

Ressourcen aus der Schüssel sind der Schlüssel

Diskussionspapier zur **Sanitär-** und **Nährstoffwende:**
Wertstoffe zirkulieren, Wasser sparen und Schadstoffe eliminieren



This work is licensed under a Creative Commons [Attribution-Share Alike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).
Die Inhalte und Informationen des Dokuments sind frei verfügbar, können von anderen genutzt, geteilt und verändert werden, wenn Wiederveröffentlichung unter gleichen Bedingungen (SA = Share Alike) und Namensnennung (BY) erfolgt.

Einführung

Das vorliegende Dokument richtet sich an politische Entscheidungsträger:innen auf Kommunal-, Landes- und Bundesebene, die sich für Ressourcen- und Klimaschutz sowie eine nachhaltige Daseinsvorsorge einsetzen wollen, sowie an Planer:innen und Praktiker:innen der Kreislaufwirtschaft. Im Fokus steht die Ressourcenschonung durch Kopplung von zirkulärer Nahrungsmittelproduktion mit nachhaltiger, regionaler Wertschöpfung aus sanitären Nebenstoffströmen.

Das Diskussionspapier ist der Auftakt einer Reihe von geplanten Veröffentlichungen und Veranstaltungen für den gesellschaftspolitischen Dialog zum Thema **Sanitär-** und **Nährstoffwende**.

Es gibt drei gute Gründe zu hinterfragen, wie wir aktuell mit unseren Fäkalien umgehen:

Grund 1:

Statt der Beseitigung unserer Fäkalien muss eine Wiederverwertung der darin enthaltenen Wertstoffe im Sinne der Kreislaufwirtschaft im Fokus stehen.

Begriffseinordnung

Analog zur Energiewende, bezeichnen wir den Umbau der Sanitärversorgung durch sukzessive Erweiterung der existierenden linearwirtschaftenden Infrastruktur mit kreislaforientierten Technologien als „**Sanitärwende**“.

Wird dieser Umbau der Sanitärversorgung gekoppelt mit dem Aufbau einer regionalen Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft, sprechen wir von einer „**Nährstoffwende**“. Das heißt: Nährstoffe, die der Umwelt durch Anbau und Verzehr von Lebensmitteln entnommen wurden, werden durch Sanitärsysteme ohne Kanalanschluss wieder der Landwirtschaft zugeführt und der Kreislauf damit geschlossen. So kann der Druck auf natürliche Ressourcen (Boden, Wasser, Luft, Lagerstätten) minimiert werden.

Grund 2:

Vor dem Hintergrund von Klimawandel und Wasserknappheit müssen der Wasserbedarf zum Transport von Fäkalien reduziert und die Verschmutzung der Gewässer mit Nähr- und Schadstoffen verhindert werden.

Grund 3:

Ein Nährstoff-Recycling aus menschlichen Fäkalien mit gleichzeitiger Schadstoffausschleusung ist möglich, und somit im Einklang mit der Gesundheit von Mensch und Umwelt.



Abb. 1: Strategie einer zukunftsfähigen Lebensmittelproduktion: Nährstoffkreisläufe, Schadstoffausschleusung und Humusaufbau für Ressourcenschutz, Klimaneutralität und Gemeinwohl (Illustration: „Kreislauf-Vision“, IGZ e.V., gezeichnet von Aaron Joao Markos, lizenziert unter CC BY-SA 4.0.)

Technische Innovationen ermöglichen es, Stoffkreisläufe dezentral, regional, klimafreundlich und sicher zu schließen. So werden Umwelt und Ressourcen geschont und gleichzeitig seuchenhygienische Risiken minimiert. Im Folgenden erläutern wir die oben genannten drei Gründe für die **Sanitär-** und **Nährstoffwende** sowie die Hauptziele, die wir mit unserer Initiative verfolgen. Anschließend widmen wir uns alternativen Möglichkeiten und zeigen Praxisbeispiele, in denen menschliche Fäkalien im Sinne der Kreislaufwirtschaft als Ressource genutzt werden.

