

ICS 13.030.50; 65.080

Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau

Quality assurance of recycling products from dry toilets for use in horticulture

Assurance qualité du recyclage des produits des toilettes sèches pour l'horticulture

Gesamtumfang 50 Seiten

Dieses Dokument wurde durch die im Vorwort genannten Verfasser erarbeitet und verabschiedet.



Inhalt

| | Seite |
|---|-----------|
| Vorwort | 3 |
| Einleitung | 5 |
| 1 Anwendungsbereich | 9 |
| 2 Normative Verweisungen | 9 |
| 3 Begriffe | 12 |
| 4 Anforderungen | 15 |
| 4.1 Allgemeines | 15 |
| 4.2 Relevante Anforderungskategorien | 15 |
| 4.2.1 Seuchenhygiene bzw. Infektionsschutz | 15 |
| 4.2.2 Phytohygiene | 15 |
| 4.2.3 Schadstoffarmut | 15 |
| 4.2.4 Gartenbauliche Eignung | 15 |
| 4.2.5 Sonstiges | 16 |
| 4.3 Erfüllung der Anforderungen | 16 |
| 4.4 Durchzuführende Analysen | 16 |
| Anhang A (normativ) Grenzwerte, Kennzeichnungsschwellen und Mindestgehalte bei Recyclingdüngern aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft | 18 |
| Anhang B (informativ) Hinweise zur Probenahme für Analysen der Recyclingdünger | 33 |
| Anhang C (informativ) Offene Liste möglicher Labore | 37 |
| Anhang D (informativ) Mögliche Abweichungen der Analysen | 39 |
| Anhang E (informativ) Praktische Anwendungsempfehlungen | 40 |
| E.1 Allgemeines | 40 |
| E.2 Gartenbauliche Anwendungsempfehlungen zur Düngung | 40 |
| E.3 Technische Anwendungsempfehlungen zur Behandlung von Inhalten aus Trockentoiletten | 41 |
| E.4 Technische Anwendungsempfehlungen zum Betrieb von Trockentoiletten | 42 |
| Anhang F (informativ) Darstellung der Gesetze und Verordnungen | 44 |
| Anhang G (informativ) Ergebnisse der Proof-of-Concept-Versuche | 47 |
| Literaturhinweise | 49 |

Vorwort

Diese DIN SPEC wurde nach dem PAS-Verfahren erarbeitet. Die Erarbeitung von DIN SPEC nach dem PAS-Verfahren erfolgt in DIN SPEC (PAS)-Konsortien und nicht zwingend unter Einbeziehung aller interessierten Kreise.

Die Erarbeitung und Verabschiedung des Dokuments erfolgten durch die nachfolgend genannten Initiator*innen und Verfasser*innen:

- Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau e. V. (IGZ)
Dr.-Ing. Ariane Krause
Franziska Häfner
Emma Harlow
- FINIZIO GmbH
Florian Augustin
- Goldeimer gGmbH
Enno Schröder
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ)
Dipl.-Ing. Tobias Hübner
- Kollektiv für angepasste Technik (KanTe)
Lisa Häfner
- Fachverband Pflanzenkohle e. V.
Malte Kraus
- Eawag, das Wasserforschungsinstitut im ETH-Bereich
Prof. Dr. Kai Udert
- Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e. V. (BDE)
Kathrin Brand
Sandra Giern
- Netzwerk für nachhaltige Sanitärsysteme (NetSan e. V.)
Isabelle Fischer
Tobias Hofmann
- Holzapfel + Konsorten GmbH & Co. KG
Karsten Holzapfel
- Technische Universität (TU) Berlin, Fachgebiet Kreislaufwirtschaft und Recyclingtechnologie
Janine Korduan
- DYCLE c/o Zukunft Pflanzen e. V.
Christian Schloh
- LotusConsulting
Dr.-Ing. Jürgen Stäudel

DIN SPEC 91421:2020-12

Für dieses Thema bestehen derzeit keine Normen im Deutschen Normenwerk.

DIN SPEC (PAS) sind nicht Teil des Deutschen Normenwerks.

Für diese DIN SPEC (PAS) wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Trotz großer Anstrengungen zur Sicherstellung der Korrektheit, Verlässlichkeit und Präzision technischer und nicht-technischer Beschreibungen kann das DIN SPEC (PAS)-Konsortium weder eine explizite noch eine implizite Gewährleistung für die Korrektheit des Dokuments übernehmen. Die Anwendung dieses Dokuments geschieht in dem Bewusstsein, dass das DIN SPEC (PAS)-Konsortium für Schäden oder Verluste jeglicher Art nicht haftbar gemacht werden kann. Die Anwendung der vorliegenden DIN SPEC (PAS) entbindet den Nutzer nicht von der Verantwortung für eigenes Handeln und geschieht damit auf eigene Gefahr.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dem Anwender dieses Dokuments ist unbeschadet der Rechte des DIN e.V. an der Gesamtheit des Dokuments die Vervielfältigung der Vorlage in Anhang B gestattet.

Die kostenfreie Bereitstellung dieses Dokuments als PDF-Version über den Beuth WebShop wurde im Vorfeld finanziert.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Einleitung

Fachlicher Hintergrund

Menschliche Fäkalien werden in Ländern wie Deutschland, Österreich oder der Schweiz fast ausschließlich in Abwässer eingeleitet und nicht weiter stofflich verwertet. Während tierische Ausscheidungen fester Bestandteil der Düngung sind, werden die Stoffe menschlicher Herkunft nicht rezykliert, obwohl ein deutliches Düngepotential besteht. Menschliche Ausscheidungen enthalten essentielle Pflanzennährstoffe und sind oftmals weniger belastet als andere Abfälle, die zur Herstellung von Recyclingdüngern verwendet werden. Laut der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) könnten Recyclingdünger aus menschlichen Ausscheidungen, je nach Makroelement, 17 % bis 25 % der in Deutschland eingesetzten synthetischen Mineraldünger substituieren und damit einen wichtigen Beitrag zum Ressourcen- und Klimaschutz leisten (DWA, 2015).

Technische Systeme, die eine dezentrale Sammlung, Behandlung und Verwertung der Stoffströme Urin und Fäzes sowie ein kreislauforientiertes Nährstoff-Recycling zum Ziel haben, werden im deutsch-sprachigen Raum auch unter dem Begriff „Neuartige Sanitärsysteme“ (kurz: NASS) zusammengefasst. Neuartige Sanitärsysteme sind in Deutschland etabliert und stellen eine notwendige Komplementierung der konventionellen Techniken wie Wassertoilette, Kanalisation und zentrale Kläranlage dar. NASS entsprechen dem Stand der Technik und Wissenschaft.

Technologisch basieren NASS auf kreislauf-orientierten, also „erneuerbaren“ Technologien, die (i) die Verwendung von Frischwasser als Spülwasser weitestgehend vermeiden, (ii) die Rückgewinnung von Nährstoffen ermöglichen und (iii) Stoffströme nach Möglichkeit getrennt erfassen. Diese zuletzt genannte „Stoffstromtrennung“ ermöglicht eine genaue Analyse der Frachten an Nährstoffen, Krankheitserregern oder Schadstoffen (z. B. Schwermetalle oder organischen Mikroschadstoffe wie Arzneimittelrückständen) sowie eine spezifische Behandlung der unverdünnten Stoffströme. Ziel der Behandlung ist es, Krankheitserreger zu inaktivieren („Hygienisierung“) und Schadstoffe zu eliminieren, um letztlich die zurückbleibenden Nährstoffe sicher zu rezyklieren. Zur Stoffstromtrennung „an der Quelle“, werden häufig Trockentoiletten verwendet, in denen menschliche Fäkalien ohne Wasserspülung gesammelt werden. Diese NASS-Technik ist dezentral, modular und flexibel einsetzbar und bildet ein wichtiges Kernelement einer zukunftsfähigen, nachhaltigen und global-verfügbaren Sanitärtechnik.

Bedarf für die vorliegende Spezifikation

Bisher ist der Bekanntheitsgrad von NASS in der Öffentlichkeit in Deutschland, Österreich und der Schweiz eher gering. In den letzten 5 Jahren hat sich jedoch im Bereich der mobilen Trockentoiletten für Veranstaltungen sowie für stationäre/eingebaute Trockentoiletten für Gartenlauben und Wohnmobile ein neuer Markt entwickelt. Nachhaltigkeitsleitbild ist die Transformation der Sanitärversorgung von einem entsorgungs- zu einem verwertungs-orientierten Sektor sowie der Verzicht auf umweltschädliche Chemikalien, die sonst häufig bei nicht-kanalisationsgebundener Sanitärversorgung eingesetzt werden. Der Aufbau der jungen Trockentoiletten-Branche wird aktuell durch eine Reihe administrativer, juristischer und wirtschaftlicher Unsicherheiten bei der verwertungsorientierten, bodenbezogenen Behandlung sowie bzgl. der Absatzmöglichkeiten der Recyclingprodukte gehemmt.

Besonders rechtliche Rahmenbedingungen für das Inverkehrbringen von Düngemitteln stellen derzeit eine Hürde dar, Rohstoffe anthropogenen Ursprungs für die Düngung nutzbar zu machen. Existierende Gesetze, Normen und Standards gelten bisher ausschließlich für Recyclingdünger, die aus Ausgangssubstraten pflanzlicher oder tierischer Herkunft hergestellt werden; nicht aber aus anthropogenen Ausgangssubstraten. Auch auf europäischer Ebene fehlen normative oder gesetzliche Regelungen für Recyclingprodukte aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft. In der Konsequenz befindet sich auf dem deutschen oder österreichischen Markt derzeit kein solcher Recyclingdünger. Die weltweit erste Zulassung eines Düngers aus menschlichem Urin erfolgte 2018 in der Schweiz.

In der Debatte um die Nutzung menschlicher Ausscheidungen als Ressource zur Herstellung von Recyclingdüngern für die landwirtschaftliche und/oder gartenbauliche Anwendung spielt besonders die Qualitätssicherung eine zentrale Rolle. Die vorliegende Produktspezifikation legt Qualitätsanforderungen an Recyclingdünger aus menschlichen Ausscheidungen fest. Er soll als Maßstab dienen, um die Qualität verschiedener Recyclingdünger kontrollieren und vergleichen zu können. Diese DIN SPEC dient zur Unterstützung um (i) existierende Unsicherheiten bei der Vermarktung von Recyclingdüngern aus menschlichen Ausscheidungen abzubauen, (ii) den Dialog mit der Politik zu fördern und (iii) nachhaltige, kreislaforientierte Sanitärsysteme und Dünger-Alternativen zu etablieren.

Ziel der Spezifikation

Die vorliegende Produktspezifikation legt **Qualitätskriterien und Anforderungen für vermarktungsfähige und qualitätsgesicherte Recyclingprodukte aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft zur Anwendung als Dünger im Gartenbau** fest. Besonders beachtet wird dabei die Sicherstellung der seuchenhygienischen Unbedenklichkeit sowie eine hinreichende Qualität der Recyclingdünger in Bezug auf Schadstoffarmut und Nährstoffverfügbarkeit. Der Standard orientiert sich dabei an der deutschen sowie der europäischen Gesetzgebung für Düngemittel bzw. Recyclingdünger.

Die Produktspezifikation soll direkt die Vermarktungsfähigkeit der Recyclingprodukte auf dem deutschen sowie dem europäischen Markt verbessern und somit den Branchenaufbau erleichtern. Übergeordnet soll damit auch ein Nachhaltigkeitsbeitrag zur Etablierung *integrierter* Kreislaufwirtschaften – mit Nährstoff-Recycling durch die Kopplung von Sanitärversorgung und Nahrungsproduktion – geleistet werden, in dem die praktische Anwendung von Recyclingdüngern im Gartenbau gefördert wird.

Vorgehensweise bei der Erarbeitung der Spezifikation

Die vorliegende DIN SPEC wurde in insgesamt fünf Schritten erarbeitet:

1) *Definition des Betrachtungsgegenstands*

„Inhalte aus Trockentoiletten“ wurden in drei wesentliche Stoffgruppen kategorisiert:

- **menschliche Ausscheidungen:** Urin, Fäzes, Blut, Erbrochenes;
- **betriebsübliche Zuschlagstoffe:** (i) toilettenbezogene Zuschlagstoffe (Toilettenpapier, Einstreumaterial, Reinigungsmittel) und (ii) verwertungsbedingte Zuschlagstoffe (z. B. für die Kompostierung oder die Aufbereitung von Urin);
- **Störstoffe:** Abfälle wie Hygieneartikel, Verpackungsmüll oder Glas und Inhalte aus Chemietoiletten.

2) *Durchführung einer Risikoanalyse*

Laut Deutschem Düngerecht muss die Qualitätssicherung die sachgerechte Anwendung eines Düngeprodukts sicherstellen, sodass die Bodenfruchtbarkeit, Pflanzengesundheit und Umwelt, aber auch die Gesundheit von Mensch und Tier nicht beeinträchtigt oder gefährdet wird. Aus dieser Forderung lassen sich konkrete Anforderungen an Merkmale und Eigenschaften der Recyclingdünger ableiten. Um diese genauer festzulegen, wurde im Rahmen dieser DIN SPEC eine Risikoanalyse angefertigt. Dabei wurden zunächst folgende Risikokategorien festgelegt; anschließend wurde die Relevanz dieser Risikokategorien für alle unter 1) genannten Stoffgruppen systematisch betrachtet und eingeordnet (Krause et al., 2020).

- **Seuchenhygiene bzw. Infektionsschutz,** betrifft die Sicherstellung der „seuchenhygienischen Unbedenklichkeit“, die durch Hygiene-Maßnahmen, also durch die Eliminierung bzw. Inaktivierung von Pathogenen, erreicht wird.

- **Phytohygiene**, betrifft die Herstellung und Verwendung keimfreier Substrate, was durch eine Behandlungsmethode zur Abtötung von Schaderregern und Unkrautsamen erreicht wird, die insbesondere durch pflanzliches Material eingebracht werden.
- **Schadstoffarmut**, betrifft die Vermeidung einer übermäßigen Belastung der Umwelt (z. B. Boden und Gewässer) mit Substanzen in kritischen Konzentrationen, wie z. B. Schwermetalle, Mikroplastik oder organischen Spurenstoffen, wie z. B. pharmazeutische Rückstände (Medikamente und Hormone).
- **Gartenbauliche Eignung** der Recyclingprodukte für die Verwendung als Dünger im Gartenbau, betrifft z. B. Nährstoffgehalte, die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe (d. h. Nährstoff-Löslichkeit), den Nachweis einer Düngewirkung, oder eine ausreichende Homogenität und Handhabbarkeit des Produkts.

Die **wichtigsten Ergebnisse** der Risikoanalyse, die in die Definition der Kriterien bzw. der zu analysierenden Parameter integriert wurden, sind in **Abschnitt 4 „Anforderungen“** zusammengefasst. Die komplette Risikoanalyse (verfasst in deutscher Sprache) ist auf der Seite des Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) e. V. frei zum Download verfügbar (Krause et al., 2020).

3) Durchführung einer Metaanalyse und umfassende Darstellung der Grenzwerte und Mindestgehalte

Zur Qualitätssicherung bei der Anwendung von Recyclingdüngern im Gartenbau ist neben einer sachgerechten Behandlung auch die Einhaltung des Abfall- und Düngerechts notwendig. Ziel der Metaanalyse war es, ein Verständnis für die bestehenden Gesetze, Verordnungen und Normen zu gewinnen und daraus zu betrachtende Grenzwerte und Mindestgehalte zur Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft abzuleiten¹. Durchgeführte Aufgaben umfassten daher die Sichtung, Auswertung und zielorientiert-strukturierte Aufbereitung vorhandener gesetzlicher und normativer Texte und wissenschaftlicher Studien, sowie die Zusammenfassung relevanter Grenzwerte und Mindestgehalte zur Spezifizierung von Kriterien für die Qualitätssicherung.

In Deutschland ist das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) die Grundlage des **Abfallrechts**. Es wird durch verschiedene Verordnungen ergänzt und konkretisiert; diese sind jedoch nur einschlägig für die Ausgangsstoffe Bioabfälle, Klärschlamm oder tierische Gülle. Der Umgang mit menschlichen Fäzes und Urin, wenn diese nicht mit Wasser vermischt, sondern getrennt gesammelt werden, ist in der deutschen Rechtsprechung nicht geregelt. Neben dem Abfallrecht werden Recyclingdünger auch vom **Düngerecht** reguliert. Das produktbezogene Düngemittelrecht beinhaltet die nationalen Anforderungen an das Inverkehrbringen von „Nicht-EG-Düngemitteln“². Die gesetzliche Grundlage für die Herstellung und das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Pflanzenhilfsmitteln und Kultursubstraten sind das Düngegesetz (DüngG) und die Düngemittelverordnung (DüMV). Letztere beinhaltet eine abschließende Liste von zulässigen Ausgangsstoffen für Düngemittel, zu denen menschliche Fäzes und Urin nicht zählen.

