 227 – 235, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

24. REGIERUNGSPRÄSIDIUM KARLSRUHE (2015): Antworten auf häufig gestellte Fragen zur PFC-Belastung im Landkreis Rastatt und den Stadtkreisen Baden-Baden und Mannheim. Stand 1. Juni 2015. (▶ http://www.wasser-rastatt.de/files/aktuelles/neue_werte/FAQ-PFC-Stand-01-06-2015.pdf).

25. REX, M., DRISSEN, P., BARTSCH, S., BREUER, J. und PISCHKE, J. (2013): Pflanzenverfügbarkeit von Phosphaten aus Klärschlamm- und Tiermehlaschen nach Aufschluss in flüssiger Konverterschlacke. VDLUFA-Schriftenreihe 69, S. 244 – 253, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

26. RÖMER, W. (2013): Phosphor-Düngewirkung von P-Recyclingprodukten. Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2013 (60), Nr. 3, S. 202 – 215.

27. SCHWAKE-ANDUSCH (2008): Untersuchungen zur Aufnahme von Antibiotika durch Nutzpflanzen. Dissertation, Universität Paderborn.

28. SCHWARZ, L. (2014): Transformation von Tierarzneimitteln und Bioziden in Gülle – Eine Literaturstudie. Texte 56/2014, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

29. STATISTISCHES BUNDESAMT (2008): Statistisches Jahrbuch 2008 für die Bundesrepublik Deutschland. – SFG Servicecenter Fachverlage, Reutlingen.

30. STATISTISCHES BUNDESAMT (2011): Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in landwirtschaftlichen Betrieben – Erhebung zur Wirtschaftsdüngerausbringung, Fachserie 3, Reihe 2.2.2. Wiesbaden.

31. STATISTISCHES BUNDESAMT (2014): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei; Geflügel 2013. Fachserie 3, Reihe 4.2.3. Wiesbaden.

32. STATISTISCHES BUNDESAMT (2015): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei; Viehbestand, 3. November 2014. Fachserie 3, Reihe 4.1. Wiesbaden.

33. TLL (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft) (2012): Merkblatt Eigenschaften von Biogas. Jena.

34. TOLZIN-BANASCH, K. und BÄHR, R.-P. (2014): Analytik von Tierarzneimittelrückständen in organischen Düngestoffen. VDLUFA-Schriftenreihe 70, Kongressband 2014, S. 600 – 603. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

35. UBA; Umweltbundesamt (2013): Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. UBA, Bonn. (▶ http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klaerschlammentsorgung-in-bundesrepublik).

36. VDLUFA; Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (2014): Standpunkt Humusbilanzierung. (▶ http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf).

37. WBA; Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik (2015): Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung. (▶ http://www.bmel.de/DE/Ministerium/Organisation/Beiraete/_Texte/AgrVeroeffentlichungen.html).

38. WENDLAND, M. und LICHTI, F. (2012): Biogasgärreste. Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V., Freising.

39. ZORN, W. und SCHRÖTER, H. (2014): Auswertung aktueller Versuche zur P-Düngung auf dem Ackerland nach der Bilanzmethode. VDLUFA-Schriftenreihe 70, Kongressband 2014, S. 261 – 268, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
40. ZWIENER, C., GRATHWOHL, P., WALZ, A., WENDEL, T. und ZEDDA, M. (2014): Schadstoff-Screening in Klärschlamm. Abschlussbericht, Eberhard Karls Universität Tübingen. (▶ https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Bericht_KS_Screening_ZAG_Uni_Tuebingen_05_2014.pdf).

