

**This is the preprint of the contribution published as:**

Schramm, E., Douhaire, C., **Hübner, T.** (2021):

Komposttoiletten als Ausgangspunkt für sichere Düngeprodukte. Composting toilets as starting point for safe fertilizer products

*Wasser und Abfall* **23** (10), 52 – 56

**The publisher's version is available at:**

<http://dx.doi.org/10.1007/s35152-021-0681-7>

## Gewässerentlastung durch innovative Abfallverwertung – Komposttoiletten als Ausgangspunkt für sichere Düngeprodukte

Engelbert Schramm, Caroline Douhaire, Tobias Hübner

Geplanter Erscheinungsort: **Wasser & Abfall**

Autor\*innen-Hinweise:

<https://resource-cms.springernature.com/springer-cms/rest/v1/content/12029190/data/v5>

### *Zusammenfassung*

Menschliche Fäkalien aus mobilen Toiletten lassen sich zu hygienisch unbedenklichen Produkten für landwirtschaftliche Absatzmärkte verarbeiten. Komposttoiletten, die eine deutlich höhere Akzeptanz als Chemietoiletten haben, können dem Regime des Abfallrechts unterworfen werden. Geeignete Abfallschlüssel und düngerechtliche Positivlisten führen letztlich zur Vermeidung von Abwasser.

Human faeces from mobile toilets can be processed into hygienically safe products for attractive markets. Compost toilets, which have a much higher acceptance rate than chemical toilets, are to be prosecuted under the regime of waste legislation. Adequate waste codes and positive lists under fertilizer legislation ultimately lead to the avoidance of waste water.

### Stichworte

Menschliche Fäkalien; Komposttoiletten; Düngemittelprodukt; Kreislaufwirtschaft; Gewässerschutz

### 1. Einleitung

Wie eine aktuelle Untersuchung des Umweltbundesamtes zeigt, sind die deutschen Fließgewässer massiv durch den Kläranlagenablauf beeinflusst; dies hat zum Teil erhebliche Auswirkungen auf die Trinkwassergewinnung (Drewes et al. 2018). Für kleinere Flüsse ist teilweise zu beobachten, dass die Beeinflussung durch Einleitungen aus der Abwasserbehandlung dazu führen, dass die gesetzten Ziele nach Wasserrahmenrichtlinie zunächst nicht erreicht werden konnten (Bretschneider et al. 2019; Schaum et al. 2016). Für einen verbesserten Gewässerschutz wird es daher nicht nur darum gehen, sowohl bei der Abwasserbehandlung nachzurüsten als auch einen anderen Umgang mit Mischwasserentlastungen zu finden, sondern auch um eine Verringerung der Abwasserlasten.

Die Nutzung mobiler Toilettenanlagen erlaubt technisch, Alternativen zur wasserwirtschaftlichen Entsorgung der menschlichen Fäkalien zu beschreiten und dabei Kreisläufe gewässerschonend zu schließen, wenn die aufgefangenen Fäkalien nicht anschließend als Abwasser behandelt werden. Das Bundesministerium für Umwelt qualifiziert in einem internen Vermerk über „Die Anwendbarkeit des Abfallrechts auf Komposttoiletten“ (BMU 2018) die in Komposttoiletten anfallenden

menschlichen Fäkalien zwar eindeutig als Abwasser. Diese Rechtsauffassung ist allerdings unter Berücksichtigung der einschlägigen Rechtsprechung und des Abfallrechts kritisch zu hinterfragen (Ebert et al. 2020).

Die anschließende praktizierbare Verrottung der Fäkalien erlaubt es zudem, Gesichtspunkte von Ressourcenschonung, Bodenschutz, lokalem Ressourcenmanagement und Klimaschutz wahrzunehmen. Für den Einsatz von Trocken- bzw. Komposttoiletten hat dies eine interdisziplinäre wissenschaftliche Begleitung des Einsatzes der Toiletten auf Großveranstaltungen gezeigt (Hertel/Steinmetz 2017). Eigene Untersuchungen zeigen, dass bei sorgfältiger Prozessführung aus menschlichen Fäkalien Substrate erzeugbar sind, die als sehr kohlenstoff- und zudem nährstoffreicher Humuskompost vermarktbar und für die Endverbraucher interessant sind (Ebert et al. 2020).