Um ein Verständnis für die Wertschöpfung im Fall von Recyclingdüngern aus menschlichen Fäkalien zu bekommen, wurden zunächst, entlang der jeweiligen Wertschöpfungsketten der drei Ausgangsstoffe Bioabfall, Klärschlamm und Gülle, die jeweils geltenden rechtlichen Regelungen nachvollzogen. Die relevanten Verordnungen für die Recycling-orientierte Verwertung von fäkalien-ähnlichen Stoffen sind die Bioabfallverordnung (BioAbfV), die Klärschlammverordnung (AbfKlärV) und die DüMV. Gülle (bzw. „tierische Wirtschaftsdünger“) unterliegt den Vorschriften des Tierhygiene- und Düngemittelrechts und wird u. a. in der Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (TierNebV) beachtet. Die genannten

¹ Es wurde im DIN SPEC-Konsortium beschlossen, vorrangig die deutsche Rechtslage zu betrachten, da das Ziel der Aktivitäten zunächst dazu dient Anforderungen für vermarktungsfähige und qualitätsgesicherte Recyclingprodukte aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft zur Anwendung als Dünger im Gartenbau in Deutschland zu definieren. In einem späteren Schritt könnte hierdurch ebenfalls eine Etablierung von Recyclingdüngern aus menschlichen Fäkalien auf europäischer oder internationaler Ebene ermöglicht werden.

² Diese Bezeichnung beinhaltet alle Düngemittel, die nicht auf Basis der EU-Verordnung über Düngemittel [(EG) Nr. 2003/2003] in den Verkehr gebracht wurden.

Verordnungen beziehen sich zum Teil aufeinander und greifen ineinander. Während beispielsweise die BioAbfV die Sammlung und Behandlung von Bioabfällen reguliert, greift – sobald eine Vermarktung eines aus Bioabfall erzeugten Kompostes angestrebt wird – die DüMV. **Anhang F stellt diese Zusammenhänge dar.**

4) *Synthese der Erkenntnisse*

Diese DIN SPEC ist eine Produktspezifikation und hat die Vermarktung von Düngern zum Ziel. Somit wurde sich bei der Auswahl der qualitätssichernden Parameter, die ein Recyclingdünger aus Fäzes und Urin nach diesem Dokument zu erfüllen hat, hauptsächlich an der DüMV orientiert. Ergänzt wurde die Liste durch weitere Parameter, die wegen des spezifischen Risikos der Ausgangsstoffe dieser Recyclingdünger relevant sein können. Beispielsweise sind für eine gartenbauliche Anwendung von Recyclingprodukten aus Inhalten aus Trockentoiletten besonders die seuchenhygienische Unbedenklichkeit sowie die Schadstofffreiheit relevant.

Folgende Parametergruppen wurden für die durchzuführenden Analysen definiert:

Bestimmte **Standardparameter** (wie z. B. pH-Wert, Trockensubstanz) sind vorrangig informativ anzugeben. Für **Nährstoffe** gelten teilweise Mindestgehalte, die eingehalten werden müssen, um einem bestimmten Düngemitteltyp zugeordnet werden zu können sowie Kennzeichnungsschwellwerte, ab denen Gehalte deklariert werden müssen. Für **Fremdstoffe** (wie z. B. Steine, Glas, Kunststoff), **Schadstoffe** (wie z. B. organische Schadstoffe, Schwermetalle und pharmazeutische Rückstände) und **Hygieneparameter** (wie z. B. Salmonellen, *E. coli*, Enterokokken) gelten meist Grenzwerte, die zur Erfüllung der Qualitätskriterien nicht überschritten werden dürfen; allerdings wurde im geltenden Recht nicht für alle Parameter Grenzwerte gefunden. Letzteres gilt insbesondere für pharmazeutische Rückstände.

Für die detaillierte Auflistung aller Parameter, siehe Abschnitt 4. Für die umfassende Auflistung der Parameter einschließlich der zugeordneten Grenzwerte und Mindestgehalte, siehe Anhang A.

5) *Proof-of-Concept*

Um letztlich einen prinzipiellen Beleg für die Anwendbarkeit dieser DIN SPEC sowie der Durchführbarkeit/praktischen Machbarkeit der darin für die Qualitätssicherung geforderten Analysen zu erreichen, wurde abschließend eine erste „**Proof-of-Concept**“-Studie durchgeführt. Hierzu wurde eine geeignete Stichprobe von Recyclingdüngern ausgewählt und die Proben entsprechend den Empfehlungen aus Anhang B genommen. Diese Proben wurden entsprechend den nach diesem Dokument geforderten Qualitätsanforderungen sowie den vorgeschriebenen Methoden und Verfahren analysiert und hinsichtlich der Erreichung der angestrebten Qualitätssicherung – also der Einhaltung von den in der Spezifikation geforderten Mindestgehalte und Grenzwerte – bewertet.

Für weiterführende Erläuterungen zur Durchführung und einer Kurzdarstellung der Ergebnisse des Proof-of-Concept wird auf Anhang G verwiesen. Eine wissenschaftliche Veröffentlichung der Ergebnisse inklusive Daten ist in Bearbeitung (Hübner et al., 2020).

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Anforderungen an die Qualität und die Unbedenklichkeit von Recyclingprodukten aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft zur Nutzung als Düngemittel bzw. zur Bodenverbesserung im Gartenbau fest. Zu den Produkten, die aus Inhalten aus Trockentoiletten hergestellt werden können, gehören u. a. aufbereiteter Urin (z. B. NH₃-hygienisierter Urin, Struvit, Aurin, ammoniumsulfat-entfrachteter Urin), Kompost oder Gärprodukte aus menschlichen Fäzes mit definierten Zuschlagstoffen, oder pelletierte bzw. karbonisierte Fäzes.

Diese DIN SPEC ist insbesondere anzuwenden für:

- Start-Ups und KMUs auf dem innovativen Markt der neuartigen Sanitärsysteme;
- Verwertungsunternehmen, die Recyclingprodukte aus Trockentoiletten-Inhalten herstellen und vertreiben wollen;
- Multiplikator*innen, die an der Steuerung des Aufbaus regionaler Kreislaufwirtschaften sowie der Transformation des Sanitärsektors arbeiten;
- Entscheidungsträger*innen in Politik und Verwaltung; sowie
- Konsument*innen, die Recyclingdünger im Gartenbau nutzen.

Dieses Dokument kann auch als Orientierungshilfe für Eigenanwender*innen dienen, die Recyclingdünger selbst herstellen und deren Qualität überprüfen wollen.

Diese DIN SPEC umfasst keine Prozessvorgaben und/oder Behandlungsverfahren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 30762, *Vorgefertigte Sanitärsysteme ohne Anschluss an Wasserversorgung und Kanalisation — Anforderungen und Produktmerkmale*³

DIN 38405-24:1987-05, *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Anionen (Gruppe D); Photometrische Bestimmung von Chrom(VI) mittels 1,5-Diphenylcarbazid (D 24)*

DIN 38414-14:2011-08, *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung — Schlamm und Sedimente (Gruppe S) — Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden — Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14)*

DIN EN 12880:2001-02, *Charakterisierung von Schlämmen — Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehalts; Deutsche Fassung EN 12880:2000*

DIN EN 15527:2008-09, *Charakterisierung von Abfällen — Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Abfall mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC/MS); Deutsche Fassung EN 15527:2008*

³ Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments befindet sich DIN 30762 in Erarbeitung.

DIN EN 16170:2017-01, *Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden — Bestimmung von Elementen mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES); Deutsche Fassung EN 16170:2016*

DIN EN 16181:2019-08, *Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm — Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) mittels Gaschromatographie (GC) und Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC); Deutsche Fassung EN 16181:2018*

DIN EN 16190:2019-10, *Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm — Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS); Deutsche Fassung EN 16190:2018*

DIN EN ISO 12846:2012-08, *Wasserbeschaffenheit — Bestimmung von Quecksilber — Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) mit und ohne Anreicherung (ISO 12846:2012); Deutsche Fassung EN ISO 12846:2012*

DIN EN ISO 10705-2:2002-01, *Wasserbeschaffenheit — Nachweis und Zählung von Bakteriophagen — Teil 2: Zählung von somatischen Coliphagen (ISO 10705-2:2000); Deutsche Fassung EN ISO 10705-2:2001*

DIN EN ISO 11885:2009-09, *Wasserbeschaffenheit — Bestimmung von ausgewählten Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) (ISO 11885:2007); Deutsche Fassung EN ISO 11885:2009*

DIN ISO 18287:2006-05, *Bodenbeschaffenheit — Bestimmung der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) — Gaschromatographisches Verfahren mit Nachweis durch Massenspektrometrie (GC-MS) (ISO 18287:2006)*

BGK Kapitel III, C1.1 2013-05, *Bestimmung des pH-Wertes*⁴

BGK Kapitel III, C2.1 2013-05, *Bestimmung des Salzgehaltes (wässriger Extrakt)*

BGK Kapitel II, C1 2006-09, *Bestimmung des Fremdstoffgehaltes*

BGK Kapitel II, C2 2013-05, *Bestimmung des Steingehaltes*

BGK Kapitel IV, C1 2013-05, *Produktprüfung auf Salmonellen*

BGK Kapitel IV, C3 2006-09, *Bestimmung von Escherichia coli (E. coli)*

BGK Kapitel IV, C4 2006-09, *Bestimmung der Enterokokken*

BVL L 00.00-57:2006-12, *Untersuchung von Lebensmitteln — Verfahren zur Zählung von Clostridium perfringens in Lebensmitteln — Koloniezählverfahren*⁵

DüMV, *Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung — DüMV)*. Ausfertigungsdatum: 05.12.2012; Stand 02.10.2019⁶

⁴ Alle hier aufgelisteten BGK Publikationen beziehen sich auf das Methodenbuch 2006 inklusiver erweiterter Ergänzungslieferungen (letzte Ergänzung 2015): BGK, 2006, Methodenbuch zur Analyse organischer Düngemittel, Bodenverbesserungsmittel und Substrate, 5. Auflage September 2006 inklusiver Ergänzungen (4. Ergänzung 2015), Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e. V., ISBN: 978-3-939790-00-6.

⁵ Verfügbar unter: <https://www.beuth.de/de/technische-regel/bvl-l-00-00-57/96445450>

⁶ Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/

- VDLUFA I, 2.4.3.1:1991, *Bestimmung von Schwermetallen im Aufschluss mit Königswasser*⁷
- VDLUFA II.1, 3.4.2:1995, *Bestimmung von Nitrat-Stickstoff, Photometrische Bestimmung mit 24-Dimethylphenol*
- VDLUFA II.1, 3.5.2.7:1995, *Bestimmung von Gesamtstickstoff*
- VDLUFA II.1, 3.6:2004, *Cyanamidstickstoff*
- VDLUFA II.1, 3.8:1995, *Harnstoffstickstoff*
- VDLUFA II.1, 3.9.2:1995, *Bestimmung von Biuret, HPLC-Methode*
- VDLUFA II.1, 3.10.2:1995, *Bestimmung von Acetylendiharnstoff (ADH) neben Harnstoff in Düngemitteln, HPLC-Methode*
- VDLUFA II.1, 4.1.1.1:1995, *Bestimmung des mineralsäurelöslichen Phosphats, Nassaufschluss mit Schwefelsäure*
- VDLUFA II.1, 4.1.1.2:1995, *Bestimmung des mineralsäurelöslichen Phosphats, Nassaufschluss mit Schwefelsäure, Salpetersäure und Kupfersulfat in Gegenwart organischer Substanz*
- VDLUFA II.1, 4.1.1.3:1995, *Bestimmung des mineralsäurelöslichen Phosphats, Nassaufschluss mit Schwefelsäure und Kupfersulfat in Gegenwart organischer Substanz zur Bestimmung von Phosphat und Stickstoff aus derselben Ausschlusslösung*
- VDLUFA II.1, 4.1.1.4:1995, *Bestimmung des mineralsäurelöslichen Phosphats, Gesamtphosphat, trockener Aufschluss und Lösen mit Salpetersäure*
- VDLUFA II.1, 4.1.2:2004, *Bestimmung des Ameisensäurelöslichen Phosphats, Extraktion*
- VDLUFA II.1, 4.1.3:1995, *Bestimmung des Citronensäurelöslichen Phosphats, Extraktion*
- VDLUFA II.1, 4.1.4:1995, *Bestimmung des wasser- und neutralammoniumcitratlöslichen Phosphats nach FRESSENIUS-NEUBAUER, Extraktion*
- VDLUFA II.1, 4.1.5:1995, *Bestimmung des alkalisch-ammoniumcitratlöslichen Phosphats nach PETERMANN, Extraktion*
- VDLUFA II.1, 4.1.7:1995, *Bestimmung des wasserlöslichen Phosphats, Extraktion*
- VDLUFA II.1, 6.3:1995, *Calcium — Bestimmung der basisch wirksamen Bestandteile*
- VDLUFA II.1, 8.10:2007, *Spurennährstoff — Bestimmung von Mikronährstoffen in Düngemittlextrakten, ICP-OES-Methode*
- VDLUFA II.1, 9.8.2:2008, *Potentiometrische Bestimmung von Chlorid*
- VDLUFA II.1, 10.1:2014, *Bestimmung und Bewertung der organischen Substanz — Bestimmung des Glühverlustes*

⁷ Alle VDLUFA Publikationen sind verfügbar unter: <https://www.vdlufa.de/Methodenbuch/index.php?lang=de>

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>
- DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

3.1

Behandlung

biologische, physikalische oder chemische Verfahren, die die Beschaffenheit des zu behandelnden Gutes verändern, um ihre schädlichen Eigenschaften oder ihr Volumen zu verringern, ihre Handhabung zu erleichtern oder ihre Verwertung zu begünstigen

[QUELLE: DIN EN 13965-2:2011-01, 3.52, modifiziert – Definition umformuliert und ergänzt]

3.2

betriebsübliche Zuschlagstoffe

Stoffe, die nach erfolgter menschlicher Ausscheidung in eine Trockentoilette gegeben werden, um bestimmte Zwecke zu erfüllen

BEISPIEL Toilettenpapier oder Einstreumaterial zur optischen Überdeckung, Desodorierung und Verbesserung der Verwertbarkeit z. B. durch Kompostierung (z. B. Hobelspäne, Strohmehl, Pflanzenkohle, Gesteinsmehl, Asche, Kompost).

3.3

Einzelprobe

Teilmenge einer Partie, die durch einen Entnahmevorgang gebildet wird

3.4

Endprobe

Teilmenge einer Sammelprobe, der für die Untersuchung bestimmt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Endprobe wird häufig auch als Originalprobe bezeichnet.

3.5

gartenbauliche Eignung

Merkmale und Eigenschaften eines Produktes, die eine gewünschte gärtnerische Anwendung ermöglichen

BEISPIEL Anwendbarkeit bestimmter Dünger (Aggregatzustand/Applizierbarkeit, Salzgehalt, (Wasser-) Löslichkeit/Wirkdauer).

3.6

Hygienisierung

Abtötung von Pathogenen/Krankheitserregern

3.7

Inhalte aus Trockentoiletten

unterschiedliche Auswahl an getrennt oder zusammen erfassten Stoffen, die aus menschlichen Ausscheidungen, sowie betriebsüblichen Zuschlagstoffen und Störstoffen zusammengesetzt sein können

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Auswahl unterscheidet sich je nach Art der Trockentoilette.

BEISPIEL Hauptausgangsstoffe für Inhalte aus Trockentoiletten sind menschliche Ausscheidungen (Urin, Fäzes, Blut, Erbrochenes), betriebsübliche Zuschlagstoffe (Toilettenpapier, Einstreumaterial, Reinigungsmittel), verwertungsbedingte Zuschlagstoffe (z. B. bei Kompostierung und Aufbereitung von Urin) und Störstoffe (Hygieneartikel, Verpackungsmüll, Glas, Inhalte aus Chemietoiletten).

3.8

Kompostierung

vom Menschen gesteuerter biologischer Prozess, bei dem organisches Material unter Einfluss von Luftsauerstoff und unter Wärmeentwicklung abgebaut wird

[QUELLE: US Composting Council]

3.9

menschliche Ausscheidung

Urin, Fäzes, Blut und Erbrochenes menschlichen Ursprungs

3.10

neuartiges Sanitärsystem

kreislauforientiertes Sanitärsystem, mit dem Ziel der Wiederverwendung von Wasser, Nährstoffen und anderen Ressourcen

3.11

Pathogen

Krankheitserreger

3.12

Pflanzenkohle

Substrat, das durch Pyrolyse aus pflanzlichem Material hergestellt wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu pflanzlichem Material zählen u. a. Holz, Grünschnitt und Erntereste.