Autoren

Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen

- Prof. Dr. Franz Wiesler (Vorsitzender); Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA), Speyer
- Dr. Kerstin Hund-Rinke (stellvertretende Vorsitzende); Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie, Schmallenberg
- Prof. Dr. Stefan Gäth; Justus-Liebig-Universität Gießen, Professur für Abfall- und Ressourcenmanagement, Gießen
- Prof. Dr. Eckhard George; Leibniz Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren e.V., Großbeeren
- Prof. Dr. Jörg Michael Greef; Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI), Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig
- Prof. Dr. Ludwig E. Hölzle; Universität Hohenheim, Fachgebiet für Umwelt- und Tierhygiene, Stuttgart
- Dr. Falko Holz; Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg
- Prof. Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen; Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising
- Dr. Rudolf Pfeil; Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Berlin
- Dr. Karl Severin; Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Geschäftsbereich Landwirtschaft, Hannover
- Prof. Dr. Hans-Georg Frede (Gast); Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement, Gießen
- Dipl.-Ing. agr. Birgit Blum (Gast); Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Prüfdienste, Oldenburg
- Prof. Dr. Hans Schenkel (Gast); Universität Hohenheim, Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie, Stuttgart
- Prof. Dr. Walter Horst (Vorsitzender bis 2013); Leibniz Universität Hannover, Institut für Pflanzenernährung, Hannover

Externe Wissenschaftler, die an der Erstellung des Standpunktes beteiligt waren

- Prof. Dr. Klaus Dittert; Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Göttingen
- Prof. Dr. Thomas Ebertseder; Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft, Freising
- Dipl.-Ing. agr. Bernhard Osterburg; Thünen-Institut, Institut für Ländliche Räume, Braunschweig
- Dr. Werner Philipp; Universität Hohenheim, Fachgebiet für Umwelt- und Tierhygiene, Stuttgart
- Dr. Magdalene Pietsch; Julius Kühn-Institut, Institut für Nationale und Internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit, Braunschweig

Geschäftsführung des Wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen

Dr. Thomas Nessel
Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn

Berichte über Landwirtschaft
Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

Tabellenanhang

Tabelle A1: Trockensubstanz- und Nährstoffgehalte sowie Humusproduktionsleistung organischer Dünger / Reststoffe