Angesichts der sich ökonomisch und ökologisch zeigenden Potenziale ist zu überlegen, ob die Beurteilung der Möglichkeiten der stofflichen Verwertung von in Komposttoiletten anfallenden menschlichen Fäkalien geändert werden sollte, um so möglichst wirksam zur Gewässerentlastung beizutragen. Während das Abfallrecht vorsieht, dass eine Verwertung von Abfällen durch die Abfallwirtschaft (oder den Abfallerzeuger selbst) erfolgen kann, müssen menschliche Fäkalien, wenn sie auch in Chemie- und Trockentoiletten als Bestandteile des Abwassers gelten, immer den Kommunen zur Beseitigung in Kläranlagen überlassen werden.

## 2. Akzeptanz von Komposttoiletten

Komposttoiletten wurden seit 2013 auf zahlreichen Großveranstaltungen in Deutschland eingesetzt, auf Festivals, aber auch auf dem Evangelischen Kirchentag in Stuttgart 2015. Dort hat das ISOE-Institut für sozial-ökologische Forschung eine sozial-empirische Befragung zur Wahrnehmung und Akzeptanz der Komposttoiletten durchgeführt. Sie fand während des Kirchentages als Face-to-Face-Befragung statt. Nutzer der Komposttoiletten wurden in unmittelbarer Nähe der Komposttoiletten an zwei Standorten für etwa 10 Minuten befragt. Den Fragebogen füllten die Interviewer aus; er enthielt offene und geschlossene Fragen. Die Stichprobe bestand aus 115 Befragten, mit 57% Frauen und 43% Männern im Alter zwischen 12 und 82 Jahren. Das Durchschnittsalter betrug 40,9 Jahre. Eine Repräsentativität der Stichprobe wurde nicht angestrebt.

Als Ergebnis der Befragung ist zu erkennen, dass Komposttoiletten nicht nur toleriert wurden, sondern bei den Besuchern des Kirchentags auf große Zustimmung stießen: Die Idee faszinierte und das Konzept der dort aufgestellten Trockentoiletten und der anschließenden stofflichen Verwertung (Aufarbeitung als Kompost) überzeugte. Im Urteil der Befragten sind die Komposttoiletten für 83 % ein „gelungenes Toilettenkonzept“ und für 79% „ein zukunftsweisendes Konzept für mobile Toiletten“; für 74% eignen sie sich gut für Großveranstaltungen wie den Kirchentag. Größte Zustimmung mit 93% bekommt ihre Umweltfreundlichkeit; ausdrücklich hervorgehoben wurde nicht nur der Recycling-Gedanke, sondern auch die Wasserfreiheit des Systems. Weiterhin erhielten die Sauberkeit und die Geräumigkeit der Toiletten ebenso wie die einfache und angenehme Benutzung und die Geruchsverhältnisse gute Noten. Überwiegend wurden die (künstlerisch gestalteten) Komposttoiletten als originell und sympathisch empfunden. Für 95% der Befragten sind sie eine gute Alternative zu den üblicherweise auf Großveranstaltungen eingesetzten Chemie-Toiletten. Für 76 % sind sie sogar „wesentlich besser“ als die Chemie-Toiletten.

Nur ein Fünftel der Befragten empfanden die Komposttoiletten beim ersten Eindruck als gewöhnungsbedürftig oder befremdlich. Ein Kritikpunkt war die Händereinigung mit Desinfektionsgel. Ein knappes Drittel fand diese suboptimal.

Hinsichtlich der Gebrauchsanleitung und Informationen zu den Komposttoiletten sahen die Interviewten noch Optimierungsmöglichkeiten, um die Benutzung klarer und einfacher zu gestalten. Zur Bezeichnung wurde dem Begriff „Komposttoiletten“ eindeutig gegenüber „Trockentoiletten“ oder „Humustoiletten“ der Vorzug gegeben.