3.13

pharmazeutischer Rückstand

Spur eines Medikamentes, welches durch einen Menschen aufgenommen worden ist und mit den Ausscheidungen in die Umwelt gelangt

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei den Spuren eines Medikamentes kann es sich um Abbauprodukte oder Ursprungsformen handeln.

3.14

Partie

Menge eines Stoffes, die sich nach ihrer äußeren Beschaffenheit, Kennzeichnung und räumlichen Zuordnung als Einheit darstellt

3.15

Phytohygiene

Bestrebungen und Maßnahmen zur Verhütung von Pflanzenkrankheiten

3.16

Phytopathogen

Organismus, der Krankheiten bei Pflanzen verursacht

3.17

Recyclingprodukte aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft

Produkte, die nach entsprechenden Behandlungsprozessen aus menschlichen Ausscheidungen bzw. Inhalten aus Trockentoiletten gewonnen werden können

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser DIN SPEC wird Recyclingprodukt und Recyclingdünger synonym verwendet.

3.18

Risikoanalyse

systematische Auswertung verfügbarer Informationen, um Gefährdungen zu identifizieren und Risiken abzuschätzen

[QUELLE: DIN 820-12:2014-06, 3.10, modifiziert - "einzuschätzen" wurde in "abzuschätzen" geändert]

3.19

Sanitärsystem

System für Erfassung, Sammlung, Transport und Behandlung von menschlichen Ausscheidungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Sanitärsystem verhindert die Verunreinigung der Umwelt durch die Vermeidung der Verbreitung von menschlichen Ausscheidungen und dient dem Schutz der Gesundheit.

3.20

Schadstoff

Stoff, der entweder selbst oder im Zusammenwirken mit anderen Stoffen oder durch seine Abbauprodukte oder Emissionen Mensch oder Umwelt schädigen oder beeinträchtigen kann

3.21

Sammelprobe

Gesamtmenge der einer Partie entnommenen Einzelproben

3.22

Seuchenhygiene

Bestrebungen und Maßnahmen zur Verhütung von Krankheiten und Gesundheitsschäden beim Menschen

3.23

Stoffstromtrennung

Prinzip der separaten Erfassung und Ableitung von Stoffströmen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ziel ist die getrennte, spezifische Behandlung bzw. Nutzung einzelner oder aller spezifischer Stoffströme.

BEISPIEL Trockentrenntoilette (Ziel ist die getrennte und spezifische Behandlung bzw. Nutzung von Urin und Fäzes/Toilettenpapier), NoMix Toilette (Ziel ist die getrennte und spezifische Behandlung bzw. Nutzung von Urin und Fäzes/Toilettenpapier/Spülwasser), Abfallwirtschaft (Ziel ist die getrennte und spezifische Behandlung bzw. Nutzung von Altglas, Altpapier, Verpackungen, Biotonne und Restabfall)

3.24

Störstoff

Stoff, der weder als menschliche Ausscheidung, noch als betriebsüblicher Zuschlagstoff eingestuft werden kann und der sowohl die Behandlung und Verwertung behindert, wie auch die gartenbauliche Eignung verschlechtert

BEISPIEL Kunststoff, Glas, Metall, Inhalte aus Chemietoiletten

3.25

Trockentoilette

Vorrichtung, um menschliche Ausscheidungen wie Urin und Fäzes aufzunehmen, ohne diese zu Transportzwecken mit Wasser zu vermischen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Trockentoilette ist in der Formgebung vergleichbar mit konventionellen Toiletten ausgeführt (Hock, Sitz- und Steh-toiletten).

BEISPIEL Streutoilette (mit/ohne Urindrainage), Urin-Trenn-Trockentoilette, wasserloses Urinal

3.26**Düngemittel****Dünger**

organischer, mineralischer oder organisch-mineralischer Stoff, der in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Gartenbau dazu benutzt wird, die angebauten Kulturpflanzen mit Nährstoffen zu versorgen, bzw. das Nährstoffangebot zu ergänzen, um so das Pflanzenwachstum zu fördern

3.27**Kennzeichnungsschwelle**

festgelegter Wert, ab dem ein bestimmter Parameter deklariert werden muss

4 Anforderungen**4.1 Allgemeines**

Eine Anwendung von Recyclingdüngern aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft als Düngemittel im Gartenbau setzt das Beachten der DüMV voraus. Laut DüMV dürfen nur Düngemittel in Verkehr gebracht werden, die einem Düngemitteltyp entsprechen und die Grenzwerte für Schadstoffe, Phyto- und Seuchenhygiene einhalten. Von Düngemitteln darf keine Gefahr für die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen ausgehen und eine Bodenkontamination muss vermieden werden, damit Bodenfruchtbarkeit, Pflanzengesundheit oder Umwelt nicht negativ beeinträchtigt oder gefährdet werden. Vor diesem Hintergrund sind vor allem die im Folgenden genannten fünf Anforderungskategorien (Seuchenhygiene, Phytohygiene, Schadstoffarmut, Eignung, Sonstiges) relevant.

4.2 Relevante Anforderungskategorien**4.2.1 Seuchenhygiene bzw. Infektionsschutz**

Menschliche Ausscheidungen können Pathogene enthalten. Eine unsachgemäße Behandlung menschlicher Ausscheidungen birgt somit ein seuchenhygienisches Risiko. Pathogene müssen aus diesem Grund in der Aufbereitung von Inhalten aus Trockentoiletten durch eine angemessene Behandlung eliminiert werden. Um zu verhindern, dass Krankheiten übertragen werden können, müssen Produkte die als Recyclingdünger im Gartenbau zur Anwendung kommen, seuchenhygienisch unbedenklich sein. Um diesen Nachweis zu erbringen, wird das Produkt auf eine Auswahl an „Indikator-Organismen“ analysiert.

4.2.2 Phytohygiene

Bei Verwendung von *pflanzlichen* Zuschlagstoffen für die Behandlung (z. B. Grünschnitt bei Kompostierung) muss das Behandlungsverfahren die Elimination von Unkrautsamen und die Abtötung von Phytopathogenen sicherstellen.

4.2.3 Schadstoffarmut

Bei der Schadstofffreiheit sind bei Recyclingdüngern aus Inhalten aus Trockentoiletten vor allem organische Spurenstoffe wie Pharmazeutika und Hormone relevant; Schwermetalle und Mikroplastik in menschlichen Ausscheidungen stellen kein bedeutendes Risiko dar. Außerdem muss der Eintrag von Schadstoffen durch toiletten- und/oder verwertungsbezogenen Zuschlagstoffe vermieden werden (siehe Anhang E).

4.2.4 Gartenbauliche Eignung

Die gartenbauliche Eignung ist entsprechend der in Urin und Fäzes enthaltenen Nährstoffe gegeben. Die Düngewirkung richtet sich nach Nährstoffgehalt und Verfügbarkeit (z. B. Nährstoffform und Wasserlöslichkeit) als auch dem gesamten Nährstoffangebot der Recyclingdünger (siehe Anhang A). Je nach Gehalt der Hauptnährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P) oder Kalium (K) und deren Verhältnisse zu einander, können bestimmte Düngemitteltypen zugeordnet werden z. B. NPK-, PK-, NK-Dünger. Außerdem unterscheiden sich die Dünger hinsichtlich ihrer Eignung als Dünger mit Kurzzeit- oder Langzeitwirkung.

Bei der Düngung – auch mit Recyclingdüngern – muss das deutsche Düngerecht eingehalten werden. Bei der Lagerung und der Ausbringung von Düngemitteln ist es außerdem relevant, Nährstoffverluste in Form von Auswaschungen oder Ausgasungen zu vermeiden.

Für konkrete *gartenbauliche* Anwendungsempfehlungen zur Düngung mit Recyclingdüngern, siehe Abschnitt E.2.

4.2.5 Sonstiges

Für Recyclingdünger aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft gelten die allgemeinen Kennzeichnungsvorgaben der DüMV § 6.

Fehlwürfe von Hygieneartikeln, Verpackungsmüll und anderen Abfällen sollten, soweit möglich, vermieden werden. Auch die Entsorgung von chemischen Inhalten aus Kassettoiletten (üblicherweise als Chemietoiletten bezeichnet), bspw. aus Wohnmobilen, in Trockentoiletten oder an Sammelstellen für Inhalte aus Trockentoiletten, sollte unbedingt vermieden werden.

Generell gilt: Fehlgeworfene Störstoffe müssen im Verlauf des Aufbereitungsprozesses der Toiletteninhalte zu Recyclingdüngern hinreichend und so früh wie möglich entfernt werden. Außerdem sollten Nutzer*innen von Trockentoiletten über die potenziell negativen Auswirkungen von Fehlwürfen mit Hygieneartikeln und anderen Abfällen im Wertstoffkreislauf sensibilisiert werden. Um die Entsorgung von Inhalten aus Chemietoiletten in Trockentoiletten zu vermeiden, sind eine *unübersehbare* Kennzeichnung des Verbots (am besten mit klaren Symbolen, mehrsprachig und ggf. mit Erklärung/Begründung) an den Trockentoiletten sowie alternative Entsorgungsmöglichkeiten für Chemietoiletteninhalte notwendig.

Für konkrete *technische* Anwendungsempfehlungen zur Behandlung und zum Betrieb von Trockentoiletten, siehe Abschnitt E.3 und Abschnitt E.4.

4.3 Erfüllung der Anforderungen

Die Erfüllung dieser Anforderungen wird zu einem großen Teil bereits durch den Betrieb der Trockentoiletten und die anschließende Behandlung der Inhalte aus Trockentoiletten beeinflusst. Da es sich bei diesem Dokument um eine *Produktspezifikation* für Recyclingdünger handelt, ist die Sammlung der Ausgangsstoffe sowie die Düngerherstellung nicht Teil der DIN SPEC. Technische Anforderungen an den Betrieb von Trockentoiletten sowie die Behandlung der Inhalte aus Trockentoiletten, die für die Qualitätssicherung grundlegend erforderlich sind, werden in Anhang E zusammengefasst. Ergänzend wird auf DIN 30762 verwiesen.

4.4 Durchzuführende Analysen

Vor dem Inverkehrbringen sind Analysen zu folgenden Parametern durchzuführen:

- **Standardparameter** (Trockensubstanz, organische Trockensubstanz, pH-Wert, Salzgehalt, basisch wirksame Bestandteile);
- **Nährstoffe.**
 - Hauptnährstoffe: Stickstoff (Gesamt und löslich; je nach Düngemitteltyp zusätzlich verschiedene Formen), Phosphor (Gesamt; je nach Düngemitteltyp zusätzlich lösliche Formen), Kalium;
 - Nebennährstoffe: Calcium, Magnesium, Natrium, Selen, Schwefel;
 - Spurennährstoffe: Bor, Kobalt, Kupfer, Eisen, Mangan, Molybdän, Zink;
- **Fremdstoffe** (wie Steine, Altpapier, Karton, Glas, Metalle, Plastik);

- **Schadstoffe.**
 - **Schwermetalle** (Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink);
 - **organische Schadstoffe** (Perfluorierte Tenside, Dioxine und dl-PCB⁸, PAKs⁹);
 - **pharmazeutische Rückstände** (Ciprofloxacin, Clarithromycin, Carbamazepin, Diclofenac und Ethinylestradiol bzw. Estradiol);
- **seuchenhygienische Parameter** (Salmonellen, *Escherichia coli* (*E. coli*), Enterokokken, *Clostridium perfringens* und Sporen, somatische Coliphagen).

Für die praktische Anwendung sollte außerdem die physikalische Struktur (z. B. flüssig, Pulver, Schüttgut, Stückgut usw.) für eine Einordnung der Streu- und Lagerfähigkeit des Recyclingprodukts beschrieben werden.

Die detaillierten Analysen, Grenzwerte und Mindestgehalte, Fundorte und anzuwendenden Methoden sind in Anhang A aufgelistet.

Hinweis: Die private Behandlung und gartenbauliche Anwendung von Inhalten aus Trockentoiletten erfolgen auf eigenes Risiko. Aus Kostengründen und da mit hoher Wahrscheinlichkeit ein geringeres Risiko durch einen bekannten Nutzer*innenkreis der Trockentoilette(n) vorliegt, kann auf bestimmte Analysen verzichtet werden. Tabelle A.1 ist demnach als Orientierung – nicht als Anforderung zu betrachten. **In Anhang D werden mögliche Abweichungen beschrieben.**

⁸ dl PCB = dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle

⁹ PAKs = polyaromatische Kohlenwasserstoffe

Anhang A (normativ)

Grenzwerte, Kennzeichnungsschwellen und Mindestgehalte bei Recyclingdüngern aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft

Die Untersuchungen der Recyclingdünger orientieren sich grundlegend an der DüMV. Für organische Schadstoffe, Hygieneparameter und pharmazeutische Rückstände reichen die Parameter über die DüMV hinaus und orientieren sich an weiteren Verordnungen (z. B. BioAbfV und AbfKlärV). Ergänzend müssen ggf. auch Vorschriften für die Prozessprüfung und -überwachung erfüllt werden (z. B. BioAbfV¹⁰ und TierNebV¹¹).

ANMERKUNG Dieses Dokument ist eine Produktspezifikation, d. h. zur Qualitätssicherung werden Analysen des fertigen Düngeprodukts durchgeführt.

Zum grundlegenden Verständnis der folgenden Tabellen ist es wichtig zu wissen, dass es in der DüMV sowohl universelle als auch düngemitteltyp-spezifische Vorgaben gibt. Es gelten weitestgehend universelle *Grenzwerte* (bspw. Schwermetalle) und universelle *Kennzeichnungsschwellen* (bspw. Mikronährstoffe). Außerdem definiert die DüMV sogenannte „Düngemitteltypen“ (z. B. organischer NPK-Dünger“ oder „mineralischer NPK-Dünger“). Für diese Typen gelten zusätzlich gesetzlich vorgeschrieben düngerspezifische *Mindestgehalte* bspw. für Makronährstoffe. Weitere Unterscheidungen bezüglich der geltenden Werte werden bspw. für die Düngerform, die Anwendung oder die Herkunft gemacht. Die zu verwendenden Methoden bzw. Analyseverfahren werden nicht von der DüMV vorgeschrieben. Es werden hier allgemein in Laboren benutzte und dem Stand der Wissenschaft entsprechende Methoden dargestellt.

Es wurden die Vorgaben der DüMV für mineralische Phosphatdünger, mineralische Mehrnährstoffdünger und organische sowie organisch-mineralische Dünger berücksichtigt. Diese gelten als Referenzkategorien für Recyclingdünger aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft.

- In Tabelle A.1 werden zunächst die nach DüMV allgemein geltenden Kennzeichnungsschwellen für **Standardparameter und Nährstoffe** dargestellt.
- In Tabelle A.2 sind die nach DüMV allgemein geltenden **Kennzeichnungsschwellen und Grenzwerte für Schadstoffe, Fremdstoffe und seuchenhygienische Parameter** dargestellt. Zusätzlich finden sich Parameter, die aus anderen Verordnungen abgeleitet sind oder aufgrund von Risikoabwägungen eingeflossen sind.
- In Tabelle A.3 sind die **Düngemitteltypen** und deren geforderte Eigenschaften aufgelistet. Die Tabelle ermöglicht es, aufbauend auf eigenen Analysen, den Dünger einem Düngemitteltyp zuzuordnen. Eine solche Klassifizierung ist nach DüMV erforderlich, wenn ein Düngemittel in Verkehr gebracht werden soll.
- Tabelle A.4 und Tabelle A.5 enthalten nur für mineralische Dünger spezifisch zu analysierende Parameter, respektive **Stickstoffformen und Phosphatlöslichkeiten**. Welche Analysen gemacht werden müssen ist abhängig vom Düngemitteltyp. Dieser wird mithilfe von Tabelle A.3 ermittelt.

¹⁰ BioAbfV, Anhang 2, „Anforderungen an die hygienisierende Behandlung von Bioabfällen zur Gewährleistung der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit“.

¹¹ TierNebV, Teil 4, „Anforderungen an die Verarbeitung, Behandlung und Entsorgung tierischer Nebenprodukte“.

In Tabelle A.1 werden zunächst die nach DüMV allgemein geltenden Kennzeichnungsschwellen für Standardparameter und Nährstoffe dargestellt. Viele Kennzeichnungsschwellen sind auf die Trockenmasse bezogen, für flüssige Düngemittel ist das wenig bis nicht praktikabel. Dennoch wurde sich an legislative Vorgaben der DüMV gehalten.