Stoff	TS-Gehalt [in Prozent]	N-Gehalt [Prozent in der TM]	NH_4-N-Gehalt [Prozent in der TM]	P-Gehalt [Prozent in der TM]	K-Gehalt [Prozent in der TM]	Humusreproduktions-leistung[8] [Häq (t TM)$^{-1}$]
Stalldung[1]						
– Rind	25 (22 - 25)	2,44 (2,00 - 2,92)	0,32 (0,00 - 0,48)	0,58 (0,47 - 0,79)	3,33 (2,30 - 4,27	160
– Schwein	25 (22 - 25)	3,03 (2,40 - 4,55)	0,36 (0,00 - 0,72)	1,16 (0,79 - 1,59)	2,17 (1,09 - 2,68)	160
– Geflügel	50 (28 - 75)	4,00 (1,33 - 6,20)	0,88 (0,00 - 2,53)	1,41 (0,44 - 2,33)	3,00 (2,42 - 4,26)	160
– Schaf	30 (25 - 37)	2,76 (1,57 - 3,20)	0,28 (0,00 - 0,90)	0,62 (0,41 - 0,81)	3,70 (2,33 - 5,41)	160
– Ziege	30 (25 - 30)	2,43 (2,08 - 2,67)	0,52 (0,00 - 0,73)	0,78 (0,63 - 1,31)	4,90 (3,65 - 5,56)	160
– Pferd	25 (25 - 32)	1,80 (1,27 - 2,60)	0,20 (0,00 - 0,56)	0,52 (0,42 - 0,67)	2,38 (2,00 - 4,20)	160
Jauche (Rind)[1]	2,0 (1,5 - 2,5)	12,80 (8,33 - 20,67)	12,40 (6,11 - 13,50)	0,47 (0,00 - 0,87)	32,63 (18,52 - 50,56)	k. A.
Gülle[1]						
– Rind	7,5 (3,0 - 12,0)	4,75 (3,20 - 12,00)	2,56 (2,22 - 6,67)	0,87 (0,44 - 2,40)	5,17 (3,80 - 10,28)	130
– Schwein	5,0 (1,5 - 12,0)	9,35 (6,53 - 16,67)	6,25 (4,60 - 14,00)	2,43 (1,48 - 3,32)	5,08 (3,17 - 10,00)	100
– Geflügel	12,0 (11,0 - 14,0)	7,58 (6,57 - 9,83)	4,64 (4,17 - 5,83)	3,17 (2,18 - 3,92)	4,17 (2,98 - 4,77)	80
Hühnertrockenkot[1]	50 (40 - 70)	4,73 (3,44 - 5,72)	1,87 (1,53 - 2,22)	1,73 (1,31 - 2,01)	2,62 (2,20 - 3,34)	85
Biogasgülle[2]	6,4 (3,8 - 10,1)	8,04 (6,04 - 13,04)	4,97 (2,8 - 9,0)	1,13 (0,95 - 2,13)	6,03 (4,19 - 7,81)	116
Bioabfallkompost[3]	61,3	1,48	0,09	0,34	1,10	120
Grüngutkompost[3]	58,7	1,16	0,01	0,22	0,80	120
Klärschlamm[4]	3,5	4	1,1	2,85	0,26	80
tierische Nebenprodukte[5]						
– Fleischknochenmehl	96,2	8,3	0,11	5,31	0,65	k. A.
– Fleischmehl	94,6	8,7	-	2,98	2,58	k. A.
– Blutmehl	94,2	14,2	0,85	0,42	0,50	k. A.
pflanzliche Nebenprodukte[6]						
– Vinasse	65 (25,0 - 75,3)	5,23 (3,20 - 8,40)	0,72 (0,10 - 3,30)	0,21 (0,03 - 0,92)	7,3 (2,91 - 12,5)	k. A.
– Kartoffelfruchtwasser	3 (0,8 - 6,4)	7,25 (3,8 - 13,8)	1,15 (0,68 - 2,76)	1,12 (0,35 - 2,07)	12,8 (7,14 - 18,1)	k. A.
– Kartoffelfruchtwasserkonzentrat	50 (39,6 - 56,8)	4,85 (3,00 - 5,80)	0,11 (0,06 - 0,31)	0,99 (0,31 - 1,22)	13,8 (5,81 - 16,8)	k. A.
– Schlempe (Bioethanolherstellung)	89 (87,2 - 93,4)	4,85 (3,82 - 6,08)	-	0,85 (0,50 - 1,02)	0,95 (0,65 - 1,24)	k. A.
– Schlempe (Getreide)	6 (3,0 - 12,8)	4,79 (3,30 - 5,87)	0,07 (0,03 - 0,27)	0,99 (0,27 - 2,07)	1,79 (0,77 - 3,49)	k. A.
– Schlempe (Kartoffeln)	5 (4,5 - 6,0)	4,93 (3,60 - 5,61)	0,13 (0,05 - 0,22)	0,60 (0,31 - 0,75)	6,26 (4,81 - 8,88)	k. A.
pflanzliche Biomasse[7]						
– Getreidestroh	86	0,60		0,15	1,4	115
– Rübenblatt	18	2,20		0,27	3,29	80
– Gründüngung	15 (11 - 19)	2,33 (2,33 - 3,67)		0,32 (0,32 - 0,47)	2,50 (2,50 - 3,41)	80

Quellen: [1] Mittelwerte aus Kalkulationstabellen verschiedener Bundesländer; Spannen geben die MIN- und MAX-Werte der verschiedenen Mittelwerte an.
[2] Mittelwerte aus Kalkulationstabellen verschiedener Bundesländer; Spannen geben die MIN- und MAX-Werte der verschiedenen Mittelwerte an.
[3] Bioabfallkompost: BGK; n = 1722, 2013; Grüngutkompost: BGK; n = 1138, 2013.
[4] UBA, 2012.
[5] MÖLLER und SCHULTHEISS, 2014.
[6] MÖLLER und SCHULTHEISS, 2014.
[7] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2012.
[8] Nach VDLUFA-Standpunkt Humusbilanzierung, 2014.