### 3. Behandlung von Komposttoilettenrückständen und Aufarbeitung zu einem Düngeprodukt

In Komposttoiletten werden als Nachwurfmaterial beim Toilettengang Hobelspäne eingesetzt. Dies dient der Feuchtigkeitsabsorption, der Geruchsminderung und der optischen Abdeckung. Bei der Benutzung der Komposttoiletten sickert der anfallende Urin durch die bis dahin in die Toilette eingebrachten Schichten aus Fäzes, Holzspänen und Toilettenpapier, sowie durch eine am Boden der Toilette befindliche Schicht aus Drainagestroh. Der sich am Grund der Behälter sammelnde Urin ist folglich nicht mehr sortenrein, sondern kann als Urindrainage behandelt und getrennt entsorgt werden.

Grundsätzlich könnten alle menschlichen dem Begriff der Düngemittel nach § 2 Nr. 1 DüngG unterfallen; der Gesetzgeber meint damit „Stoffe, ausgenommen Kohlendioxid und Wasser, die dazu bestimmt sind, Nutzpflanzen Nährstoffe zuzuführen, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern, oder die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder zu verbessern“. Bei entsprechender Zweckbestimmung könnten demnach auch Abfallstoffe wie menschliche Fäkalien, Klärschlamm oder Bioabfall als Düngemittel gelten.

Fäkalien (menschlicher sowie tierischer Herkunft) waren in der Vergangenheit ebenso wie Gärrückstände (und auch Klärschlamm) als „Sekundärrohstoffdünger“ in den Anwendungsbereich des ehemaligen Düngemittelgesetzes (DüMG) einbezogen. Zwar hat der Gesetzgeber die Bezeichnung „Sekundärrohstoffdünger“ bei der Schaffung des seit 2009 geltenden Düngegesetzes (DüngG) aufgegeben; hiermit waren jedoch keine inhaltlichen Einschränkungen verbunden (Ebert et al. 2020).

Die Andienung von Komposttoilettenrückständen auf existierenden Kompostierungsanlagen wird durch sog. Abfallschlüssel gesteuert. Die Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) hat in Umsetzung des Gemeinschaftsrechts spezifischen Wertstoffen/Abfallfraktionen sog. Abfallschlüssel zugeteilt. Damit existiert für die meisten Arten von Abfall ein spezifischer sechsstelliger Schlüssel, der sowohl Transport als auch die Verwertung bzw. den Entsorgungsweg regelt. Zugleich wird mit den Abfallschlüsseln in einem Positivkatalog gekennzeichnet, welche Verwertungsanlagen welche Abfälle/Wertstoffe verarbeiten dürfen. Vor dem Aufkommen von Komposttoiletten im größeren Umfang gab es in der deutschen Abfallwirtschaft keinen Bedarf, einen Abfallschlüssel für Feststoffe aus Komposttoiletten zu definieren. Ein eigener Abfallschlüssel, der genau zu den Eigenschaften dieser Feststoffe passt und gleichzeitig eine sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvolle stoffliche Verwertung in Kompostieranlagen zulässt, ist daher nicht definiert (Hertel/Steinmetz 2017).

Die Ergänzung dieses Positivkataloges mit einer bestimmten Abfallschlüsselnummer haben die Betreiber von Kompostierungsanlagen zunächst aus Aufwandsgründen aufgrund der in der Vergangenheit verhältnismäßig geringen Mengen für Feststoffe aus Komposttoiletten vernachlässigt. Im Rahmen des erwähnten Kirchentag-Projektes legte die AVL Ludwigsburg in Abstimmung mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg für die gesammelten Komposttoilettenrückstände den Abfallschlüssel „200304 Fäkalschlamm“ fest (Hertel/Steinmetz 2017). Dieser Abfallschlüssel beschreibt eigentlich Materialien, die menschliche Fäkalien enthalten, ist aber in Bezug auf die Eigenschaften Struktur, Wassergehalt und Gehalt organischer Substanz weit von den Feststoffen aus den Komposttoiletten entfernt. 2015 wurde aus den Komposttoiletten eine stichfeste Masse aus ca. 60 Vol.-% Hobelspäne, 15 Vol.-% Toilettenpapier, 15 Vol.-% Kot und 10 Vol.-% Urin angedient (Hertel/Steinmetz 2017).