Die hier dargestellten Methoden und Analyseverfahren sind diejenigen, die im Rahmen der Proof-of-Concept-Studie angewendet wurden und dienen der Orientierung. Für Flüssigdünger sind teilweise einfachere und günstigere Verfahren möglich. Das angemessene anzuwendende Verfahren sollte mit dem die Analyse durchführenden Labor abgestimmt werden.

Tabelle A.1 — Standardparameter und Nährstoffe mit Kennzeichnungsschwellen und Geltungsbereich nach DüMV sowie Fundort, Methode und Analyseverfahren

| Analyse-Parameter | Kennzeichnungsschwelle | Nach DüMV anzuwenden für ... Düngemitteltypen ^a | Fundort (gesetzlich) | Methode ^b | Analyseverfahren |
|--|------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|--|
| Standardparameter | | | | | |
| Trockensubstanz (TM) | k. A. ^c | k. A. < 15 % TM gelten Stoffe als flüssig; muss zusammen mit dem DüM-Typ deklariert werden ^d | k. A. | DIN EN 12880-S 2a: 2001-02 | Trocknung |
| Organische Trockensubstanz (oTS)/Glühverlust | 5 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.3.3 | VDLUF A II.1, 10.1: 2014 | Veraschung |
| pH | jeder Wert | k. A. ^e | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.3.7 | BGK Kapitel III, C1.1 2013-05 | Messung im H ₂ O-Eluat |
| Salzgehalt/Leitfähigkeit (in g KCl/l) | 0,5 g/l | k. A. ^f | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.3.4 | BGK Kapitel III, C2.1 2013-05 | Messung im H ₂ O-Eluat |
| Basisch wirksame Bestandteile (CaO) | 5 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.3.2 | VDLUF A II.1, 6.3: 1995 | Titration |
| Hauptnährstoffe | | | | | |
| Stickstoff (N) | 1,5 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.1 | VDLUF A II.1, 3.5.2.7: 1995 | Verbrennung und Wärmeleitfähigkeitsmessung |

DIN SPEC 91421:2020-12

| Analyse-Parameter | Kennzeichnungsschwelle | Nach DüMV anzuwenden für ... Düngemitteltypen ^a | Fundort (gesetzlich) | Methode ^b | Analyseverfahren |
|---|--|--|--|--|--|
| Phosphat (P ₂ O ₅) | 0,5 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.2 | VDLUFA II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES ^g) |
| Kalium (K ₂ O) | 0,75 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.3 | VDLUFA II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Weitere Nährstoffe/Nährstoffformen | | | | | |
| Stickstoff (N) löslich ^h | wenn Gesamt-N > 1,5 % TM und N löslich > 10 % von Gesamt-N | für organische und organisch-mineralische Dünger | DüMV:2012, § 6 (1) 4 ⁱ | Nitrat: VDLUFA II.1, 3.4.2 Ammonium: nach STRACH (DBFZ) | photometrische Bestimmung mit 24-Dimethylphenol photometrische Bestimmung |
| Weitere N-Formen | keine | mineralische Mehrnährstoffdünger ^k | DüMV:2012, Anlage 1, Abschnitt 2 DüMV:2012, Anlage 2, Tabelle 3 | siehe Tabelle A.3 und Tabelle A.4 | |
| Phosphatlöslichkeit | keine | mineralische Mehrnährstoffdünger ^l | DüMV:2012, Anlage 1, Abschnitt 2 DüMV:2012, Anlage 2, Tabelle 4 | siehe Tabelle A.3 und Tabelle A.5 | |
| Calcium (Ca) wasserlöslich ^m | 5,7 % TM | flüssige Düngemittel | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.7 | VDLUFA II.1, 6.3; 1995 | Titration |
| Magnesium (MgO) | 0,3 (1,7 ⁿ) % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.5 | VDLUFA II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Natrium (Na) | 0,2 (1,5 ^o) % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.6 | VDLUFA II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Selen (Se) | 0,0005 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.3.5 | VDLUFA II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Spektrometrie (ICP-OES) |
| Schwefel (S) | 0,3 (1,5 ^q) % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.4 | VDLUFA II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |

| Analyse-Parameter | Kennzeichnungsschwelle | Nach DüMV anzuwenden für ... Düngemitteltypen ^a | Fundort (gesetzlich) | Methode ^b | Analyseverfahren |
|-------------------------------------|-------------------------------|--|--|--------------------------|---|
| Cl (Chlorid) | jeder Gehalt | k. A. ^r | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.3.6 | VDLUFÄ II.1, 9.8.2: 2008 | Titration |
| Spurennährstoffe^s | | | | | |
| Bor (B) | 0,02 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 2 | VDLUFÄ II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Cobalt (Co) | 0,004 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 2 | DIN EN 16170: 2017-01 | Extraktion in Salpetersäure und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Kupfer (Cu) | 0,02 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 2 | VDLUFÄ II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Eisen (Fe) | 0,04 (1 ^t) % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 2 | VDLUFÄ II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Mangan (Mn) | 0,02 (0,2 ^u) % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 2 | VDLUFÄ II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Molybdän (Mo) | 0,002 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 2 | DIN EN 16170: 2017-01 | Extraktion in Salpetersäure und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Zink (Zn) | 0,02 % TM | alle | DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 2 | VDLUFÄ II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |

DIN SPEC 91421:2020-12

| Analyse-Parameter | Kennzeichnungsschwelle | Nach DüMV anzuwenden für ... Düngemitteltypen ^a | Fundort (gesetzlich) | Methode ^b | Analyseverfahren |
|-------------------|------------------------|---|----------------------|----------------------|------------------|
| a | | Berücksichtigte Düngemitteltypen nach DüMV sind mineralische Mehrnährstoffdünger und organische bzw. organisch-mineralische Düngemittel. | | | |
| b | | Die Methoden bzw. Analyseverfahren werden nicht von der DüMV vorgeschrieben. Es werden hier allgemein in Laboren benutzte und dem Stand der Wissenschaft entsprechende Methoden dargestellt. | | | |
| c | | k. A. = keine Angabe. | | | |
| d | | Nach § 1, Abschnitt 11, kann durch eine wissenschaftlich anerkannte Methode auch bei einem höheren Trockenmassegehalt der Aggregatzustand „flüssig“ festgestellt werden. | | | |
| e | | Muss nach DüMV nur bei Kultursubstraten angegeben werden; also nicht bei Düngemitteln. | | | |
| f | | Muss nach DüMV nur bei Kultursubstraten angegeben werden; also nicht bei Düngemitteln. | | | |
| g | | Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) = induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie. | | | |
| h | | N löslich entspricht pflanzenverfügbarem N, d. h. gesamtem mineralischem N als Summe aus Ammonium (NH ₄ ⁺) und Nitrat (NO ₃ ⁻). | | | |
| i | | In DüMV vorgegeben: in Wasser oder in 0,012 5 molarer Calciumchloridlösung gelöster Stickstoff. | | | |
| j | | DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassennutzung“: Messmethodensammlung Biogas – Methoden zur Bestimmung von analytischen und prozessbeschreibenden Parametern im Biogasbereich, 3.4 Bestimmung des Ammoniumstickstoffgehaltes, Leipzig 2015. | | | |
| k | | Mineralische NK-, NP- und NPK-Dünger. | | | |
| l | | Mineralische NP-, PK- und NPK-Dünger. | | | |
| m | | Im Proof-of-Concept nicht wasserlöslicher, sondern Gesamtgehalt bestimmt (VDLUFA II.1, 8.10:2007; Extraktion in Königswasser → Spektrometrie (ICP-OES)). | | | |
| n | | Gilt für mineralische (Ein- und) Mehrnährstoff-Dünger (DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.5-1.1.7). | | | |
| o | | Gilt für mineralische (Ein- und) Mehrnährstoff-Dünger (DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.5-1.1.7). | | | |
| p | | Gilt für mineralische (Ein- und) Mehrnährstoff-Dünger (DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.5-1.1.7). | | | |
| q | | Gilt für mineralische (Ein- und) Mehrnährstoff-Dünger (DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.1.5-1.1.7) | | | |
| r | | Angabe des Gehalts fakultativ. | | | |
| s | | Spurennährstoffe bewertet als Gesamtgehalt und wasserlöslicher Gehalt (DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 4). | | | |
| t | | Bei Inverkehrbringen für eine Anwendung in der Landwirtschaft außer Gartenbau (DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 6). | | | |
| u | | Bei Inverkehrbringen für eine Anwendung in der Landwirtschaft außer Gartenbau (DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 6). | | | |

In Tabelle A.2 sind die nach DüMV allgemein geltenden Kennzeichnungsschwellen und Grenzwerte für Schadstoffe, Fremdstoffe und seuchenhygienische Parameter dargestellt. Zusätzlich finden sich Parameter, die aus anderen Verordnungen abgeleitet sind oder aufgrund von Risikoabwägungen eingeflossen sind.

Tabelle A.2 — Schadstoffe, Fremdstoffe und seuchenhygienische Parameter mit Kennzeichnungsschwellen und Grenzwerten nach DüMV und anderen Verordnungen, Geltungsbereich nach DüMV, sowie Fundort, Methode und Analyseverfahren

| Analyse-Parameter | Kennzeichnungsschwelle | Grenzwert | Nach DüMV anzuwenden für ... Düngemitteltypen ^a | Fundort (gesetzlich) | Methode ^b | Analyseverfahren |
|--|---|---|--|--------------------------------|-------------------------------|---|
| Fremdstoffe | | | | | | |
| Steine > 10 mm | keine | 5 % TM | alle | DüMV:2012, § 3 (1) 4 | BGK Kapitel II, C2 2013-05 | Siebauslese |
| Altpapier, Karton, Glas, Metalle, plastisch nicht verformbare Kunststoffe > 1 mm | keine | 0,4 % TM | alle | DüMV:2012, § 3 (1) 4 | BGK Kapitel II, C1 2006-09 | Siebauslese |
| Sonstige Kunststoffe > 1 mm | keine | 0,1 % TM | alle | DüMV:2012, § 3 (1) 4 | | |
| Schwermetalle | | | | | | |
| Arsen (As) | 20 mg/kg TM | 40 mg/kg TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.4.1 | VDLUF A II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Blei (Pb) | 100 mg/kg TM | 150 mg /kg TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.4.2 | VDLUF A II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Cadmium (Cd) | 1,0 mg/kg TM 20 mg/kg P ₂ O ₅ ^c | 1,5 mg/kg TM 50 mg/kg P ₂ O ₅ ^d | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.4.3 | DIN EN 16170: 2017-01 | Extraktion in Salpetersäure und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Chrom (Cr) (gesamt) | 300 mg/kg TM | k. A. | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.4.4 | VDLUF A II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |

DIN SPEC 91421:2020-12

| Analyse-Parameter | Kennzeichnungsschwelle | Grenzwert | Nach DüMV anzuwenden für ... Düngemitteltypen ^a | Fundort (gesetzlich) | Methode ^b | Analyseverfahren |
|---|------------------------|----------------------------|--|--|--|---|
| Chrom (Cr) (VI) | 1,2 mg/kg TM | 2 mg/kg TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.4.5 | DIN 38405-24: 1987-05 | Extraktion in demineralisiertem Wasser und photometrische Bestimmung von Chrom(VI) mittels 1,5-Diphenylcarbazid |
| Kupfer (Cu) | 200 mg/kg TM | 900 mg/kg TM ^e | alle | DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 6 | VDLUF A II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Nickel (Ni) | 40 mg/kg TM | 80 mg/kg TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.4.6 | VDLUF A II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Quecksilber (Hg) | 0,5 mg/kg TM | 1,0 mg/kg TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.4.7 | Probenvorbereitung: VDLUF A I, 2.4.3.1: 1991 Analyse: DIN EN ISO 12846: 2012-08 | Extraktion in Königswasser und Atom-Absorptionspektrometrie |
| Thallium (Tl) | 0,5 mg/kg TM | 1,0 mg/kg TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.4.8 | DIN EN 16170: 2017-01 | Extraktion in Salpetersäure und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Zink (Zn) | 200 mg/kg TM | 5000 mg/kg TM ^f | alle | DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 6 | VDLUF A II.1, 8.10: 2007 | Extraktion in Königswasser und Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES) |
| Organische Schadstoffe | | | | | | |
| PFT (Perfluorierte Tenside) | 0,05 mg/kg TM | 0,1 mg/kg TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.4.9 | DIN 38414-14: 2011-08 | Extraktion in Methanol und Chromatographie und Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS ^g) |
| Dioxine und dl-PCB ^h (WHO ⁱ TEQ 2005 ⁱ) | keine | 30 ng/kg TM | alle | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 1.4.10 | DIN EN 16190: 2019-10 | Extraktion in Toluol und Gaschromatographie und hochauflösende Massenspektrometrie (HR GC-MS) |

| Analyse-Parameter | Kennzeichnungsschwelle | Grenzwert | Nach DüMV anzuwenden für ... Düngemitteltypen ^a | Fundort (gesetzlich) | Methode ^b | Analyseverfahren |
|---|------------------------|------------|--|---|---|--|
| PAK ₁₆ ^k | keine | 6 mg/kg TM | k. A. | VERORDNUNG (EU) 2019/1009, Teil II, CMC 3: Kompost, 1 e) ii | <u>Komposte:</u> DIN ISO 18287: 2006-05 <u>Karbonisate:</u> DIN EN 15527: 2008-09 DIN EN 16181: 2019-08 | Gaschromatographie und Massenspektrometrie (GC-MS) Verfahren B: Extraktion mit einem Gemisch aus Aceton, Petrolether und Wasser bei Vorhandensein von Natriumchlorid Extraktion mit Toluol und GC-MS Extraktion mit Toluol und HPLC |
| Pharmazeutische Rückstände^l | | | | | | |
| Ciprofloxacin | keine | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. | Extraktion in wässrigem Puffer/Ethanol und Chromatographie und Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS) |
| Clarithromycin | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. | Extraktion in wässrigem Puffer/Ethanol und Chromatographie und Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS) |
| Carbamazepin | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. | Extraktion in wässrigem Puffer/Ethanol und Chromatographie und Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS) |