Grund 1: Kreislaufwirtschaft & Recycling Ziel: Wertstoffe sauber zirkulieren

Menschliche Fäkalien enthalten Nährstoffe, die – korrekt aufbereitet und qualitätsgesichert [1] – als Recyclingdünger das Pflanzenwachstum fördern und in Deutschland bis zu 25 % der konventionellen synthetisch-mineralischen Dünger ersetzen können [2]. Synthetische Düngemittel durch Recyclingdünger zu ersetzen ist insbesondere aus ökologischen Gesichtspunkten interessant.

Hintergrund: Bei der Produktion von konventionellen Stickstoffdüngern werden große Mengen an fossiler Energie verbraucht und CO₂ freigesetzt; schätzungsweise 2 % des Weltenergieverbrauchs [3]. Die Erzeugung von Phosphatdüngern geht mit bergbaulichen Aktivitäten einher, gefolgt von einer ebenfalls energieintensiven und CO₂-emittierenden Aufbereitung und Logistik. Zudem enthalten die Rohphosphate der meisten Lagerstätten Schwermetalle, wie zum Beispiel Blei, Cadmium, Nickel, Quecksilber, Arsen und Uran [4]. Vor allem Cadmium und Uran finden so eine gefährdende Verbreitung in unseren Nahrungsketten [5]. Im Vergleich dazu ist der Schwermetallgehalt in Fäkalien sehr gering [6].

Der Großteil der Nährstoffe im kommunalen Abwasser stammt aus Toiletten. Urin zum Beispiel entspricht weniger als 1 % des gesamten Abwasservolumens, trägt jedoch 70–80 % des Stickstoffs (N) und 45–60 % des Phosphors (P) im Abwasser bei [7,8]. Bis vor ca. 70 Jahren wurde in ländlichen Gebieten Deutschlands noch von der Düngewirkung menschlicher Fäkalien Gebrauch gemacht. Zwischenzeitlich haben sich Spültoiletten, Schwemmkanalisation und Kläranlagen selbst in abgelegenen Regionen Deutschlands und Europas durchgesetzt und leisten einen wichtigen Beitrag zur Gesundheitsförderung. Trotz der technisch hochgerüsteten Abwasserreinigung gelangen Teile der Nährstoffe immer noch in unsere Gewässer. Dort tragen sie zum Überangebot an Nährstoffen bei, welches Eutrophierung begünstigt und so die Vielfalt des Ökosystems beeinträchtigt.

Grund 2: Klimawandel & Wasserknappheit Ziel: Wasser und Energie sparen

Gut ein Drittel des durchschnittlichen, täglichen Frischwasserverbrauchs wird in Haushalten für die Toiletten-spülung verwendet [2]. **Mit dem Gang zur Toilette verbraucht ganz Deutschland somit jedes Jahr insgesamt über 1 Milliarde Kubikmeter Frischwasser. Das ist mehr als das Volumen der Müritz, dem größten Binnensee Deutschlands.** Nach der Spültoilette, folgt der Weg durch die Schwemmkanalisation zur Kläranlage. Dort werden die in menschlichen Fäkalien enthaltenen Nährstoffe jedoch nicht verwertet, sondern unter hohem Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen aus dem Abwasser entfernt.

Hintergrund: Durch den Wechsel von klassischen Spültoiletten, hin zu Wasserspar- oder Trockentoiletten, können (je nach Spültechnik & -verhalten) 15.000–30.000 Liter Trinkwasser pro Person und Jahr eingespart werden [2]. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der regional teils drastischen Wasserknappheit werden in der Zukunft wassersparende Sanitärsysteme nicht mehr wegzudenken sein [9].

Hinzu kommt, dass 10–16 % des kommunalen Energiebedarfs in Deutschland alleine für die Klärstufen Nitrifikation und Denitrifikation benötigt werden [10], d.h. für die Entfernung von Stickstoff aus dem Abwasser. Laut Berechnungen des Umweltbundesamtes stammten im Jahr 2016 trotzdem etwa 22 % der gesamten N- und 33 % der P-Einträge in Oberflächengewässer aus kommunalen Kläranlagen und urbanen Kanalisationssystemen [11]. Technische Systeme mit einer Trennung von Wasser- und Nährstoffkreislauf können diese Leckströme effektiv und effizient unterbinden und ermöglichen eine intelligente Aufbereitung und Nutzung der Nährstoffe.