Möglicherweise sind andere Abfallschlüssel besser geeignet, die Komposttoilettenrückstände abfallwirtschaftlich zu kennzeichnen. Genannt wurden in diesem Zusammenhang die folgenden Abfallschlüssel (vgl. Hertel/Steinmetz 2017):

- 02 01 06: Tierische Ausscheidungen, Gülle, Jauche und Stallmist (einschließlich verdorbenem Stroh), Abwässer, getrennt gesammelt und extern behandelt
- 20 02 01: biologisch abbaubare Abfälle
- 19 08 05: Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser
- 20 03 99: Siedlungsabfälle anders nicht genannt

Komposttoilettenrückstände weisen gegenüber anderen kompostierbaren Ausgangsstoffen folgende Besonderheiten auf: ein erhöhtes seuchenhygienisches Risiko aufgrund der potentiell hohen Zahl in Fäzes und Urin enthaltenen Pathogene, sowie ein erhöhtes Risiko durch die in Fäzes und Urin enthaltenen Mikroschadstoffe, vor allem Medikamentenrückstände (Krause et al. 2020)

Zur Behandlung von Komposttoiletteninhalten eignet sich nach derzeitigem Stand der Technik insbesondere die thermophile Kompostierung. Aufgrund der hierbei erreichbaren hohen Temperaturen ( $< 60\text{ °C}$ ) über mehrere Wochen kann eine sichere Hygienisierung erzielt und dadurch seuchenhygienische Sicherheit gewährleistet werden (Anand/Apul 2014). Aktuell durchgeführte wissenschaftliche Studien weisen darauf hin, dass während der thermophilen Kompostierung ein Großteil enthaltener Medikamentenrückstände teilweise oder vollständig abgebaut wird (Mulder et al. n.d.).

Die thermophile Kompostierung von Komposttoilettenrückständen erfolgt in Mieten von ca. 2,5-3 Meter Sohlenbreite und ca. 1 Meter Höhe. Komposttoilettenrückstände weisen aufgrund ihrer Zusammensetzung aus größtenteils Holzspänen (hoher C-Gehalt), sowie Fäzes und Urin (hoher N-Gehalt) ein für die Kompostierung optimales C/N-Verhältnis von 25-30 zu 1, sowie eine relativ hohe Luftdurchlässigkeit auf (Hübner 2021). Allerdings werden Holzspäne aufgrund ihres hohen Lignocellulose-Gehaltes relativ langsam abgebaut und geben dadurch den für die Kompostierung nötigen Kohlenstoff nur langsam frei. Fäzes und Urin werden dagegen relativ schnell abgebaut, wodurch ein Überschuss an frei verfügbarem Stickstoff eintreten kann. Dies kann zu einer verminderten Wärmeentwicklung (die wichtig für die Hygienisierung ist), einem

verlangsamten Abbau des organischen Materials, sowie zur vermehrten Bildung von Ammoniak führen. Ammoniak wird wiederum zu einem großen Teil emittiert, wodurch dem Kompost Stickstoff verloren geht (Bai and Wang 2010). Um dem entgegenzuwirken, können den Komposttoilettenrückständen Zuschlagstoffe mit hohem Anteil an frei verfügbarem Kohlenstoff beigemischt werden. Gut geeignet sind beispielsweise zuckerhaltige Reststoffe wie Trester, Obstabfälle, o.ä.. Auch der Zusatz von Pflanzenkohle ist möglich, wodurch Stickstoffverluste während der Kompostierung reduziert werden können (Hübner 2021).

#### 4. Aktuelle Möglichkeit der Verwendung

Im BMBF-Vorhaben BioFavor wurde weiterhin geprüft, wie weit eine Verwertung der bei Großveranstaltungen in Komposttoiletten gesammelten menschlichen Fäkalien möglich ist. Diese werden von einem Transportunternehmen, das z.B. dem Komposttoilettenunternehmen und dem Komposthersteller gemeinsam gehört, in Containern zur Kompostierungsanlage abgefahren.