DIN SPEC 91421:2020-12

| Analyse-Parameter | Kennzeichnungsschwelle | Grenzwert | Nach DüMV anzuwenden für ... Düngemitteltypen ^a | Fundort (gesetzlich) | Methode ^b | Analyseverfahren |
|--|------------------------|--------------------------|--|---|--|---|
| Diclofenac | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. | Extraktion in wässrigem Puffer/Ethanol und Chromatographie und Chromatographie und Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS) |
| Ethinylestradiol oder Estradiol | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. | Chromatographie und Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS) (partiell validierte Methode) |
| Seuchenhygienische Parameter | | | | | | |
| Salmonellen | k. A. | 0/50 g | alle | DüMV:2012, § 5 (2) 1 | BGK Kap. IV C1; 2013-05 bzw. BioAbfV 4.2.1.2 | Vergleich mit Standard oder Oberflächenverfahren/MPN-Verfahren ^m |
| <i>E. coli</i> | k. A. | 1000 KBE/1g ⁿ | k. A. ^o | EG 142/2011 Anhang V Kap. III Abs. 3 Nr. 1a | BGK Kap. IV C3; 2006-09 | Fluoreszenzmessung |
| Enterokokken | k. A. | 1000 KBE/1g ^p | k. A. ^q | EG 142/2011 Anhang V Kap. III Abs. 3 Nr. 1a | BGK Kap. IV C4; 2006-09 | MPN-Verfahren ^r |
| <i>Clostridium perfringens</i> und Sporen | k. A. | 0/1 g | k. A. ^s | EG 142/2011 Anhang IV Kap. III G Nr. 1 c i | BVL L 00.00-57; 2006-12 | Koloniezählung |
| Somatische Coliphagen ^t | k. A. | | k. A. | k. A. | DIN EN ISO 10705-2: 2002-01 | PFU ^u -Zählung |
| Phytohygienische Parameter | | | | | | |
| Keimfähige Samen und austriebsfähige Pflanzenteile | k. A. | 2 Pflanzen/1 l | k. A. ^v | BioAbfV, Anhang 2, 4.3.2 | Kultivierungsmethode mit 3 kg Sammelprobe gesiebt < 10 mm (feste Proben) bzw. 0,5 l (flüssige Probe) | Prüfmischung wird auf Salzgehalt von < 2 g KCl je Liter eingestellt, in Versuchsschalen ausgebracht, bewässert und beleuchtet; nach 15 Tagen Kulturdauer werden die aufgelaufenen Pflanzen gezählt. |

| Analyse-Parameter | Kennzeichnungsschwelle | Grenzwert | Nach DüMV anzuwenden für ... Düngemitteltypen ^a | Fundort (gesetzlich) | Methode ^b | Analyseverfahren |
|-------------------|------------------------|-----------|--|----------------------|----------------------|---|
| a | | | | | | Berücksichtigte Düngemitteltypen nach DüMV sind mineralische Mehrnährstoffdünger und organische bzw. organisch-mineralische Düngemittel. |
| b | | | | | | Die Methoden bzw. Analyseverfahren werden nicht von der DüMV vorgeschrieben. Es werden hier allgemein in Laboren benutzte und dem Stand der Wissenschaft entsprechende Methoden dargestellt. |
| c | | | | | | Für Düngemittel ab 5 % P ₂ O ₅ (FM). |
| d | | | | | | Für Düngemittel ab 5 % P ₂ O ₅ (FM). |
| e | | | | | | Ausgenommen spezielle Spurennährstofftypen (DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte 6). |
| f | | | | | | Ausgenommen spezielle Spurennährstofftypen (DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 4.1.1, Spalte (6)). |
| g | | | | | | Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrische Detektion. |
| h | | | | | | DL-PCB = dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle. |
| i | | | | | | WHO = World Health Organization bzw. Weltgesundheitsorganisation |
| j | | | | | | WHO-TEQ-2005 = toxic equivalency (TEQ) bzw. Toxizitätsäquivalente nach WHO. Die Ergebnisse werden als WHO-TEQ 2005 angegeben. https://www.dioxindb.de/dokumente/Dioxine_und_Dioxinaehnliche_PCB_in_Umwelt_und_Nahrungsketten.pdf |
| k | | | | | | PAK16 = 16 bestimmte polyaromatische Kohlenwasserstoffe = Summe von Naphthalen, Acenaphtylen, Acenaphten, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo[a]anthracen, Chrysen, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren, Benzo[a]pyren, Indeno[1,2,3-cd]pyren, Dibenzo[a,h]anthracen und Benzo[ghi]perylen. |
| l | | | | | | Auswahl nach Priorisierungskonzept von Konradi et al. (2014). In dem Konzept wird das Umweltgefährdungspotenzial von Humanarzneimittelrückständen in Klärschlamm für Boden und Bodenorganismen systematisch eingestuft und bewertet. Bisher sind keine gesetzlichen Grenzwerte vorhanden. |
| m | | | | | | MPN = most probable number; statistisches Verfahren zur Bestimmung vermehrungsfähiger Keime. |
| n | | | | | | KBE = koloniebildende Einheiten; <i>E. Coli</i> oder Enterokokken in 5 Proben unter 1 000 KBE/g wobei in einer Probe die KBE-Zahl zwischen 1 000 und 5 000 liegen darf; wenn in einer Probe die KBE-Zahl über 5 000, ist diese Probe nicht zufriedenstellend. |
| o | | | | | | Muss nach DüMV nicht untersucht werden; gilt nach Verordnung (EG) Nr. 142/2011 für Fermentationsrückstände und Komposte aus bestimmten tierischen Produkten. |
| p | | | | | | KBE = koloniebildende Einheiten; <i>E. coli</i> oder Enterokokken in 5 Proben unter 1 000 KBE/g wobei in einer Probe die KBE-Zahl zwischen 1 000 und 5 000 liegen darf; wenn in einer Probe die KBE-Zahl über 5000, ist diese Probe nicht zufriedenstellend. |
| q | | | | | | Muss nach DüMV nicht untersucht werden; gilt nach Verordnung (EG) Nr. 142/2011 für Fermentationsrückstände und Komposte aus bestimmten tierischen Produkten. |
| r | | | | | | MPN = most probable number; statistisches Verfahren zur Bestimmung vermehrungsfähiger Keime. |
| s | | | | | | Muss nach DüMV nicht untersucht werden; gilt nach Verordnung (EG) Nr. 142/2011 für bestimmte tierische Nebenprodukte, u. a. Gülle „unmittelbar nach der Behandlung entnommene Materialproben: <i>Clostridium perfringens</i> kein Befund in 1 g des Produkts“, Hier erfolgt die Messung <i>nach</i> einer Erhitzung und <i>vor</i> der Kompostierung. |
| t | | | | | | Somatische Coliphagen sind in keiner im Rahmen der Erarbeitung dieser DIN SPEC betrachteten Verordnungen vorgeschrieben, wurden aber in verschiedenen Kontexten als Indikatororganismus bezeichnet. Es handelt sich bei ihnen nicht um Krankheitserreger, sie zeigen aber fäkale Verunreinigung an. |
| u | | | | | | Plaque forming unit = Einheit die zur Quantifizierung infektiöser Viren. |
| v | | | | | | Nach BioAbfV dann durchzuführen, wenn pflanzliches Material als Zuschlagstoff bei der Kompostierung verwendet wurde. |

In Tabelle A.3 sind die Düngemitteltypen und deren geforderte Eigenschaften aufgelistet. Die Tabelle ermöglicht es, aufbauend auf eigenen Analysen, den Dünger einem Düngemitteltyp zuzuordnen. Eine solche Klassifizierung ist nach DüMV erforderlich, wenn ein Düngemittel in Verkehr gebracht werden soll.

Tabelle A.3 — Düngemitteltypen und Einordnung der Recycling-Dünger nach DüMV mit Mindestgehalt, Fundort und Hinweisen

| Düngemitteltyp | Mindestgehalt | Fundort (gesetzlich) | Besondere Hinweise zur Analytik oder Anforderungen ^a |
|--|--|--|---|
| Phosphatdünger | | | |
| Dünger aus Phosphatfällung (1), Verbrennung von Klärschlämmen (2) ^b | 10 % P ₂ O ₅ als Gesamtphosphat | DüMV:2012, Anlage 1, Nr. 1.2.9 | Siebdurchgang: Der Phosphatdüngers muss zu 98 % bei 0,63 mm bzw. zu 90 % bei 0,16 mm das Sieb passieren. |
| | | DüMV:2012, Anlage 2, Tabellen 4, 5.7 und 6.2 | Phosphat-Mindestlöslichkeit: wasserlöslich: 2,5 %; neutral-ammonicitratlöslich und wasserlöslich: 5 %; ausschließlich mineralsäurelöslich: 2 % |
| (1) Aus Phosphatfällung | | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 6.2.4 | Fällungsmittel: Calciumchlorid, Kalkmilch, Magnesiumchlorid, Magnesiumoxid- oder -hydroxid, Calciumsilikathydrat ^c Wenn Endprodukt Dicalciumphosphat (mit Magnesium oder mit Tricalciumphosphat) gelten die Vorgaben nach DüMV, Anhang 1, Tabelle 1.2 (1.2.1 bzw. 1.2.2). |
| (2) Aus Verbrennung von Klärschlämmen ^d | | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 6.2.3 | In granulierter oder staubgebundener Form, Siebdurchgang: — bei 0,1 mm max. 0,2 %; — bei 0,05 mm max. 0,05 %; — bei 0,01 mm max. 0,005 %. |
| Mineralische Mehrnährstoffdünger^e | | | |
| NP-Dünger | Fest: 3 % N, 5 % P ₂ O ₅ | DüMV:2012, Anlage 1, Abschnitt 2.1 | Düngemittel wurde auf chemischem Wege, durch Mischen (fest) oder Lösen (Lösung) hergestellt. Stickstoff in den Stickstoffformen: fest: 3.1 bis 3.10 als Lösung: 3.1 bis 3.4 und 3.7 Phosphat in den Phosphatlöslichkeiten: fest: 4.2.1 bis 4.2.3 als Lösung: 4.2.1 |
| | als Lösung: 1 % N, 1 % P ₂ O ₅ , insgesamt 3 % | | |

| Düngemitteltyp | Mindestgehalt | Fundort (gesetzlich) | Besondere Hinweise zur Analytik oder Anforderungen ^a |
|--|---|------------------------------------|--|
| NK-Dünger | Fest: 3 % N, 5 % K ₂ O | DüMV:2012, Anlage 1, Abschnitt 2.2 | Düngemittel wurde auf chemischem Wege, durch Mischen (fest) oder Lösen (Lösung) hergestellt. |
| | als Lösung: 1 % N, 1 % K ₂ O, insgesamt 3 % | | Stickstoff in den Stickstoffformen: fest: 3.1 bis 3.10; Lösung: 3.1 bis 3.4 und 3.7; wasserlösliches Kaliumoxid |
| PK-Dünger | Fest: 5 % P ₂ O ₅ , 5 % K ₂ O | DüMV:2012, Anlage 1, Abschnitt 2.3 | Düngemittel wurde auf chemischem Wege, durch Mischen (fest), Lösen (Lösung) oder Suspendieren (Suspension) hergestellt. Eine ausschließliche Verwendung von Aschen nach Anlage 2, Tabelle 7.3 (Zeile 7.3.16), ist ebenfalls möglich. |
| | als Suspension: 5 % P ₂ O ₅ , 5 % K ₂ O | | Phosphat in den Phosphatlöslichkeiten 4.2.1 bis 4.2.11 wasserlösliches Kaliumoxid |
| | als Lösung: 1 % P ₂ O ₅ , 1 % K ₂ O, insgesamt 3 % | | |
| NPK-Dünger | Fest: 3 % N, 5 % P ₂ O ₅ , 5 % K ₂ O | DüMV:2012, Anlage 1, Abschnitt 2.4 | Düngemittel wurde auf chemischem Wege, durch Mischen (fest), Lösen (Lösung) oder Suspendieren (Suspension) hergestellt. |
| | auf Trägermaterial: 1 % N, 1 % P ₂ O ₅ , 1 % K ₂ O | | Bei festen Düngern ist eine ausschließliche Verwendung von Aschen nach Anlage 2, Tabelle 7.3 (Zeile 7.3.16), ebenfalls möglich |
| | als Lösung: 1 % N, 1 % P ₂ O ₅ , 1 % K ₂ O, insgesamt 4 % | | Stickstoff in den Stickstoffformen: fest: 3.1 bis 3.10; als Lösung: 3.1 bis 3.4, 3.7; als Suspension: 3.1 bis 3.4 |
| | als Suspension: 3 % N, 4 % P ₂ O ₅ , 4 % K ₂ O | | Phosphat in den Phosphatlöslichkeiten: fest: 4.2.1 bis 4.2.7, 4.2.11; als Lösung: 4.2.1; als Suspension: 4.2.1, 4.2.5, 4.2.8 |
| Organische und organisch-mineralische Düngemittel^f | | | |
| Organischer N-, P-, K-, NP-, NK-, PK- oder NPK-Dünger | Einnährstoffdünger: 3 % für den Nährstoff Zweinährstoff- und Dreinährstoffdünger: 1 % N, 0,3 % P ₂ O ₅ oder 0,5 % K ₂ O | DüMV:2012, Anlage 1, Abschnitt 3.1 | Herkunft der Ausgangsstoffe nach DüMV:2012, Anlage 2, Tabelle 7.1, 7.2 und 7.4 |
| Organisch-mineralische N-, P-, K-, NP-, NK-, PK- oder NPK-Dünger | Einnährstoffdünger: 3 % für den Nährstoff Zweinährstoff- und Dreinährstoffdünger: 1,5 % N, 0,5 % P ₂ O ₅ oder 1,0 % K ₂ O; 10 % oTS | DüMV:2012, Anlage 1, Abschnitt 3.2 | Herkunft der Ausgangsstoffe nach DüMV:2012, Anlage 2, Tabelle 7 Bei Verwendung mineralischer Düngemittel erhöht sich der Mindestgehalt auf 3 % N, 3 % P ₂ O ₅ oder 3 % K ₂ O. |

DIN SPEC 91421:2020-12

| Düngemitteltyp | Mindestgehalt | Fundort (gesetzlich) | Besondere Hinweise zur Analytik oder Anforderungen ^a |
|----------------|---------------|-------------------------|---|
| a | | | <p>Ausführungen zu Stickstoffformen und Phosphatlöslichkeiten in den folgenden Tabellen.</p> <p>b Bezeichnung nach DüMV:2012, Anlage 2, Tabelle 6.2.</p> <p>c Muss aus originärer Herstellung stammen, keine Rest- oder Abfallstoffe (DüMV:2012, Anhang 2, Tabelle 6.2.4).</p> <p>d Bezeichnung nach DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 6.2.3. Im Fall des Anwendungsbereichs der DIN SPEC Verbrennung „von Fäzes und Zuschlagstoffen“.</p> <p>e Die beiden mineralischen Mehrnährstoff-Düngemitteltypen, NP- und NK-Dünger (DüMV:2012, Anlage 1, Abschnitt 2), schließen laut DüMV die Verwendung von Recyclingdüngern aus. Lediglich PK und NPK –Dünger inkludieren die Verwendung von Aschen (nach DüMV:2012, Anlage 2, Tabelle 7.3, Zeile 7.3.16). Nach Auffassung des Konsortiums kommen jedoch Urin-basierte nitrifizierte Recyclingdünger aufgrund der chemischen Aufbereitung dem Düngemitteltyp eines flüssigen mineralischen Mehrnährstoffdüngers theoretisch sehr nahe und werden deshalb hier mit aufgelistet.</p> <p>f Komposte/organische und organisch-mineralische Produkte unter dem Mindestgehalt können als Bodenhilfsstoff deklariert werden, dabei müssen NPK unter 1,5 % N, 0,5 % P₂O₅, 0,75 % K₂O in der TM liegen (siehe weitere Auflagen bei Bodenhilfsstoffen (DüMV)).</p> |

Tabelle A.4 und Tabelle A.5 enthalten nur für mineralische Dünger spezifisch zu analysierende Parameter (Stickstoffformen und Phosphatlöslichkeiten). Welche Analysen gemacht werden müssen ist abhängig vom Düngemitteltyp. Dieser wird mithilfe von Tabelle A.3 ermittelt.

Tabelle A.4 — Stickstoff-Formen (Deklaration) nach DüMV mit Fundort, Methode und Analyseverfahren

| Analyse-Parameter | Fundort | Methode | Analyseverfahren |
|--|-------------------------------|--|--|
| 3.1 Gesamtstickstoff | DüMV Anlage 2, Nr. 3.1 | VDLUF A II.1, 3.5.2.7:1995 (Gesamt-Stickstoff N) | Verbrennung und Wärmeleitfähigkeitsmessung |
| 3.2 Nitratstickstoff | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 3.2 | VDLUF A II.1, 3.4.2:1995 | Extraktion und Photometrie |
| 3.3 Ammoniumstickstoff | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 3.3 | Bestimmung nach STRACH (DBFZ ^a) | Photometrie |
| 3.4 Carbamidstickstoff | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 3.4 | VDLUF A II.1, 3.9.2:1995 | Chromatographie (HPLC) |
| 3.5 Cyanamidstickstoff | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 3.5 | VDLUF A II.1, 3.6:2004 | Fällung |
| 3.6 Crotonylidendiharnstoffstickstoff | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 3.6 | Harnstoffstickstoff, VDLUF A II.1, 3.8 – 3.10:1995 | verschiedene Methoden |
| 3.7 Formaldehydharnstoffstickstoff | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 3.7 | | |
| 3.8 Isobutylidendiharnstoffstickstoff | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 3.8 | | |
| 3.9 Dicyandiamidstickstoff | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 3.9 | | |
| 3.10 Acetylendiharnstoffstickstoff | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 3.10 | VDLUF A II.1, 3.10.2:1995 | Chromatographie (HPLC) |
| ^a DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“: Messmethodensammlung Biogas – Methoden zur Bestimmung von analytischen und prozessbeschreibenden Parametern im Biogasbereich, 3.4 Bestimmung des Ammoniumstickstoffgehaltes, Leipzig 2015 | | | |

Tabelle A.5 — Phosphatlöslichkeiten (Deklaration) nach DüMV mit Fundort, Methode und Analyseverfahren

| Analyse-Parameter | Fundort | Methode | Analyseverfahren |
|--|---------------------------------|---|---|
| 4.2.1 Wasserlösliches Phosphat | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.1 | DIN EN ISO 11885 (E 22); 2009-09 (mod.) | Spektrometrie (ICP-OES) |
| 4.2.2 Neutral-ammoncitratlösliches Phosphat | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.2 | VDLUFA II.1, 4.1.4:1995 | Extraktion |
| 4.2.3 Neutral-ammoncitratlösliches und wasserlösliches Phosphat | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.3 | DIN EN ISO 11885 (E 22); 2009-09 (mod.) | Spektrometrie (ICP-OES) |
| 4.2.4 Ausschließlich mineralsäurelösliches Phosphat | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.4 | DIN EN ISO 11885 (E 22); 2009-09 (mod.) | Spektrometrie (ICP-OES) |
| 4.2.5 Alkalisches-ammoncitratlösliches Phosphat (Petermann) | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.5 | VDLUFA II.1, 4.1.5:1995 | Extraktion |
| 4.2.6 In 2%iger Zitronensäure lösliches Phosphat | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.6 | VDLUFA II.1, 4.1.3:1995 | Extraktion |
| 4.2.7 Gesamtphosphat, davon mindestens 75 % des angegebenen Gehaltes an P ₂ O ₅ in alkalischem Ammoncitrat (Joulie) löslich | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.7 | VDLUFA II.1, 4.1.5:1995 | Extraktion |
| 4.2.8 Gesamtphosphat, davon mindestens 55 % des angegebenen Gehaltes an P ₂ O ₅ in 2%iger Ameisensäure löslich | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.8 | VDLUFA II.1, 4.1.2:2004 | Extraktion |
| 4.2.9 Gesamtphosphat, davon mindestens 45 % des angegebenen Gehaltes an P ₂ O ₅ in 2%iger Ameisensäure löslich, mindestens 20 % des angegebenen Gehaltes an P ₂ O ₅ wasserlösliches Phosphat | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.9 | VDLUFA II.1, 4.1.2:2004 | Extraktion |
| | | VDLUFA II.1, 4.1.7:1995 | Extraktion |
| 4.2.10 In 2%iger Zitronensäure und in alkalischem Ammoncitrat (Petermann) lösliches Phosphat | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.10 | VDLUFA II.1, 4.1.3:1995 | Extraktion |
| | | VDLUFA II.1, 4.1.5:1995 | Extraktion |
| 4.2.11 Gesamtphosphat (Methode: mineralsäurelösliches Phosphat) ^a | DüMV:2012, Anlage 2, Nr. 4.2.11 | VDLUFA II.1, 4.1.1.1 bis 4.1.1.4:1995 | Nass- oder Trockenaufschluss mit Säuren |

^a Der Anteil an ausschließlich mineralsäurelöslichem P₂O₅ darf 2 % nicht überschreiten.