Tabelle A2: Maximale Ausbringungsmengen und Nährstofffrachten (unter Zugrundelegung der in Tabelle A1 genannten Nährstoffgehalte)

Stoff	max. Ausbringungsmenge [t TM ha^{-1}]	N-Menge [kg ha^{-1}]	NH_4-N-Menge [kg ha^{-1}]	P-Menge [kg ha^{-1}]	K-Menge [kg ha^{-1}]	Humuszufuhr [Häq ha^{-1}]
Stalldung						
– Rind	7,0	170	22	41	233	1116
– Schwein	5,6	170	20	65	122	898
– Geflügel	4,3	170	37	60	128	680
– Schaf	6,2	170	17	38	228	986
– Ziege	7,0	170	37	54	342	1118
– Pferd	9,4	170	19	50	225	1511
Jauche (Rind)	1,3	170	165	6	433	k. A.
Gülle						
– Rind	3,6	170	92	31	185	465
– Schwein	1,8	170	114	44	82	182
– Geflügel	2,2	170	101	71	93	179
Hühnertrockenkot	3,6	170	67	62	94	306
Biogasgülle	2,11	170	105	24	127	244
Bioabfallkompost	10,0	148	9	34	110	1200
Grüngutkompost	10,0	116	1	22	80	1200
Klärschlamm	1,67	67	18	48	4	134
tierische Nebenprodukte						
– Fleischknochenmehl	2,1	170	2	109	13	k. A.
– Fleischmehl	2,0	170	-	58	50	k. A.
– Blutmehl	1,2	170	1	5	6	k. A.
pflanzliche Nebenprodukte						
– Vinasse	3,3	170	23	7	237	k. A.
– Kartoffelfruchtwasser	2,3	170	27	26	300	k. A.
– Kartoffelfruchtwasserkonzentrat	3,5	170	4	35	484	k. A.
– Schlempe (Bioethanolherstellung)	3,5	170	-	30	33	k. A.
– Schlempe (Getreide)	3,5	170	3	35	64	k. A.
– Schlempe (Kartoffeln)	3,5	170	5	21	216	k. A.
pflanzliche Biomasse						
– Getreidestroh	7,7	46		12	108	890
– Rübenblatt	12,6	277		34	415	1008
– Gründüngung	3,8	87		15	100	300