In der Landwirtschaft wird Kompost zu einem Düngemittel und Bodenverbesserer, der entsprechend der Düngeverordnung anzuwenden ist. Sekundärrohstoffdünger dürfen aber nur dann als Düngemittel verwendet werden, wenn sie den Anforderungen der Düngemittelverordnung (DüMV) an das Inverkehrbringen entsprechen. Diese Verordnung enthält in Anhang 2 Tabelle 7 eine Liste mit „Hauptbestandteilen“. Menschliche Fäkalien aus mobilen Toiletten werden (auch auf Europäischer Ebene) nicht als erlaubte Komponente in den Positivlisten aufgeführt, ohne dass dazu zwingende Gründe bestehen (Ebert et al. 2020). Nach den in der DüMV festgelegten Bestimmungen können menschliche Fäkalien ausschließlich als „Klärschlämme“ (Gruppe 7.4.3.), nicht aber z.B. als „organischer Abfall“ (Gruppe 7.4.2.) gefasst werden. Bei Vergabe anderer Abfallnummern durch den Kompostierer dürfen die menschlichen Fäkalstoffe kein Hauptbestandteil mehr sein, sondern sind als Nebenbestandteil der Kompostierung entsprechend Anhang 2, Tabelle 8 (8.2.9.: „alle anderen zur Unterstützung einer sachgerechten Anwendung eingesetzten Stoffe“) zu betrachten.

Klärschlamm ist nach § 2 Nr. 1 AbfKlärV „ein Abfall aus der abgeschlossenen Behandlung von Abwasser in Abwasserbehandlungsanlagen“ und entspricht dem Abfallschlüssel 19 08 05. Folgt man der in der Einleitung benannten Auffassung des BMU (2018) und der Rechtsprechung vieler Verwaltungsgerichte, nach dem die menschlichen Fäkalien ein Abwasser sind, so könnte dieser Sicht zufolge auch der Absetzbereich einer Komposttoilette oder eine Kompostierungsanlage mit menschlichen Fäkalien eine Abwasserbehandlungsanlage sein. Entsprechend könnte aus Fäkalien hergestellter Kompost als „Klärschlamm“ im Sinne von § 2 Nr. 1 Klärschlammverordnung (AbfKlärV) betrachtet werden, welcher nach der Tabelle 7. zulässiger Ausgangsstoff für organische Düngemittel nach der DüMV ist.

Bei der Kompostierung, die mit Pflanzenkohle stattfindet, muss sichergestellt werden, dass potenzielle Krankheitserreger abgebaut werden; zugleich kann der Produzent sicherstellen, dass im hergestellten Substrat Schwermetalle im Regelfall nicht in besorgniserregenden Konzentrationen enthalten sind. Ein Inverkehrbringen ist grundsätzlich auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen möglich. Dazu kann auch über den regionalen Gartenbaufachhandel vermarktet werden.

Aufgrund der derzeitigen Rechtslage ist jedoch keine Vermarktung in den Gartenbereich möglich, weil § 15 Abs. 5 AbfKlärV ein Verbot des Auf- oder Einbringens von Klärschlamm in einen Boden mit einer Nutzung als Haus-, Nutz- oder Kleingarten vorsieht. Unterbleiben muss daher

eine Vermarktung gerade an die Zielgruppen der Balkon- und Kleingärtner, die ersten empirischen Erhebungen zufolge an diesem Produkt ein großes Interesse haben (Ebert et al. 2020).

### 5. Angemessene Formen der Verwertung

Insbesondere in der Gartenwirtschaft können die aus menschlichen Fäkalien kontrolliert mit Pflanzkohle hergestellten kohlenstoff- und nährstoffreichen Komposte wichtige Einsatzmöglichkeiten als Bodenverbesserer und als Düngemittel haben. Wenn sachlich adäquate Komponentenlisten bzw. Abfallschlüssel geschaffen werden, sind daher weitere Verwertungsmodelle realisierbar, die durch unterschiedliche Kooperationen mit weiteren Akteuren gekennzeichnet sind (Abb. 1) und angemessene Formen der stofflichen Verwertung garantieren können (vgl. Ebert et al. 2020). Beispielsweise ist dann auch eine Eigenkompostierung durch Kleingartenvereine denkbar, aber auch die Zusammenarbeit von (mehreren) Kleingartenvereinen mit Unternehmen der Abfallwirtschaft, um hinsichtlich der Unschädlichkeit der Produkte eine kontrollierte Rotte besser zu gewährleisten bzw. eine Vermarktung der Komposte sicherzustellen.