Anhang B (informativ)

Hinweise zur Probenahme für Analysen der Recyclingdünger

Um die Qualität und die Unbedenklichkeit eines Recyclingdüngers aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft nach diesem Dokument zu prüfen, müssen Proben des Materials auf die im Standard festgelegten Anforderungen analysiert werden (siehe 4.4).

Das zu prüfende Substrat ist der fertige Recyclingdünger; dieser kann ein Flüssigdünger oder ein Feststoffdünger sein. Um Proben eines Recyclingdüngers zu erhalten, müssen diese zunächst dem zu prüfenden Material entnommen werden. Die Probenahme sollte nach einem einheitlichen, also „standardisierten“, und, soweit es geht, wissenschaftlich anerkannten Vorgehen erfolgen. Ein genau vorgeschriebenes Vorgehen dient prinzipiell dazu, möglichst **repräsentative und vergleichbare Proben** der jeweiligen Recyclingdünger, sowie möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Je sorgfältiger die Probenahme, desto korrekter bzw. aussagekräftiger ist letztendlich das Ergebnis. Orientierung kann z. B. BGK, 2006 bieten.

Um die Probenahme zu dokumentieren findet sich unterhalb dieses Abschnitts ein Probenahmeprotokoll. Dieses sollte vor, während und nach der Probenahme ausgefüllt und anschließend zur Dokumentation aufbewahrt werden. Sollte es nicht möglich sein, bestimmte Teile auszufüllen, oder sollten sich Abweichungen bei der Probenahme ergeben, kann es sinnvoll sein, dies im Protokoll zu vermerken. Diese Notizen können bei der späteren Interpretation der Ergebnisse wichtige Aufschlüsse geben.

Generell gelten folgende Hinweise zur Probenahme:

- **Labore:** Vor der Probenahme sollte entschieden werden, welche Parameter untersucht werden sollen und von welchen Laboren die Analysen getätigt werden können. Es bietet sich an, Kontakt mit Laboren aufzunehmen. Oft erledigt ein Labor mehrere Analysen, die aus einer Probe bewerkstelligt werden können. Außerdem können Labore Angaben zur erforderlichen Probemenge und den Preisen machen. Eine Liste möglicher Labore findet sich im Anhang C.
- **Herstellen einer repräsentativen Probe:**
 - Feste Stoffe: Umso weniger grob oder stückig der Dünger, desto einfacher ist eine repräsentative Probenahme und desto repräsentativer ist das Ergebnis für die Bewertung der Qualität des Düngers. Wenn möglich sollte das gesiebte Gut, bzw. diejenige Form beprobt werden, in der der Dünger als Produkt im Gartenbau eingesetzt werden soll.
 - Flüssige Stoffe: die Probe sollte vor der Probenahme homogenisiert werden. Bei unterschiedlichen Schichten sollten diese gemischt werden. Je homogener, desto repräsentativer ist das Ergebnis für die Bewertung der Qualität des Düngers.
- **Geräte und Materialien:** die verwendeten Geräte und Materialien zur Probenahme und -lagerung müssen sauber sein und dürfen die zu untersuchenden Eigenschaften und Inhaltsstoffe der Proben nicht beeinflussen. Daher sollten bei der Probennahme für mikrobiologische Analysen die Probenahmegeräte und Probensammelbehälter sterilisiert werden, also z. B. mit 100 °C heißem Wasser ausgespült oder in einem Topf abgekocht werden.
 - Als Probenahmegeräte und -utensilien können Löffel, Kelle, Spaten, Kunststoffolie, Kunststoffeimer, -wannen und -beutel zum Einsatz kommen.
 - Als Materialien können Edelstahl oder hochwertiger Kunststoff eingesetzt werden; für Analysen auf organische Schadstoffe sollten Glasgefäße für die Probenverpackung- bzw. -lagerung genutzt werden; für ausschließlich mikrobiologische Analysen sollten PVC-Flaschen oder unbenutzte, neue Kunststoffbeutel für die Probenverpackung benutzt werden.

— **Durchführung Probenahme, Herstellung einer Sammelprobe bei festen Stoffen:**

- Prinzipielles Vorgehen bei großen Volumina (z. B. Kompostmieten): Die Probenahme soll so erfolgen, dass die Ergebnisse möglichst für den ganzen beprobten Dünger sprechen. Folgender Vorschlag soll eine repräsentative Probenahme gewährleisten:
 - 12 Einzelproben von 2 l bis 3 l nehmen; bei Kompost von möglichst verschiedenen Orten, d. h. an verschiedenen Stellen entlang der Miete und aus verschiedener Tiefe der Miete.
 - Das gesammelte Material der Einzelproben auf einer Plane oder in einem geeigneten Gefäß gut vermischen → Sammelprobe.
- Prinzipielles Vorgehen bei kleinen Volumina (z. B. Einzelproben aus Laborversuchen):
- Gleichgroße Einzelproben der Produkte aller Versuche (die mit in die Analyse einbezogen werden sollen) nehmen und zu einer Sammelprobe vermischen.

— **Verjüngen der Probe**¹²

- Feste Stoffe: Die auf der Plane oder im Gefäß gemischte Sammelprobe durch Ziehen von Diagonalen in vier Segmente unterteilen. Nun wird 1 Segment verworfen und die verbleibenden Segmente erneut gemischt. Das Prozedere wird so lange wiederholt, bis die Probemenge die erwünschte Größe hat. Die benötigte Probemenge sollte mit dem/den Labor/en abgesprochen werden. Bei Kompost sollte das Volumen der Endprobe etwa 20 l umfassen; für andere feste Dünger sollten min. 3 kg feste Stoffe als Endprobe gesammelt werden¹³.
- Flüssige Stoffe: die Gesamtprobe wird gut gemischt und es wird die benötigte Probemenge entnommen. Für Flüssigdünger sollte das gewünschte/geforderte Volumen mit dem/den bearbeitenden Labor/en abgesprochen werden und liegt wahrscheinlich im Bereich von 1 l bis 3 l.

— **Probe aufbewahren und verschicken:** Die Probe sollte in ein luftdichtes Behältnis aus einem der oben genannten Materialien gefüllt werden und beschriftet werden. Anschließend sollte sie mit extra Umverpackung aus Karton innerhalb eines Tages an das bereits informierte Labor geschickt werden. Bitte beachten, dass die Proben für manche Analysen gekühlt gelagert und verschickt werden sollten. Ob dies gefordert ist, bitte beim Labor erfragen.

— **Häufigkeit der Probenahme:** Die Menge des jährlich produzierten Outputs in Tonnen Trockenmasse, aufgerundet auf die nächstgrößere 1 000 t Zahl geteilt durch 1 000 ergibt die Anzahl der zu tätigen Untersuchungen.

BEISPIEL 3 279 t jährliche Produktion → 4 000 t gerundet → geteilt durch 1 000 = 4 Probenahmen. Für die meisten privaten Anwender*innen ist demnach die Beprobung und Analyse zur Qualitätssicherung nach diesem Dokument nur einmal im Jahr erforderlich.

Für 11 001 t und mehr sind 12 Untersuchungen durchzuführen.

¹² „Verjüngen“ heißt, die Probemenge verkleinern, ohne dass die Repräsentativität der Probe verloren geht.

¹³ In der Praxis hat sich gezeigt, dass manche Labore eine Probenmenge von etwa 2 kg wünschen.

Probenahmeprotokoll für _____
 _____ (Name des Versuchs)

A. Allgemeine Angaben

| | |
|--|--|
| Art des Recyclingproduktes: | |
| Erzeuger*in des Recyclingproduktes: | |
| Ort der Erzeugung: | |
| Probenahmetag/Uhrzeit: | |
| Probenehmer*in: (Name + Telefonnummer) | |

B. Verwendete Ausgangsstoffe

| | Bezeichnung | Herkunft | Volumen/Anteil ^a |
|--|-------------|----------|-----------------------------|
| Verwendete Ausgangsstoffe: | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Geschätztes Gesamtvolumen: | | | |
| ^a Je nachdem welche Daten bekannt sind. | | | |

C. Verwertungsverfahren

| | |
|---|--|
| Art/Beschreibung des Verwertungsverfahrens: | |
| Vorbehandlungsschritte ^a : | |
| Nachbehandlungsschritte ^b : | |
| Durchführungszeitraum (von-bis): | |
| Einflüsse auf das Material während der Behandlung ^c : | |
| Sonstige Merkmale des Verfahrens ^d : | |
| | |
| ^a z. B. Lagerung, Homogenisierung, Zerkleinerung usw. ^b z. B. Siebung usw. ^c z. B. Witterung, Niederschläge usw. ^d z. B. bei Kompostierung: erreichte Maximaltemperaturen und Dauer der thermophilen Phase, Art der Haufwerks usw. | |

D. Probenahme

| | |
|---|--|
| Probenahmeverfahren ^a : | |
| Verwendete Probenahmegeräte und -materialien ^b : | |
| Anzahl der Mischproben: | |
| Anzahl der Einzelproben je Mischprobe: | |
| Probenvorbereitungsschritte ^c : | |
| Probentransport und -lagerung ^d : | |
| Sonstige Bemerkungen zur Probenahme ^e : | |
| <p>^a z. B. ruhende Haufwerksbeprobung, Beprobung aus BigBag usw.</p> <p>^b z. B. Probenstecher, Schaufel (beides Edelstahl)</p> <p>^c z. B. Verjüngung mittels Probenkreuz</p> <p>^d z. B. Kühlung etwa +4 °C</p> <p>^e z. B. Ausgasung, übler Geruch, Sickerwasser usw.</p> | |

Ort, Datum

Unterschrift der Probenehmer*in

Anhang C (informativ)

Offene Liste möglicher Labore¹⁴

Die nachfolgende Tabelle C.1 stellt eine offene Liste von möglichen Laboren dar, die Analysen von menschlichen Fäkalien durchführen. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um eine nicht abgeschlossene Auflistung von Laboren handelt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass es neben den aufgelisteten Unternehmen noch weitere gibt, die ähnliche Leistungen anbieten. Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Dokuments waren den Mitarbeiter*innen des Konsortiums nur die aufgelisteten Labore bekannt. DIN unterstützt keine Bevorteilung Einzelner. Die nachfolgende Tabelle wurde auf Wunsch des DIN-SPEC Konsortiums aufgenommen, um dem Anwender der Spezifikation Anhaltspunkte zu liefern und die Anwendung zu erleichtern.

Tabelle C.1 — Offene Liste mögliche Labore

| Labor | Anschrift | Analysen |
|---|---|---|
| LUFÄ Nord-West Institut für Düngemittel und Saatgut | Finkenborner Weg 1A, D-31787 Hameln | <ul style="list-style-type: none"> — Standardparameter (TS, oTS, pH, Salzgehalt) — Hauptnährstoffe (N, P, K, N-wasserlöslich, P-Löslichkeiten) — Nebennährstoffe (Ca, Mg, Na, Se, S), Spurennährstoffe (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) — Fremdstoffe (für Komposte) — Schwermetalle (As,Pb, Cd, Cr, Cr(VI), Cu, Ni, Hg, Tl, Zn) — Seuchenhygiene (<i>E. coli</i>, Salmonellen, Enterokokken, <i>C. perfringens</i>) — organische Schadstoffe (PAK (PAK EPA 16), Dioxine und dl-PCB (PCDD/PCDF), perfluorierte Tenside (PFOA/PFOS)) |
| Eurofins Ökometric GmbH | Bernecker Straße 17–21, D-95448 Bayreuth | organische Schadstoffe (Dioxine und dl-PCB (PCDD/PCDF), perfluorierte Tenside (PFOA/PFOS)) |
| Zweckverband Landeswasserversorgung – Laborgemeinschaft SüdWest | Am Spitzigen Berg 1, D-89129 Langenau | Seuchenhygiene (somatische Coliphagen) |
| Eurofins Umwelt Ost GmbH (Auftragnehmer Pharmazeutische Rückstände) | Löbstedterstraße 78, D-07749 Jena | siehe unten: Unterauftragnehmer Pharmazeutische Rückstände |
| JenaBios GmbH (Unterauftragnehmer Pharmazeutische Rückstände) | Löbstedterstraße 80, D-07749 Jena | Pharmazeutische Rückstände (Carbamazepin, Ciprofloxacin, Clarithromycin, Diclofenac) Nachweisgrenze: > 0,01 mg/kgOS (außer Diclofenac > 0,003 mg/kgOS) |

¹⁴ Die genannten Labore sind Beispiele von möglichen Laboren, die Analysen von menschlichen Fäkalien durchführen. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieser Spezifikation und bedeutet keine Anerkennung dieser Labore durch DIN.

| Labor | Anschrift | Analysen |
|--|---------------------------------------|--|
| ProChem GmbH (Unterauftragnehmer Pharmazeutische Rückstände) | Daimlerring 37, D-31135 Hildesheim | Pharmazeutische Rückstände (Carbamazepin, Ciprofloxacin, Clarithromycin, Diclofenac, E) Nachweisgrenze: > 0,1 mg/kgOS |
| ... | | |

Anhang D (informativ)

Mögliche Abweichungen der Analysen

Fallabhängig vom Ausgangssubstrat, der Herkunft der Zuschlagstoffe und der Behandlungsmethode ist eine Abweichung von den o. g. Analysen möglich. Die Hintergründe hierfür sind in der Risikoanalyse aufgeführt (Krause et al., 2020). Die Kennzeichnungsschwellen finden sich in Anhang A, Tabelle A.1.

- **Ausgangsprodukt:** Stammt der Urin aus Urinalen ohne Möglichkeit der Querverunreinigung mit Fäzes kann auf die umfassende Analyse der Hygieneparameter verzichtet werden. Zwingend erforderlich ist jedoch weiterhin die Untersuchung auf Salmonellen und *E. coli* als Indikator für Querverunreinigung durch Fäkalien.
- **Herkunft der Zuschlagstoffe:** Werden die folgenden Zuschlagstoffe nicht verwendet, kann auf eine Untersuchung der Schwermetalle und der organischen Schadstoffe verzichtet werden.
 - Recyclingtoilettenpapier aus nicht qualitätsgesichertem Altpapier;
 - kommunaler Grünschnitt z. B. von Straßenrändern;
 - Tonerde;
 - Pflanzenkohle.
- **Behandlungsmethode:** Werden die folgenden Behandlungsmethoden nicht angewendet, bzw. werden sie angewendet und es konnte dabei bereits sichergestellt werden, dass die verwendeten Zuschlagstoffe frei von Schadstoffen sind, kann auf eine Untersuchung der Schwermetalle und der organischen Schadstoffe verzichtet werden.
 - Urin: Struvitfällung;
 - Urin: Harnstoffstabilisierung durch pH-Regulation mit Kalkhydrat oder Säuren;
 - Urin: Intensivierte Nitrifizierung durch pH-Regulation mit Muschelkalk;
 - Pelletierung von Fäzes;
 - Karbonisierung von Fäzes.