Grund 3: Gesundheit von Mensch & Umwelt Ziel: Schadstoffe und Keime eliminieren

Die getrennte und wassersparende Erfassung menschlicher Fäkalien ermöglicht eine spezifische Behandlung der unverdünnten Stoffströme. **Ziel der Behandlung ist es, Krankheitserreger abzutöten („Hygienisierung“) und Schadstoffe zu entfernen, um die zurückbleibenden Nährstoffe sicher zu rezyklieren.** Schadstoffe wie Medikamentenrückstände können beispielsweise mit modernen Filtertechnologien effektiv aus den Kreislaufsystemen entfernt werden. Ihre Ausbreitung in Boden und Wasser wird so verhindert.

Hintergrund: Ohne jede Frage, war das existierende Sanitärsystem (Abwassersystem) in der Vergangenheit sinnvoll und wertvoll, um die hygienische Situation vor allem in Städten zu verbessern und der Ausbreitung von Pandemien entgegenzuwirken. Diese Entwicklung führte jedoch, wie sich heute zeigt, auch zu einer ineffizienten und nicht-nachhaltigen Ressourcennutzung und es gibt mittlerweile Zweifel an der hygienischen Wirksamkeit. Die

Qualität des Kläranlagenablaufs ist nach der Behandlung in modernen Kläranlagen immer noch nicht unbedenklich. So enthält Wasser, das aus dem Kläranlagenablauf in Gewässer eingeleitet wird, oft noch Krankheitserreger [11]. Ein weiteres Problem mit zunehmender Relevanz sind auch im Abwasser enthaltene und damit in die Umwelt eingetragene Arzneimittelrückstände und Hormone. Die Abläufe geklärter Abwässer sind ein Haupteintragspfad für Antibiotika in Gewässer und es konnten in der Folge bereits multiresistente Keime in Oberflächengewässern nachgewiesen werden [12,13]. Eine Entfernung dieser Spurenstoffe ist technisch mit der sogenannten „4. Reinigungsstufe“ möglich. Allerdings ist auch mit einer weitergehenden Reinigung keine vollständige Entfernung von Spurenstoffen möglich. Nachweise für die Reinigungsleistung liegen nur für wenige Spurenstoffe vor [14]. Eine Aufrüstung der existierenden Klärwerke um diese Stufe ist jedoch in den meisten Fällen nicht wirtschaftlich und beschränkt sich auf große Klärwerke [10]. Um Keime und Spurenstoffe im Klärschlamm zu behandeln, wird dieser verbrannt. Verbrennung eines Substrats mit bis zu 95 % Wassergehalt [6] bedarf zunächst eines sehr hohen Energieinputs für die Trocknung und muss somit unter dem Aspekt einer nachhaltigen Ressourcennutzung in Frage gestellt werden. Auch bei der Verbrennung verbleiben Schadstoffe, die entweder in die Luft freigesetzt werden oder die eine Deponierung erfordern.

Kreislaufwirtschaft – von der Rhetorik zur Praxis

Durch den „Green Deal“ und den Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft will die EU den Übergang zu einer kreislauforientierten, klimaneutralen und wettbewerbsfähigen Wirtschaft ebnen. Auch die Bundesregierung fordert einen effizienten Umgang mit Ressourcen, die Vermeidung von Abfällen und explizit eine Erhöhung der Recyclingquote durch effektive Nährstoffrückgewinnung aus Abfallströmen [15]. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen hat die Bedeutung von Verwertungsmaßnahmen betont, die einerseits einen Beitrag zur Substitution von Primärrohstoffen leisten und andererseits durch Schadstoffausschleusung Umweltverschmutzung verhindern [16]. Der Deutsche Bundestag hat im Mai 2020 den Koalitionsantrag „Wasser- und Sanitärversorgung für alle nachhaltig gewährleisten“ angenommen, der u.a. fordert „die umfassende Einbindung der Landwirtschaft als einer der Hauptakteure für eine intakte Kreislaufwirtschaft im Rahmen der internationalen Wasserarchitektur sicherzustellen“. Weiterhin fordert der Antrag „sich dafür einzusetzen, dass der Sanitärbereich als Geschäftsfeld begriffen wird, und darauf hinzuwirken, dass menschliche Ausscheidungen gemäß dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft mittels produktiver Sanitärsysteme als Ressource genutzt werden“ [17].