Tabelle A3: Schwermetallgehalte organischer Dünger und organischer Reststoffe

Stoff	Cadmium [mg (kg TM)$^{-1}$]	Chrom [mg (kg TM)$^{-1}$]	Nickel [mg (kg TM)$^{-1}$]	Kupfer [mg (kg TM)$^{-1}$]	Blei [mg (kg TM)$^{-1}$]	Zink [mg (kg TM)$^{-1}$]
Stalldung[1]						
– Rind	0,24 / 0,3	9,7 / 3,7 - 6,1	7,4 / 4,1 - 6,1	34,2 / 25 - 35	5,8 / 3,2 - 5,2	144 / 122 - 161
– Schwein	0,36 / 0,4	12,3 / 13,7	5,2 / 4,9	213 /206	1,9 / 1,9	491 / 265
– Geflügel	0,44 - 0,86 / 0,5	6,1 - 30,7 / 22,1	5,1 - 13,2 / 6,5	67,8 - 122 / 150	2,8 - 7,2 / 2,6	362 - 419 / 395
– Schaf	0,38 / k. A.	54,7 / k. A.	15,8 / k. A.	24,3 / k. A.	25,2 / k. A.	101 / k. A.
– Ziege	0,27 / k. A.	2,4 / k. A.	4,4 / k. A.	13,2 / k. A.	4,8 / k. A.	124 / k. A.
– Pferd	0,21 / k. A.	5,9 / k. A.	6,9 / k. A.	12,2 / k. A.	4,2 / k. A.	63,2 / k. A.
Jauche (Rind)[1]	0,19 / 0,3	- / 2,9	- / 2,2	20,5 / 17	3,6 / 2,2	124 / 86
Gülle[1]						
– Rind	0,28 / 0,3 - 0,5	4,8 / 5,3 - 681	5,4 / 6,2 - 7,9	53,7 / 37 - 48	4,7 / 4,1 - 10,4	225 / 190 - 323
– Schwein	0,29 / 0,3 - 0,5	6,7 / 3,6 - 10,3	9,8 / 6,5 - 16,0	225 / 184 - 1165	4,5 /3,2 - 5,7	864 / 647 - 1884
– Geflügel	k. A.	k. A.	k. A.	64,2 / k. A.	k. A.	541 / k. A.
Hühnertrockenkot[1]	0,34 / 0,2	5,7 / 3,3 - 9,8	4,8 / 4,7 - 8,2	60,3 / 45	2,6 / 2,4 - 2,9	388 / 371 - 430
Biogasgülle[2]	0,36 (0,30 - 0,42)	7,1 (6,5 - 7,6)	7,96	216 (63 - 393)	2,60 (1,17 - 4,04)	467 (249 - 620)
Bioabfallkompost[3]	0,39	22,6	13,7	45,5	32,1	179
Grüngutkompost[3]	0,36	19,8	12,8	31,2	28,8	145
Klärschlamm[4]	0,96 / 1,3	37 / 36	24,9 / 31	300 / 270	37 / 48	714 / 894
tierische Nebenprodukte						
– Fleischknochenmehl[5]	0,21 (0,00 - 1,74)	13,7 (1,16 - 183)	3,31 (0,01 - 37,9)	11,4 (1,66 - 26,5)	2,97 (0,01 - 36,2)	109 (55,0 - 174)
– Fleischmehl						
– Blutmehl						
pflanzliche Nebenprodukte[6]						
– Vinasse	0,27 (0,05 - 0,60)	9,19 (0,01 - 24,1)	9,46 (0,1 - 25,1)	9,75 (0,7 - 40,0)	1,70 (0,06 - 4,42)	29,3 (2,7 - 85,7)
– Kartoffelfruchtwasser	0,53 (0,38 - 0,80)	4,3 (2,0 - 10,9)	4,05 (2,0 - 10,2)	12,9 (4,9 - 21,3)	4,67 (2,0 - 10,0)	99,8 (80,1 - 132)
– Kartoffelfruchtwasserkonzentrat	0,43 (0,10 - 0,50)	2,45 (0,50 - 8,80)	1,52 (0,75 - 5,00)	16,6 (5,0 - 22,0)	1,32 (0,50 - 5,0)	121 (56 - 143)
– Schlempe (Bioethanolherstellung)	k. A.	k. A.	6,17 (1,60 - 23,4)	7,42 (3,00 - 62,6)	k. A.	92,5 (44,0 - 312)
– Schlempe (Getreide)	0,55 (0,51 - 0,58)	k. A.	k. A.	62,0 (36,0 - 106)	k. A.	19,5 (15,0 - 24,0)
– Schlempe (Kartoffeln)	0,22 (0,15 - 0,34)	1,07 (0,63 - 1,47)	0,85 (0,17 - 1,55)	88,0 (16,0 - 347)	0,58 (0,34 - 1,17)	48,7 (34,3 - 79,2)
pflanzliche Biomasse[7]	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
– Getreidestroh						
– Rübenblatt						
– Gründüngung						