Anhang E (informativ)

Praktische Anwendungsempfehlungen

E.1 Allgemeines

Als Teil der Synthese in der Erarbeitung der DIN SPEC, werden im Folgenden Anwendungsempfehlungen für die gartenbauliche Nutzung von Recyclingdüngern aus Inhalten aus Trockentoiletten sowie für die vorgelagerte Behandlung von Inhalten aus Trockentoiletten und für den Betrieb von Trockentoiletten zusammengefasst.

E.2 Gartenbauliche Anwendungsempfehlungen zur Düngung

Bei der Düngung, auch mit Recyclingdüngern, muss das deutsche Düngerecht eingehalten werden. Hier gilt, dass „bedarfsgerecht“ gedüngt werden muss. Das heißt, zunächst gilt es den Düngbedarf der zu düngenden Kultur zu ermitteln. Auf Basis dieser sogenannten „**Düngbedarfsermittlung**“ kann dann – mit Kenntnis über die Nährstoffzusammensetzung der/des Dünger/s – bestimmt werden, welche Mengen Dünger auf einer bestimmten Fläche für eine/mehrere bestimmte Kultur/en appliziert werden kann. Das Vorgehen bei der Düngbedarfsermittlung ist in der Düngverordnung¹⁵ (DüV) beschrieben; in der Anlage 4 der DüV finden sich Tabellenwerte, die dabei helfen den Stickstoffdüngbedarf zu ermitteln.

Wenn ein Dünger die nach diesem Dokument zur Qualitätssicherung geforderten Eigenschaften einhält, kann er *prinzipiell*¹⁶ verwendet werden, um den ermittelten Düngbedarf zu decken. Die Verwendungsmöglichkeiten zur Düngung verschiedener Hauptnährelemente wie Stickstoff (N), Phosphor (P) oder Kalium (K) ergeben sich hierbei aus dessen Gehalt an den genannten Nährstoffen und deren Verhältnis zueinander (z. B. **NPK-, PK-, NK-Dünger**). Je nach Nährstoffkonzentration im Dünger, kann eine Verdünnung mit Wasser oder eine ergänzende Nährstoffzufuhr notwendig sein.

Außerdem unterscheiden sich die Dünger hinsichtlich ihrer Eignung als Dünger mit Kurzzeit- oder Langzeitwirkung. Urin-basierte Recyclingdünger weisen in der Regel eine hohe Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen auf. Insbesondere N ist direkt verfügbar bzw. als mineralischer N – in Form von Ammonium (NH₄⁺) und Nitrat (NO₃⁻) – schnell löslich und somit geeignet bei einer anvisierten **Kurzzeitdüngewirkung**. Fäzes-basierte Recyclingdünger in Form von Kompost oder Karbonisaten können in Abhängigkeit vom N-Gehalt und C/N-Verhältnis eine geringere kurzfristige Nährstoffverfügbarkeit, bzw. eine verzögerte Freisetzung aufweisen. Sie eignen sich daher als Düngemittel mit **Langzeitdüngewirkung**, die auch für nachfolgende Kulturen in der Düngbedarfsermittlung angerechnet werden sollte. Außerdem eignen sich Fäzes-basierte Komposte und Karbonisate zum **Humusaufbau**. Die positive Düngewirkung von Urin und Fäzes ist empirisch nachgewiesen (Krause et al., 2020, S. 20 ff.).

¹⁵ „Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen“.

¹⁶ Um als Dünger auf gärtnerisch oder landwirtschaftlich genutzt Flächen verwendet werden zu können, müssen die Ausgangsstoffe zu den zugelassenen „Hauptbestandteilen für Düngemittel“ gehören, d. h. in der Positivliste der DüMV (Anhang 2, Tabelle 7) gelistet sein; für menschliche Ausscheidungen Urin und Fäzes ist dies bisher nicht der Fall.

Bei der Ausbringung von Düngemitteln ist es außerdem relevant, Nährstoffverluste in Form von **Auswaschungen oder Ausgasungen zu vermeiden**. Die deutsche DüV regelt daher, dass die Ausbringung von organischen Düngemitteln nur unter Einhaltung der Einarbeitungszeit (§ 6, Abs. 1+2, DüV) und mit einer zugelassenen Gerätetechnik (§ 6, Abs. 3, DüV) möglich ist. Außerdem müssen vor allem im Winter Ausbringungsverbote beachtet werden, wenn der Boden, der gedüngt werden soll, überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder schneebedeckt ist (§ 5, Abs. 1, DüV); im Freiland gilt ein Ausbringungsverbot auch während eines festgelegten Zeitraums im Winter (§ 6, Abs. 8, DüV). Flüssige organische Düngemittel, die einen wesentlichen Gehalt an verfügbarem Stickstoff haben (z. B. Gülle), müssen streifenförmig und bodennah oder direkt in den Boden eingebracht werden, um Ammoniak (NH₃) Emissionen zu vermeiden. Diese Praxis sollte somit auch für Urin-basierte Recyclingdünger umgesetzt werden. Die Ausbringung von Kompost ist nach DüV ganzjährig möglich. Um Auswaschungen zu vermeiden, empfiehlt die Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) allerdings, dass nährstoffreiche Komposte, zu denen Komposte aus menschlichen Fäkalien häufig zählen, im Freiland nur während der Vegetationszeit und vor der Aussaat oder der Bepflanzung ausgebracht werden sollten¹⁷. Bei Urin-basierten Düngeprodukten kann es auf Grund des hohen Gehalts an NH₄⁺-N, bei gleichzeitigem pH >> 7 und starkem Austausch mit der Umgebungsluft, bereits während der Lagerung des Düngers zu Ausgasungen von Ammoniak (NH₃) kommen. Die Lagerung sollte daher geschlossen bzw. abgedeckt erfolgen, um NH₃-Emissionen zu vermeiden.

Ein potenzielles Risiko durch den **Salzgehalt** in Urin-basierten Düngern kann aktuell noch nicht abschließend abgeschätzt oder ausgeschlossen werden. Bei einer länger andauernden Verwendung von Urin-basierten Recyclingdüngern in geschlossenen Systemen ohne Drainage (Töpfe, Hochbeete, Gewächshaus), oder in ariden Gebieten kann ein erhöhter Salzgehalt möglicherweise negative Auswirkungen auf Boden und Pflanzen haben. Daher ist es ratsam, den Salzgehalt im Boden, im Substrat (beim Anbau in Töpfen und Hochbeeten) oder in der Nährlösung (beim Anbau in sogenannten „Hydroponikanlagen/-systemen“) vor und fortlaufend nach der Anwendung eines solchen Düngers im Blick zu behalten. Die elektrische Leitfähigkeit (en: *Electric conductivity*, EC) ist ein Summenparameter¹⁸, der genutzt werden kann, um die gesamte Salzmenge, der im Boden gelösten Nährstoffe, zu bestimmen. Der EC-Wert kann somit als grober Orientierungswert zur Bestimmung des Salzgehalts im Boden dienen. Eine genauere Bestimmung wäre gezielt die Analyse des Bodens auf Natriumchlorid (NaCl), also Kochsalz. Eine zusätzliche Verwendung von Kompost kann ggf. die Salzmenen im Boden ausgleichen bzw. die negativen Auswirkungen kompensieren.

E.3 Technische Anwendungsempfehlungen zur Behandlung von Inhalten aus Trockentoiletten

Im Fall der gartenbaulichen Anwendung von Recyclingprodukten aus Inhalten aus Trockentoiletten muss ein Hauptaugenmerk der geforderten Eigenschaften auf (i) der seuchenhygienischen Unbedenklichkeit sowie (ii) der Schadstofffreiheit liegen. Die Erfüllung dieser Eigenschaften wird durch eine spezifische Behandlung im Rahmen der Düngerherstellung bedingt und kann technisch wie folgt erreicht werden:

(i) Eine **ausreichende Hygienisierung**, bei der Pathogene/Krankheitserreger abgetötet oder inaktiviert werden, kann prinzipiell auf verschiedene Weise erreicht werden. Physikochemische und biologische Faktoren, die das Überleben von Mikroorganismen in der Umwelt beeinflussen, umfassen u. a. Temperatur, pH, Wassergehalt/Feuchte, solare bzw. UV-Strahlung, Antagonisten oder Nährstoffverfügbarkeit. Eine Hygienisierung kann dementsprechend auf verschiedene Weise erreicht werden, u.a. durch Hitzebehandlungen (z. B. Pasteurisierung, thermophile Kompostierung oder Karbonisierung), durch eine Veränderung des pH-Wertes (z. B. alkalische/alkalisierende bzw. saure Behandlung mit entsprechenden Additiven respektive z. B. mit Harnstoff oder Milchsäurebakterien), durch Trocknung und Dehydrierung,

¹⁷ www.kompost.de/fileadmin/docs/shop/Anwendungsempfehlungen/602_bgk_galabau.pdf

¹⁸ Summenparameter = ein in der chemischen Analytik gebräuchlicher Begriff zur zusammenfassenden Beschreibung von Wirkungs- und Stoffkenngrößen. (<https://www.chemie.de/lexikon/Summenparameter.html>).

oder auch durch UV-Bestrahlung. Zur Sicherstellung der Hygienisierungsleistung sind die Vorschriften für Prozessprüfungen nach BioAbfV¹⁹ zu beachten.

Für die praktische Anwendung empfiehlt die WHO zur Hygienisierung von menschlichen Fäkalien eine **Hitzebehandlung** bei 55 °C bis 60 °C über mehrere Tage bis hin zu einem Monat bei konstanter Temperaturüberwachung²⁰. Die deutsche BioAbfV schreibt als Hygienisierung von Bioabfällen eine Hitzebehandlung von 70 °C für mindestens eine Stunde (Pasteurisierung) bzw. 55 °C für zwei Wochen, 60 °C für sechs Tage, oder 65 °C für drei Tage (Kompostierung) vor. Auf EU-Ebene empfiehlt Carrington (2001) für die Klärschlammbehandlung, dass eine Hygienisierung insbesondere durch Pasteurisierung oder thermophile Kompostierung erreicht werden soll. Für die Pasteurisierung sollte die Hitzebehandlung bei 80 °C für 10 min, bei 75 °C für 20 min oder bei 70 °C für 30 min erfolgen (ebenda). Bei der thermophilen Kompostierung sollte das Material während der Heißrotte-Phase mindestens dreimal gewendet werden, wobei zwischen dem Wenden die Temperatur im kompostierenden Material über die Dauer von 4 h stets bei mindestens 55 °C gehalten werden muss (ebenda). Im Anschluss an diese Heißrotte-Phase muss außerdem noch eine ausreichend lange Reifephase anschließen.

Bei Zuschlagstoffen, die während des Behandlungsprozesses z. B. zum Zwecke der Hygienisierung und Harnstoffstabilisierung den **pH-Wert** verändern (stark basisch oder stark sauer), ist darauf zu achten, dass der pH-Wert des End- also des Düngeproduktes wieder auf einen pflanzenverträglichen Bereich reguliert wird (z. B. durch Verdünnung).

(ii) Bei der Schadstofffreiheit sind bei Recyclingdüngern aus Inhalten aus Trockentoiletten vor allem organische Spurenstoffe wie **Pharmazeutika und Hormone** relevant; Schwermetalle und Mikroplastik in menschlichen Ausscheidungen stellen kein bedeutendes Risiko dar. Um Frachten an pharmazeutischen Substanzen in die Umwelt zu reduzieren, sollte eine gezielte Behandlung der Stoffströme Urin und Fäzes zum Zwecke der Eliminierung der pharmazeutischen Rückstände erfolgen. Eine Elimination pharmazeutischer Rückstände bzw. Substanzen kann beispielsweise durch eine Aktivkohlefiltration von Urin erfolgen möglicherweise durch Hitzebehandlung von sowohl Urin als auch Fäzes, z. B. per Pasteurisierung. Eine Eliminierung bei der thermophilen Kompostierung von Fäzes wird aktuell erforscht.

Bei Verwendung von **Zuschlagstoffen für die Behandlung** – z. B. Grünschnitt und/oder Pflanzenkohle bei der Kompostierung oder mineralische Zuschlagstoffe zur Urin-Aufbereitung – muss sichergestellt sein, dass diese frei von Schadstoffen sind bzw. mindestens Schadstoffgrenzwerte einhalten.

Generell gilt außerdem, dass fehlgeworfene **Störstoffe** im Verlauf des Aufbereitungsprozesses der Toiletteninhalte zu Recyclingdüngern hinreichend und so früh wie möglich entfernt werden müssen. Um manchmal nicht vermeidbare Fehlwürfe von Hygieneartikeln, Verpackungsmüll und anderen Abfällen zu entfernen, sollte das Düngeprodukt gesiebt werden. Um möglichst auch zersplittertes Glas zu entfernen, ist eine feine Siebung (0 mm bis 10 mm) notwendig.

E.4 Technische Anwendungsempfehlungen zum Betrieb von Trockentoiletten

Damit Inhalte aus Trockentoiletten prinzipiell zur Herstellung von Recyclingdüngern geeignet sind, müssen auch bestimmte Anforderungen bereits beim Betrieb der Toiletten erfüllt werden. Diese dienen vor allem dazu, eine ausreichende Reinheit der eingetragenen bzw. zugegebenen Stoffe zu gewährleisten (z. B. möglichst geringer Anteil an Stör- und Schadstoffen; Vermeidung von Querverschmutzungen mit Chemikalien).

¹⁹ Anhang 2 „Anforderungen an die hygienisierende Behandlung von Bioabfällen zur Gewährleistung der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit“; Nr. 4.2.1 Prozessprüfung Seuchenhygiene und Nr. 4.3.1 Prozessprüfung Phytohygiene.

²⁰ WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater — Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture. WHO Press. Genf, Schweiz.

Um die **Schadstoffbelastung gering zu halten**, und damit potentiell einhergehende negative Auswirkungen auf Mensch und/oder Umwelt bei der Verwertung des gesammelten Materials zu vermeiden, sind beim Betrieb von Trockentoiletten, deren Inhalte zu qualitätsgesicherten Recyclingdüngern weiterverarbeitet werden sollen, die folgenden Aspekte relevant:

- Bereitstellen von Mülleimern für **Hygieneartikel** (z. B. Feuchttücher, Tampons, Binden, Kondome), sodass diese nicht in der Trockentoilette entsorgt werden. Außerdem sollten Nutzer*innen von Trockentoiletten über die potenziell negativen Auswirkungen von Fehlwürfen mit Abfällen im Wertstoffkreislauf sensibilisiert werden.
- Anbringung von Verbots-Hinweisen zur Entleerung von **Inhalten aus Chemietoiletten**, bzw. Hinweisen und Bereitstellung von expliziten Entsorgungsmöglichkeiten oder Sammelstellen für Inhalte aus Chemietoiletten (z. B. an nahen Rast- und Campingplätzen), sodass diese Abfälle nicht über die Trockentoiletten entsorgt werden. Die Nutzer*innen von Kassettentoiletten (oft als Chemietoiletten bezeichnet), die häufig in Wohnmobilen verwendet werden, sollten außerdem mit einer unübersehbaren Kennzeichnung darüber aufgeklärt werden, dass von Chemietoiletteninhalte ein Risiko für Mensch und Umwelt ausgeht, und dass diese auf keinen Fall in Trockentoiletten entleert werden dürfen.
- Das verwendete **Einstreumaterial** (Sägemehl, Hobelspäne, Pflanzenkohle, Gesteinsmehl, Tonerde, Asche, Kompost u. v. m.) muss frei von Schadstoffen sein. Der*die Betreiber*in der Trockentoilette muss auf Herkunft und Zusammensetzung des Materials achten. Es wird empfohlen ausschließlich Späne aus der Verarbeitung von naturbelassenem Holz zu verwenden; von der Verwendung von Abfällen aus Tischlereien, in denen Holzverbundstoffe verarbeitet werden, ist dringend abzuraten.
- Das bereitgestellte **Toilettenpapier** in den Kabinen muss zellstoffbasiert und frei von schadstoffhaltigen Druckerfarben, Bleichungsmitteln und Duftstoffen sein.
- Der Eintrag von **Reinigungsmitteln**, geruchsneutralisierenden Substanzen und Duftstoffen bei der Erfassung menschlicher Ausscheidungen sollte so gering wie möglich gehalten werden. Dazu gehört (i) ein sparsamer Umgang mit den jeweiligen Substanzen, (ii) das Vermeiden des Eintrags der Substanzen in die Urin- und Fäzes-Sammelbehälter, sowie (iii) die Verwendung von biologisch abbaubaren und umweltverträglichen Reinigungsmitteln, die keine oder nur geringe Mengen (synthetischer) Duftstoffe enthalten.