Veredelungswerke statt Klärwerke – ein Kreislaufansatz, dessen Zeit gekommen ist

Wir sind überzeugt, dass es einen Systemwandel braucht, in dem wir konzeptionell und sozio-technisch anders mit Ressourcen umgehen. Für die Transformation hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft, die auf einem sozialen Fundament eine ökologische Wirtschaft verwirklicht [18], spielen Effizienz von Wasser- und Ressourcenverbrauch sowie eine kreislaufwirtschaftliche Betrachtung der Düngemittel- und Nahrungsmittelproduktion eine Schlüsselrolle [19]. Dies gilt gleichermaßen vor unserer Haustür, wie in Regionen des globalen Südens. Wir müssen global denken und lokal handeln. Dabei hat die Berücksichtigung eines menschlichen Maßstabs auf allen Ebenen der Kreislaufwirtschaft eine besondere Bedeutung: „Small is beautiful“ [20].

Seit rund 10 Jahren beobachten wir eine ausgeprägte Innovationsdynamik im Bereich nachhaltiger Sanitärsysteme. Weltweit entwickelt sich ein aktives Netzwerk, das aus wissenschaftlicher wie auch privatwirtschaftlicher Motivation die Weiterentwicklung zukunftsfähiger Sanitärsysteme verfolgt. Ihr Anliegen ist dabei nicht, flächendeckend zentrale Kläranlagen und angeschlossene Sanitärsysteme abzuschaffen: es geht vielmehr darum, dort, wo es ökologisch, wirtschaftlich und technisch sinnvoll und/oder nötig ist, die Abwassersysteme weiter zu entwickeln und fit für die Zukunft zu machen. Neuartige dezentrale und wassersparende Recycling-Systeme würden dann die zentralen und linearen Infrastrukturen individuell und flexibel ergänzen. Es gibt viele spannende Beispiele, die zeigen, wie es anders geht (Abb. 2).

Gebremst wird diese Entwicklung in Deutschland nicht durch Mangel an Innovationen oder technischem Fortschritt, sondern durch eine nicht eindeutige Rechtslage, die die Nutzung innovativer Recyclingdünger aus menschlichen Fäkalien, und somit Wertschöpfung, verhindert. Es fehlen eindeutige rechtliche Rahmenbedingungen, unter anderem eine angepasste Düngemittelverordnung, die eine Anwendung von qualitätsgesicherten Recyclingdüngern aus menschlichen Fäkalien zulässt (Details siehe S. 5).

Ausgewählte Praxisbeispiele

Abb. 2: Beispiele innovativer Sanitärsysteme



1 REWAISE SWEDEN

Schweden, Malmö / Uppsala

Urin Recycling Komponente des EU Forschungsprojektes REWAISE. U.a. Produktion eines pulverigen Feststoffdüngers aus Urin.

2 Finizio – Future Sanitation

Deutschland, Eberswalde

Full-service Anbieter von nachhaltigen Sanitärprodukten und -dienstleistungen. Herstellung, Verkauf und Vermietung von Trockentoiletten, Errichtung und Betrieb einer Pilotanlage zur Produktion von Humusdünger aus Inhalten von Trockentoiletten.

3 Goldeimer

Deutschland, Hamburg

Gemeinnütziges Unternehmen im Bereich der nachhaltigen Sanitärversorgung. Betrieb von mobilen Trockentoiletten auf Großveranstaltungen, Herstellung und Verkauf von Trockentoiletten für Kleingärten, Aufklärungs- und Sensibilisierungsarbeit.

4 FosVaasje

Niederlande, Amsterdam

Urin Recycling Komponente der Wasserbehörde Amstel, Gooi und Vecht. Produktion eines pulverigen Feststoffdüngers aus Urin.

5 Ecodomeo

Frankreich, Marseille

Hersteller und Anbieter von Trockentoiletten für den privaten wie auch öffentlichen Bereich.

6 Vuna

Schweiz, Dübendorf

Ausgründung der Eawag. Planung und Bau von maßgeschneiderten Lösungen für Abwasserbehandlung und Ressourcenrückgewinnung. Hersteller von Aurin, einem zugelassenen Flüssigdünger aus Urin.