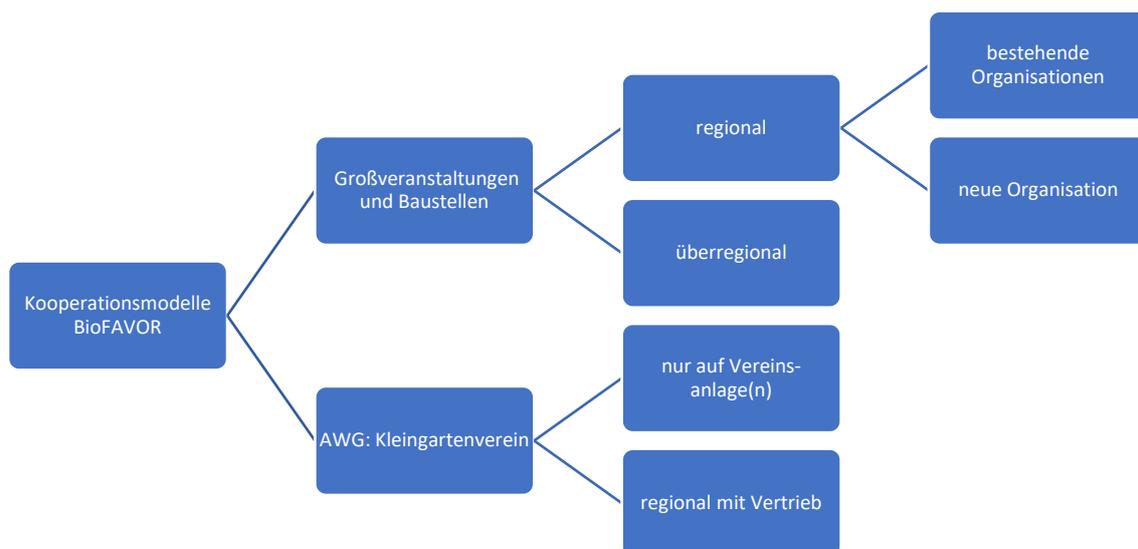


Abbildung 1: Übersicht unterschiedlicher Verwertungs- und Kooperationsmodelle für das BioFAVOR-Verfahren im Kontext von zwei unterschiedlichen Anwendungsgebieten, Skaligkeit und Einbeziehung bestehender oder neuer Organisationen

### 6. Ausblick

Mobile Komposttoiletten lassen sich auf Großveranstaltungen ebenso einsetzen wie auf Baustellen und Campingplätzen sowie in Gärten. Menschliche Fäkalien aus diesen Toiletten lassen sich mit Hilfe der hier vorgestellten Verfahrensweise grundsätzlich so sammeln und verarbeiten, dass sie hygienisch und nach dem gesundheitlichen Vorsorgeprinzip unbedenklich sind. Diese stoffliche Verwertung lässt sich dauerhaft nur etablieren, wenn sie ausdrücklich dem Regime des Abfallrechts unterworfen wird. Denn die derzeit allein in der Land- und Forstwirtschaft mögliche

Verwertung analog Klärschlamm ist sachlich eine problematische Einordnung und zudem umweltpolitisch ein Auslaufmodell (was abfall- und wasserpolitisch nicht hinterfragt werden sollte). Daher sind angemessene Möglichkeiten einer dauerhaften stofflichen Verwertung der menschlichen Fäkalien aus Trockentoiletten als Kompost zu eröffnen.

Hierzu sind entsprechende Ergänzungen in den Positivlisten für Düngeproduktkomponenten nach dem Düngemittelrecht und sachlich adäquate Abfallschlüssel zu schaffen, die nicht alleine in Deutschland fachlich und politisch abzustimmen sind, sind auch innerhalb der Europäischen Gemeinschaften. Erst dann wird es möglich sein, dass die bereits seit mehreren Jahren in Nischen bestehenden Verwertungsmodelle sich gegenüber der gewässerbelastenden Entsorgung über Chemietoiletten durchsetzen können. Nur in diesem Fall werden auch über das Ende der landwirtschaftlichen Klärschlammausbringung hinaus die Fäkalien aus mobilen Toiletten als hochwertiges Düngeprodukt bzw. Bodenverbesserer vermarktet und als Ergebnis einer Europäischen Kreislaufwirtschaft breit und ohne Flächenbeschränkungen anwendbar sein.

#### Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, das das Verbundvorhaben „BioFAVOR – Verwertung von menschlichen Fäkalien aus dezentralen Quellen“ unter dem Aktenzeichen .... gefördert hat, für seine finanzielle Unterstützung und Björn Ebert sowie Dr. Martina Winker (ISOE) für zahlreiche inhaltliche Beiträge.

## 1 Literaturverzeichnis

- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2018): Die Anwendbarkeit des Abfallrechts auf Komposttoiletten. Vermerk. Bonn
- Brettschneider, Denise J./Andrea Misovic/Ulrike Schulte-Oehlmann/Matthias Oetken/Jörg Oehlmann (2019): Detection of chemically induced ecotoxicological effects in rivers of the Nidda catchment (Hessen, Germany) and development of an ecotoxicological, Water Framework Directive-compliant assessment system. *Environmental Sciences Europe* 31 (1), 1524
- Drewes, Jörg E./Sema Karakurt/Ludwig Schmidt/Marian Bachmaier/Uwe Hübner/Volker Clausnitzer/Rolf Timmermann/Peter Schätzl/Simone McCurdy (2018): Dynamik der Klarwasseranteile in Oberflächengewässern und mögliche Herausforderung für die Trinkwassergewinnung in Deutschland. *Texte* 59/2018. Dessau-Roßlau
- Ebert, Björn/Engelbert Schramm/Martina Winker (2020): Gemeinsam innovieren? Methoden und Konzepte für Stakeholderdialoge und die Entwicklung sektorübergreifender Kooperationsmodelle am Beispiel landwirtschaftlicher Wasserwiederverwendung. *ISOE-Studientexte* 25. Frankfurt am Main
- Schaum, Christian/Thomas Fundneider/Peter Cornel/Ulrike Schulte-Oehlmann/Jörg Oehlmann (2016): Anforderungen des Gewässerschutzes an eine zukunftsfähige Abwasserbehandlung-

Aktuelle Aspekte aus dem Forschungsprojekt NiddaMan. In: Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement. Synergien, Konflikte und Lösungen aus EU-WRRL und EU-HWRM-RL 39. Dresdner Wasserbaukolloquium 2016, 03.-04. März 2016. Dresdner wasserbauliche Mitteilungen, Band 57. Dresden, 297–307

Quellen Tobias:

Anand, C.K., Apul, D.S., 2014. Composting toilets as a sustainable alternative to urban sanitation - A review. *Waste Management* 34, 329–343. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.006>

Bai, F., Wang, X., 2010. Nitrogen-retaining property of compost in an aerobic thermophilic composting reactor for the sanitary disposal of human feces. *Front. Environ. Sci. Eng. China* 4, 228–234. <https://doi.org/10.1007/s11783-010-0022-7>

Hübner, T., 2021. BioFAVOR II - Entwicklung und Evaluierung eines Demonstrators für die dezentrale Verwertung menschlicher Fäkalien (Forschungsbericht). Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig.

Krause, A., Häfner, F., Augustin, F., Harlow, E., Boness, J., 2020. Risikoanalyse zur Anwendung von Recyclingdüngern aus menschlichen Fäkalien im Gartenbau (Risikoanalyse). Leibniz-Institut für Gemüse-und Zierpflanzenbau (IGZ) e.V., Großbeeren.

Mulder I., Prost K., Hübner T., Heinzlmann A., Heyde B., Siemens J., Krauss M. – n.d. - When the party is over: Occurrence and fate of pharmaceuticals and personal care products in compost from festival toilets, unveröffentlicht, geplante Veröffentlichung in 2021 in *PLOSone*

## 7. Rechtsverzeichnis

DüngG (2017) – Düngegesetz vom 9. Januar 2009 (BGBl. I S. 54, 136), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1068) geändert worden ist.

DüMG (2006) – Gesetz über den Verkehr mit Düngemitteln (Düngemittelgesetz) vom 14.08.1962 (BGBl. I S. 558), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 09. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2819; 2007 I S. 195), außer Kraft getreten durch § 18 des Gesetzes vom 09. Januar 2009 (BGBl. I S. 54).

AbfKlärV (2017) – Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung) m 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist.

AVV (2017) - Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung) vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2644) geändert worden ist.

DüMV (2019) - Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung) vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 2. Oktober 2019 (BGBl. I S. 1414) geändert worden ist.