Quellen: [1] Wirtschaftseigene Dünger: vor "/": UBA Texte 30/07, konventionelle Wirtschaftsweise; nach "/": HANS SCHENKEL, persönliche Mitteilung;
[2] Biogasgülle: verschiedene Quellen (Zusammenstellung DITTERT), Angaben in Klammern stellen Min- und Max-Werte der Mittelwerte (!) verschiedener Studien dar;
[3] Bioabfallkompost, Grüngutkompost: BGK, 2013;
[4] Klärschlamm: BERGS (BMUB) / WIESLER (Klärschlämme RLP);
[5] tierische Nebenprodukte: MÖLLER und SCHULTHEISS, 2014;
[6] pflanzliche Nebenprodukte: MÖLLER und SCHULTHEISS, 2014.

Tabelle A4: Schwermetallfrachten organischer Dünger und Reststoffe (unter Zugrundelegung der in Tabelle 2 genannten maximalen Ausbringungsmengen und der in Tabelle 3 genannten Schwermetallgehalte)

Stoff	Cadmium [g ha^{-1}]	Chrom [g ha^{-1}]	Nickel [g ha^{-1}]	Kupfer [g ha^{-1}]	Blei [g ha^{-1}]	Zink [g ha^{-1}]
Stalldung[1]						
– Rind	1,7 - 2,1	26 - 68	29 - 52	175 - 245	22 - 41	854 - 1127
– Schwein	2,0 - 2,2	69 - 77	27 - 29	1154 - 1193	11	1484 - 2750
– Geflügel	1,9 - 3,7	26 - 132	22 - 57	292 - 645	11 - 31	1557 - 1802
– Schaf	2,4	339	98	151	156	626
– Ziege	1,9	17	31	92	34	868
– Pferd	2,0	56	65	115	40	594
Jauche (Rind)	0,2 - 0,4	3,8	2,9	22 - 27	2,9 - 4,7	112 - 161
Gülle						
– Rind	1,0 - 1,8	17,3 - 2452	19,4 - 28,4	133 - 193	14,8 - 37,4	684 - 1163
– Schwein	0,5 - 0,9	6,5 - 18,5	11,7 - 28,8	331 - 2097	5,8 - 10,3	1165 - 3391
– Geflügel	k. A.	k. A.	k. A.	141	k. A.	1190
Hühnertrockenkot	0,7 - 1,2	11,9 - 35,3	16,9 - 29,5	162,0 - 217,1	8,6 - 10,4	1336 - 1548
Biogasgülle	0,63 - 0,89	13,7 - 16,0	16,8	133 - 829	2,5 - 8,5	525 - 1308
Bioabfallkompost	3,9	226	137	455	321	1790
Grüngutkompost	3,6	198	128	312	288	1450
Klärschlamm	1,6 - 2,2	61 - 62	42 - 53	459 - 511	63 - 82	1213 - 1520
tierische Nebenprodukte						
– Fleischknochenmehl	0,44 (0,0 - 3,7)	29 (2 - 384)	7 (0 - 80)	24 (3,5 - 56)	6,2 (0 - 76)	229 (115 - 365)
– Fleischmehl	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
– Blutmehl	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
pflanzliche Nebenprodukte[1]						
– Vinasse	0,2	0,0 - 79,5	0,3 - 82,8	2,3 - 132,0	0,2 - 14,6	9 - 283
– Kartoffelfruchtwasser	0,9	4,6 - 25,1	4,6 - 23,5	11,3 - 49,0	4,6 - 23,0	184 - 304
– Kartoffelfruchtwasserkonzentrat	0,4 - 1,8	1,8 - 30,8	2,6 - 17,5	17,5 - 77,0	1,8 - 17,5	196 - 501
– Schlempe (Bioethanolherstellung)	k. A.	k. A.	5,6 - 81,9	10,5 - 217,0	k. A.	154 - 1092
– Schlempe (Getreide)	1,8 - 2,0	k. A.	k. A.	126,0 - 371,0	k. A.	53 - 84
– Schlempe (Kartoffeln)	0,5 - 1,2	2,2 - 5,1	0,6 - 5,4	56,0 - 1214,5	1,2 - 4,1	120 - 277
pflanzliche Biomasse	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

Anmerkung: [1] Berechnung der Spannen unter Zugrundelegung der Ausbringungsmengen in Tabelle A2 und der MIN- / MAX- Werte oder der Angaben verschiedener Autoren in Tabelle A3.