7 LAUFEN Bathrooms

Schweiz, Laufen

Einer der weltweit führenden Hersteller von Sanitärkeramik, der mit dem Designbüro EOOS eine Trenntoilette entwickelt hat und diese vertreibt.

8 Coopérative Equilibre

Schweiz, Confignon

Konsequent ökologische, genossenschaftlich-organisierte Mehrfamilienhäuser mit innovativem Abwasser- und Trockentoilettenkonzept.

Die Praxis steht in den Startlöchern und möchte einen Beitrag für eine nachhaltige **Nährstoffwende** leisten und Teil von innovativen und effizienten Lösungsansätzen werden. Circular-Economy-Start-Ups wie Finizio - Future Sanitation GmbH, Goldeimer gGmbH, die Vuna GmbH, kommunale Betriebe wie die Kreiswerke Barnim (KWB)

und Forschungsinstitute wie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) oder die Eawag, das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs in der Schweiz, bieten folgende Lösungsansätze für die Aufbereitung der in Trockentoiletten gesammelten Reststoffe zu qualitätsgesicherten Recyclingdüngern:

Die Herstellung von flüssigen Mehrnährstoff-Recyclingdüngern durch Aufbereitung von Urin

Es wurden in den letzten Jahren in Deutschland und in der Schweiz Verfahren entwickelt, die aus Urin einen schadstofffreien und hygienischen mineralischen Mehrnährstoff-Flüssigdünger herstellen. Der zentrale Prozessschritt ist dabei die Nitrifikation.

Das **Vuna-Verfahren** wurde an der Eawag entwickelt und durch die Vuna GmbH kommerzialisiert [21]. Das Verfahren ist bereits als Prototyp im Einsatz und hat Marktreife erreicht. Für das Produkt „Aurin“ erfolgte 2018 die weltweit erste Zulassung als Zierpflanzen- und Gemüse-Dünger aus Urin, gültig für die Schweiz und Liechtenstein.

Der **C.R.O.P.®-Biofilter** wurde im Rahmen des Projektes „C.R.O.P.® – Combined Regenerative Organic food Production“ von der Arbeitsgruppe Bioregeneration des DLR in Köln entwickelt [22]. Der C.R.O.P.®-Biofilter ist Teil eines bioregenerativen Lebenserhaltungssystems, das Langzeitaufenthalte von Menschen im All ermöglichen soll. Das Verfahren befindet sich noch im Entwicklungsstadium. Diese Technologie soll auch auf der Erde eingesetzt werden.

Beide Verfahren entsprechen den Anforderungen an die gesundheitliche Unbedenklichkeit und leisten sogar eine Entfernung von Medikamentenrückständen. Sie können, in Abhängigkeit von der Zusammensetzung, auch zur Behandlung von tierischer Gülle oder Gärresten aus Biogasanlagen eingesetzt werden.

Die Herstellung von organischen Recyclingdüngern durch Hygienisierung und Kompostierung

Das Eberswalder Start-Up **Finizio - Future Sanitation** erforscht und entwickelt in Kooperation mit den Kreiswerken Barnim (KWB) und regionalen wissenschaftlichen Partnern in Eberswalde die Herstellung von qualitätsgesichertem und hochwertigem Humusdünger aus Inhalten von Trockentoiletten. Diese Humusdünger wären bei Inverkehrbringung als organischer NPK Dünger einzustufen und sind wegen ihrer positiven Wirkung auf die Boden-Humusbildung zusätzlich klimarelevant [23].

Detaillierte Infos zu Best Practice Beispielen finden sich im beigefügten Dokument. Die Zusammenstellung wird laufend erweitert und ist auch zu finden unter:

www.naehrstoffwende.org

Was sind die nächsten Schritte und was können Sie dazu beitragen?

Die genannten Praxis-Akteur:innen sind bereit, strenge Qualitätsstandards einzuhalten und eine Marktfähigkeit von Recyclingdüngern aus Inhalten aus Trockentoiletten zu erarbeiten. Hier sehen wir einerseits großes Potenzial für Klima- und Ressourcenschutz sowie zukunftsfähige Wachstumsmöglichkeiten für den Technologie- und Wirtschaftsstandort Deutschland.