Um zu vermeiden, dass die gesammelten Fäkalien außerdem überdurchschnittlich hoch mit Krankheitserregern und/oder pharmazeutischen Rückständen belastet sind, empfiehlt es sich, die Toiletten nur dort aufzustellen, wo sich vorwiegend „gesunde“ Personen aufhalten. Krankenhäuser sind demnach zum Beispiel keine geeigneten Orte, um Ausgangssubstrate für Recyclingdünger zu sammeln.

Anhang F (informativ)

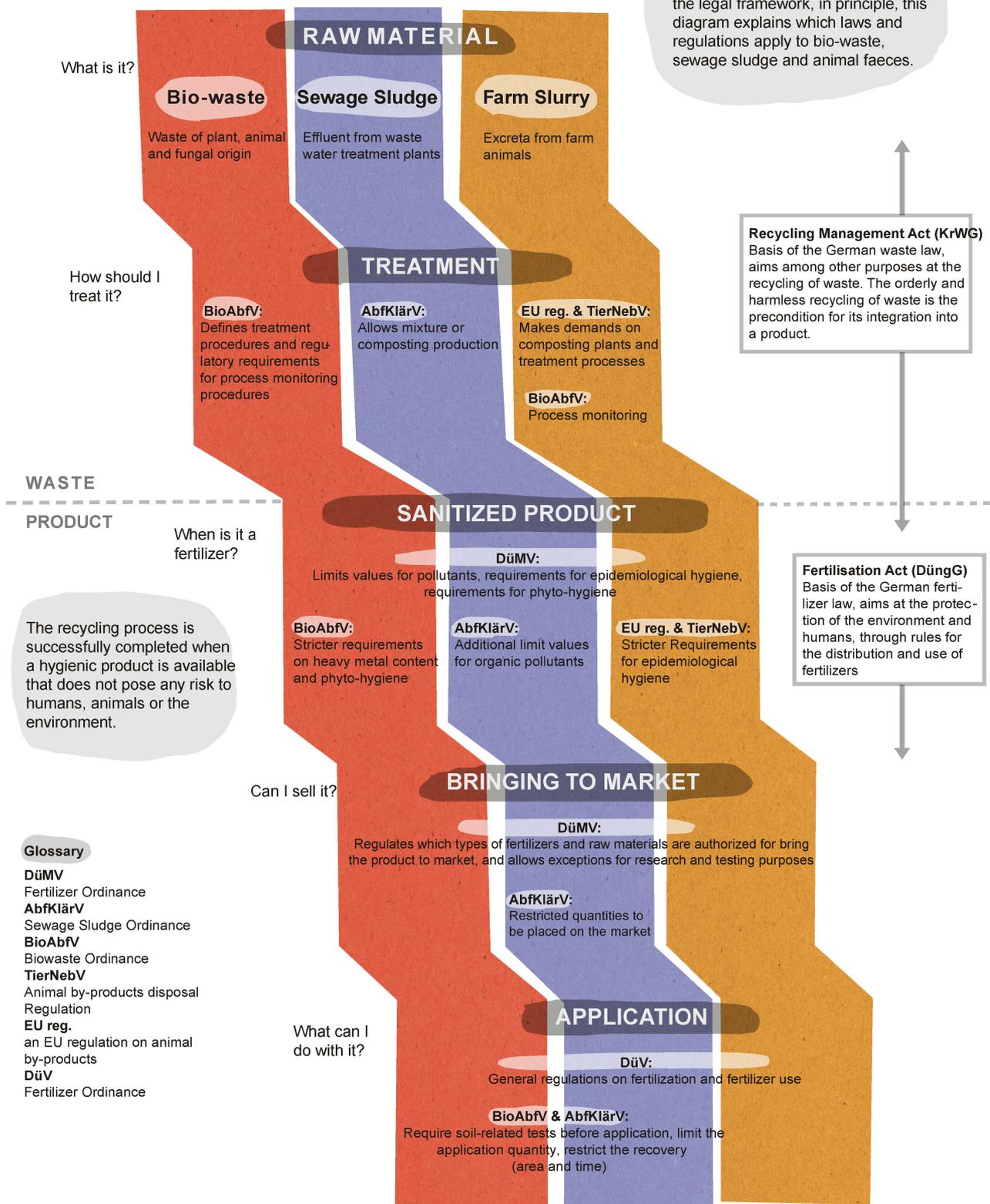
Darstellung der Gesetze und Verordnungen

Einen Überblick über die Gesetzeslage für menschliche Fäkalien, die nicht über das Abwasser entsorgt werden, bieten Bild F.1 (deutsche Version) und Bild F.2 (englische Version). Um die deutsche Gesetzeslage im internationalen Kontext und für den Dialog verständlich zu machen, wurde die Darstellung hier auch in Englischer Sprache ergänzt.

FROM FAECES TO FERTILIZER

What is important to the legislator?
 Guidelines for the recycling of the three waste products to be processed for fertilizers

The German legal framework for human faeces that are not disposed in wastewater treatment is unclear. Nevertheless, we want to utilise them for fertilizer. In order to understand the legal framework, in principle, this diagram explains which laws and regulations apply to bio-waste, sewage sludge and animal faeces.



Glossary

- DüMV**
Fertilizer Ordinance
- AbfKlärV**
Sewage Sludge Ordinance
- BioAbfV**
Biowaste Ordinance
- TierNebV**
Animal by-products disposal Regulation
- EU reg.**
an EU regulation on animal by-products
- DüV**
Fertilizer Ordinance

Bild F.2 — From Faeces to Fertilizer

Anhang G (informativ)

Ergebnisse der Proof-of-Concept-Versuche

Die im Rahmen dieses Dokumentes realisierte „Proof-of-Concept“-Studie hatte zum Ziel (a) die Praktikabilität der gewählten Qualitätsparameter und die Durchführbarkeit entsprechender Analysemethoden mit Hinblick auf die vorliegenden Matrizen und Nachweisgrenzen zu überprüfen, sowie (b) die Qualität einer geeigneten Stichprobe unterschiedlicher Recyclingdünger aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft hinsichtlich der festgelegten Kriterien zu bewerten.

Für die Durchführung des Proof-of-Concept wurden insgesamt vierzehn Recyclingdünger aus Ausgangssubstraten menschlicher Herkunft analysiert, davon zwölf Feststoffdünger und zwei Flüssigdünger. Dabei handelte es sich um neun Fäkalkomposte unterschiedlicher Herkunft, Herstellungsverfahren und Substratzusammensetzungen, zwei Recyclingdünger basierend auf Karbonisaten aus Trockentoiletteninhalten, ein festes Fällungsprodukt aus menschlichem Urin und zwei flüssige Recyclingdünger aus menschlichem Urin aus unterschiedlichen Herstellungsverfahren. Zu Vergleichszwecken wurden drei weitere organische Düngemittel mit einbezogen. Dies waren Rindergülle, Schweinegülle und getrockneter Klärschlamm.

Standardparameter; Haupt- Neben- und Spurennährstoffe

Alle untersuchten Recyclingdünger stimmen mit den in diesem Dokument festgelegten Parametern bzgl. der Nährstoffgehalte überein. Viele der analysierten Düngemittel erreichen die für eine Kennzeichnung nötigen Schwellenwerte für den Gehalt einzelner Nährstoffe und Nährstofflöslichkeiten, die die Zuordnung zu Düngemitteltypen laut DüMV ermöglichen.

Schwermetalle und Fremdstoffe

Die Gehalte an Schwermetallen liegen bei nahezu allen der untersuchten Recyclingprodukte unterhalb der festgelegten Grenzwerte, lediglich das Fällungsprodukt aus menschlichem Urin wies einen erhöhten Schwermetallgehalt auf, was auf einen fehlerhaften Herstellungsprozess zurückzuführen ist. Beim Gehalt an Fremdstoffen (nur für Komposte relevant) ergaben die Untersuchungen eine Grenzwertüberschreitung für Fremdstoffe > 2 mm (max. 0,4 % TS) in einem der untersuchten Fäkalkomposte.

Organische Schadstoffe und pharmazeutische Rückstände

Bei den Untersuchungen der organischen Schadstoffe konnten keine Grenzwertüberschreitungen festgestellt werden. Die Analyseergebnisse zu den ausgewählten Indikatorsubstanzen von Pharmazeutika zeigten Werte oberhalb der Nachweisgrenze für zwei Substanzen in einer Probe eines Fäkalkompost. Im Vergleichssubstrat des getrockneten Klärschlammes konnten ebenfalls pharmazeutische Rückstände oberhalb der Nachweisgrenze ermittelt werden.

Seuchenhygiene und Infektionsschutz

Bei den untersuchten Hygieneparametern wurden Grenzwertüberschreitungen für einige der ausgewählten Indikator-Organismen festgestellt. Dies betrifft insbesondere *E. coli*, was in insgesamt vier Proben festgestellt werden konnte; in einem Fall wurde der bestehende Grenzwert deutlich überschritten. Auch der nach diesem Dokument vorgeschriebene seuchenhygienische Indikator *Clostridium perfringens* und Sporen konnte in drei Fäkalkomposten nachgewiesen werden, in einem Fall in deutlich erhöhter Zahl keimbildender Einheiten. Die verbleibenden Hygieneparameter konnten entweder nicht nachgewiesen werden oder lagen unterhalb der einschlägigen Grenzwerte.

Erkenntnisse und Diskussion

Die in diesem Dokument empfohlenen Methoden für die Analyse von Recyclingdünger aus menschlichen Ausscheidungen auf die festgelegten Qualitätsparameter wurden dabei auf übliche Verfahren in Laboren angepasst. Außerdem wurde an manchen Stellen im Analyseprogramm nachjustiert, d. h. Methoden wurden durch besser geeignete, verfügbare Methoden ersetzt/ergänzt.

So wurde bei reinen Karbonisaten eine geeignete Methode ergänzt, die die Untersuchung relevanter organischer Schadstoffe zuverlässig ermöglicht.

Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Nachweisgrenzen einiger Methoden, wie sie in den Laboren angewendet werden, teilweise sehr bzw. zu gering sind. Dies betrifft insbesondere die Nachweisgrenzen des stark hitzeresistenten Bakteriums und Hygiene-Indikator *Clostridium perfringens* und Sporen. Hier lag die praktische Nachweisgrenze beim gewählten Labordienstleister bei < 10 KbE/g Substrat; der Grenzwert aus (EG) Nr. 142/2011 ist jedoch 0 KbE/g Substrat. Für einige pharmazeutische Indikatorsubstanzen liegt die Nachweisgrenze der Labore, die in der durchgeführten Studie beauftragt wurden, bei max. $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ TS. Laut einer im Rahmen der Risikoanalyse durchgeführten Literaturrecherche, wurden in Vergleichsstudien jedoch auch Funde unterhalb $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ TS berichtet, die also unter dieser Nachweisgrenze liegen (Krause et al., 2020). Die Nachweisgrenze für pharmazeutische Rückstände kann sich je nach Untersuchungsmatrix und Extraktionsmethode stark unterscheiden. Bei der Suche nach geeigneten Laboren für die dort durchzuführenden Analysen hat sich gezeigt, dass es schwierig ist Labore zu finden, die Analysen von pharmazeutischen Rückständen auch in Feststoffen wie Kompost durchführen. In Anhang C wurde daher eine nicht abschließende Liste möglicher Labore aufgelistet, die im Rahmen dieser Proof-of-Concept-Studie erarbeitet und genutzt wurde.

Einige der festgestellten Grenzwertüberschreitungen konnten teilweise durch das Herstellungsverfahren und damit in Zusammenhang stehende Verunreinigungen erklärt werden (z. B. Schwermetalle und Fremdstoffe). Außerdem zeigte sich eine ausgeprägte Differenzierung zwischen den verschiedenen Proben der gewählten Stichprobe hinsichtlich einzelner Parameter, die teilweise auch durch die Dokumentation der Herstellungsverfahren, als Teil des Probenahmeprotokolls, erklärt werden konnte.

Insgesamt lässt sich aus der durchgeführten Proof-of-Concept-Studie ableiten, dass die gewählten Qualitätskriterien, Parameter und Analysemethoden gut geeignet sind um Recyclingdünger aus menschlichen Ausscheidungen hinsichtlich ihrer Qualität und gartenbaulichen wie auch landwirtschaftlichen Eignung zu bewerten und zu vergleichen. Sie ermöglicht außerdem eine konsistente Einordnung der Recyclingdünger zu den Düngemitteltypen der DüMV. Somit konnte letztlich gezeigt werden, dass dieses Dokument geeignet ist, um zur Qualitätssicherung bei Recyclingdüngern aus menschlichen Ausscheidungen beizutragen.

Literaturhinweise

DIN 820-12:2014-06, Normungsarbeit — Leitfaden für die Aufnahme von Sicherheitsaspekten in Normen (ISO/IEC Guide 51:2014)

DIN EN 13965-2:2011-01, Charakterisierung von Abfällen — Terminologie — Teil 2: Managementbezogene Begriffe; Dreisprachige Fassung EN 13965-2:2010

AbfKlärV, Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung — AbfKlärV). Ausfertigungsdatum: 27.09.2017; Stand 27.09.2017²¹

BGK, 2006, Methodenbuch zur Analyse organischer Düngemittel, Bodenverbesserungsmittel und Substrate, 5. Auflage September 2006 inklusiver Ergänzungen (4. Ergänzung 2015), Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e. V. ISBN: 978-3-939790-00-6

BioAbfV, Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung — BioAbfV). Ausfertigungsdatum: 21.09.1998; Stand 27.09.2017²²

Carrington, E.G., 2001, *Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction-Final report*. European Commission report no. CO 5026/1, ISBN 92-894-1734-X, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

DWA, 2015, *Neuartige Sanitärsysteme*. 2. Auflage. Herausgeber: Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt. Weimar, Deutschland: Bauhaus-Universitätsverlag Weimar

DüngG, *Düngegesetz*. Ausfertigungsdatum: 09.01.2009; Stand 19.6.2020²³

Hübner, T., Krause, A., Häfner, F., 2020. Proof-of-Concept“ zur DIN SPEC 91421 — Qualitätssicherung bei der gartenbaulichen Anwendung von Düngemitteln aus menschlichen Ausscheidungen durch Produktanalysen (Manuskript in Vorbereitung)

Konradi, S., Brückner, S., Vogel, I., 2014. Humanarzneimittelrückstände im Klärschlamm — Priorisierungskonzept zur Einstufung des Umweltgefährdungspotentials für den Boden. Mitteilung der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie, 20. Jahrg. 2014/Nr. 2

Krause, A., Augustin, F., Häfner, F., 2020. *Risikoanalyse zur Anwendung von Recyclingdüngern aus menschlichen Fäkalien im Gartenbau*.²⁴

KrWG, Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz -KrWG). Ausfertigungsdatum: 24.02.2012; Stand 20.07.2017²⁵

²¹ Verfügbar unter: http://www.gesetze-im-internet.de/abfkl_rv_2017/

²² Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/bioabfv/>

²³ Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/d_ngg/

²⁴ Verfügbar unter: www.igzev.de/wp-content/uploads/2019/04/Krause_Risikoanalyse_DE.pdf

²⁵ Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/>

TierNebV, Verordnung zur Durchführung des Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes (Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung — TierNebV). Ausfertigungsdatum: 27.07.2006; Stand 04.12.2018²⁶

US Composting Council. *Compost Definition* ²⁷

VDLUFA, 1991, Methodenbuch Band II. Die Untersuchung von Böden, 4. Auflage Gesamtwerk einschließlich 1. - 7. Ergänzung, VDLUFA-Verlag. Darmstadt, ISBN 978-3-941273-13-9

VDLUFA, 1995, Methodenbuch Band II. Die Untersuchung von Düngemitteln, 4. Auflage Gesamtwerk einschließlich 1. - 6. Ergänzung, VDLUFA-Verlag. Darmstadt, ISBN 978-3-941273-15-3

Verordnung (EG) Nr. 142/2011 der Kommission vom 25. Februar 2011 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte²⁸

Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über Düngemittel²⁹

Verordnung (EU) 2019/1009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003³⁰

²⁶ Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/tiernebv/>

²⁷ Verfügbar unter: <https://www.compostingcouncil.org/page/CompostDefinition> (letzter Zugriff am 21.09.2020)

²⁸ Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/142/2020-06-30>

²⁹ Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2003/2003/2019-07-18>

³⁰ Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>