Tabelle A5: Seuchenhygienische Risiken bei der landwirtschaftlichen Verwertung organischer Reststoffe

Stoff	Vorkommen von pathogenen Bakterien und Viren in unbehandelten organischen Reststoffen
Stalldung[2] - Rind[2] - Schwein[2] - Geflügel[2] - Schaf[2] - Ziege[2] - Pferd[2]	Salmonellen, *Escherichia coli*, ESBL-tragende *E. coli*, Mycobakterien, Clostridien, Yersinien, *Staphylococcus aureus* (Methicillin resistent); Chlamydien
Jauche (Rind)[2]	*E. coli*, Enterobacteriaceae
Gülle[1] - Rind[1] - Schwein[1] - Geflügel[1]	Salmonellen, *E. coli*, ESBL-tragende *E. coli*, Mykobakterien, Clostridien spp., Yersinien, *Staphylococcus aureus* (Methicillin resistent), Chlamydien, Listerien, *Klebsiella pneumoniae*, Rota- und Coronaviren
Biogasgülle mesophil[1,2], thermophil[3]	Salmonellen, *E. coli*, Clostridien, Yersinien
Bioabfallkompost[3*,4]	*E. coli*, Enterobacteriaceae, *Klebsiella* spp. Clostridien, Pilzsporen
Grüngutkompost[3*]	*E. coli*, Enterobacteriaceae, Pilzsporen
Klärschlamm[1]	Salmonellen
tierische Nebenprodukte - Fleischknochenmehl[3] - Fleischmehl[3] - Blutmehl[3]	Salmonellen, *E. coli*, Clostridiensporen
pflanzliche Nebenprodukte - Vinasse[3] - Kartoffelfruchtwasser[3] - Schlempe[4]	Coliforme, Enterobacteriaceae
pflanzliche Biomasse - Getreidestroh[3] - Rübenblatt[3] - Gründüngung[3]	Coliforme, Enterobacteriaceae, Pilzsporen

*Anmerkungen: [1] hohes seuchenhygienisches Risiko; [2] mittleres seuchenhygienisches Risiko; [3] geringes seuchenhygienisches Risiko; * nach BioAbfV (2012) kompostiert; [4] vernachlässigbares seuchenhygienisches Risiko.*

Tabelle A6: Hygienische Risiken bei der landwirtschaftlichen Verwertung organischer Reststoffe (Phytohygiene)

Stoff	Nachweis des Vorkommens oder der Überdauerung von Schadorganismen von Pflanzen in organischen Reststoffen
Stalldung[3]	**Nematoden:** *Globodera rostochiensis*; **Pilze:** *Plasmodiophora brassicae, Verticillium albo-atrum, Sclerotinia sclerotiorum, Sclerotium rolfsii, Synchytrium endobioticum, Polymyxa betae*; **Viren:** Beet necrotic yellow vein virus; **Unkräuter:** *Chenopodium album, Echinochhloa crus-galli, Polygonum persicaria, Setaria viridis, Amar-anthus retroflexus*
Jauche	Untersuchungen sind nicht bekannt; eine Einschwemmung von Schadorganismen bei Fütterung von infizierten Pflanzenteilen über den Stallboden ist möglich;
Gülle[3]	Untersuchungen sind nicht bekannt; Kontaminationsmöglichkeit gegeben, siehe Stalldung und Jauche;
Biogasgülle, mesophil[1-2]	**Bakterien:** *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus*; **Pilze:** *Synchytrium endobioticum, Plasmodiophora brassicae*; **Viren:** Tobacco mosaic virus; **Unkräuter:** *Chenopodium album, Trifolium pratense, Medicago sativa, Medicago lupulina, Vicia sp., Trifolium repens*
Biogasgülle, thermophil[2-3]	**Viren:** Tobacco mosaic virus
Bioabfallkompost[2] Grüngutkompost[2]	**Bakterien:** *Clavibacter michiganensis* ssp. sepedonicus; **Pilze:** *Synchytrium endobioticum*
Klärschlamm[1]	**Nematoden:** *Globodera rostochiensis, G. pallida*; **Pilze:** *Polymyxa betae, Synchytrium endobioticum;* **Viren:** Beet necrotic yellow vein virus; **Unkräuter:** *Solanum lycopersicum, Chenopodium album, Chenopodium ficifolium, Amaranthus retroflexus, Polygonum lapathifolium, Echinocloa crus-galli*
tierische Nebenprodukte[3]	Spezifische Untersuchungen sind nicht bekannt; Kontaminationsmöglichkeit gegebenenfalls bei Magen- und Darminhalten gegeben, vergleichbar Stalldung, Jauche und Gülle;
pflanzliche Nebenprodukte[1] pflanzliche Biomasse[1]	Nicht hygienisierend behandelte pflanzliche Nebenprodukte und Biomassen können mit jeglichen widerstandsfähigen Schadorganismen von Pflanzen kontaminiert sein. Oftmals haftet den pflanzlichen Ausgangsstoffen Erde an, die ein hohes Übertragungsrisiko für Nematoden und bodenbürtige Pathogene birgt. Teilweise handelt es sich bei den organischen Reststoffen um Mischungen aus Erde und pflanzlichen Bestandteilen. Sofern eine Behandlung durchgeführt worden ist, ist das Risiko entsprechend dem entstehenden Stoff (Biogasgülle mesophil, thermophil oder Kompost) einzustufen.

Anmerkungen: [1] hohes Risiko: Überdauerung ist wahrscheinlich im Fall von widerstandsfähigen Schadorganismen von Pflanzen, wenn keine oder nur eine unzureichend hygienisierende Behandlung erfolgt (zum Beispiel pflanzliche Nebenprodukte und Biomassen sowie Klärschlamm).
[2] mittleres Risiko: Die Behandlung hat eine inaktiverende Wirkung auf eine Vielzahl von Schadorganismen. Einzelne besonders widerstandsfähige Schadorganismen können die Behandlung überdauern. Bei der Vergärung (Biogasgülle) haben die Temperatur und die Expositionszeit im Fermenter einen großen Einfluss auf die Hygienisierungswirkung. Das Risiko ist daher stark abhängig vom Behandlungsregime.
[3] geringes/kein hygienisches Risiko: Das Risiko ist gering, weil hohe Temperaturen eine Hygienisierung bewirken (Biokohle) oder weil eine Verfütterung stark infizierter Pflanzenteile nur in seltenen Fällen erfolgt (Stalldung, Jauche, Gülle) oder Schadorganismen von Pflanzen in dem jeweiligen Stoff nicht vorkommen (tierische Nebenprodukte).

Abkürzungen

AbfKlärV	Klärschlammverordnung
BioAbfV	Bioabfallverordnung
Cd	Cadmium
dl-PCB	dioxinähnliche PCB
DüV	Düngeverordnung
FM	Frischmasse
Häq	Humusäquivalent
k. A.	keine Angabe
MDÄ	Mineraldüngeräquivalent
NawaRo	nachwachsende Rohstoffe
PAK	polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	polychlorierte Biphenyle
PCDD/PCDF	polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und polychlorierte Dibenzofurane
PFC	per- und polyfluorierte Chemikalien
PFOA	Perfluoroktansäure
PFOS	Perfluoroktansulfonsäure
QS	Qualitätssicherungssystem
TM	Trockenmasse