Für die Umsetzung der **Sanitär-** und **Nährstoffwende** sind besonders auf politischer Ebene richtungsweisende Entscheidungen nötig, die der Schaffung eindeutiger rechtlicher Rahmenbedingungen durch Anpassung des Abfall- und Düngerechts dienen:

- Menschliche Fäkalien fallen am ehesten in den Anwendungsbereich des Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG). Laut diesem gilt der grundsätzliche Vorrang der stofflichen Verwertung (Recycling) vor der energetischen Verwertung.
→ Es wäre sinnvoll wasserlos gesammelte Fäkalien dem Abfallrecht (statt dem Abwasserrecht) zuzuordnen, wie es diverse rechtliche Einschätzungen nahe legen.
- Im Gegensatz zu anderen Ausgangsstoffen wie Klärschlamm, Gülle oder Bioabfall, die als Dünger verwendet werden, existiert keine Verordnung, die für (getrennt von Abwasser gesammelte) Fäzes oder Urin gilt. Aus diesem Grund existieren keine Vorgaben wie jene Stoffe ordnungsgemäß und schadlos gesammelt, gelagert, behandelt und schließlich bodenbezogen verwertet werden können.
→ Es besteht die Notwendigkeit der Festlegung von Vorgaben wie menschliche Fäkalien schadlos gesammelt, gelagert und behandelt werden müssen, möglicherweise in Form einer Verordnung.
- Zudem ist Grundlage des deutschen Düngemittelrechts eine abschließende "Positivliste", die die Stoffe nennt, aus denen Düngemittel hergestellt werden dürfen. In dieser Liste der zugelassenen Ausgangsstoffe in Tabelle 7 Anlage 2 der deutschen Düngemittelverordnung (DüMV) werden Fäzes und Urin nicht genannt. Letzteres ist Voraussetzung für ein Inverkehrbringen und Anwenden als Düngemittel in Deutschland, auch weil jene Stoffe nicht von der EU-Düngemittelverordnung (EU-VO Nr. 2019/1009) geregelt sind.
→ Es besteht eine Notwendigkeit der Anpassung des Düngemittelrechts. Getrennt gesammelte menschliche Fäkalien sollten in die Liste der zugelassenen Ausgangsstoffe, also in Tabelle 7, Anlage 2, DüMV, aufgenommen werden.

Weitere Möglichkeiten

Weitere Möglichkeiten, sich für die **Sanitär-** und **Nährstoffwende** einzusetzen, sind 1) die Förderung von Leuchtturmprojekten mit wissenschaftlicher Begleitforschung zur Qualität, Akzeptanz und Wirkung der Dünger, sowie Wissenschaftskommunikation, 2) die Entwicklung einer mittel- und langfristig angelegten Innovationsstrategie, 3) die Förderung öffentlichkeitswirksamer Kampagnen zum Einleiten der **Sanitär-** und **Nährstoffwende** und für den Paradigmenwechsel - "Vom linearen zum zirkulären Denken und Handeln".

Wenn wir beim Ressourcenverbrauch umdenken und umlenken, und neue Systeme zur Schliessung von Nährstoffkreisläufen aufbauen, können wir klare und wesentliche Verbesserungen bei den folgenden Umweltherausforderungen leisten:

Verminderung von 1) Eutrophierung von Binnengewässern und Meeren durch hohe Nährstoffeinträge, 2) Verschmutzung der Gewässer mit Chemikalien, insbesondere Arzneimitteln, 3) Biodiversitätsverlust in Gewässern und Böden, 4) übermäßigem Wasserverbrauch und 5) nicht zuletzt seuchenhygienischen Risiken.

Mit der **Sanitär-** und **Nährstoffwende** leisten wir somit auch einen Beitrag zu den 17 Zielen für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs). Die **Sanitärwende** adressiert im Kern das Anliegen des SDG 6 „Wasser und Sanitärversorgung für alle“. Die **Nährstoffwende** und der Aufbau von zirkulären regionalen Kreislauf-Systemen tragen bei zur langfristigen Sicherung der Nahrungsproduktion (SDG 2), zur Nachhaltigkeit von Städten und Gemeinden (SDG 11), zu nachhaltigem Konsum und nachhaltiger Produktion (SDG 12), zur Reduktion der Klimawirkung von Kommunen und Landwirtschaft und gleichzeitig zu deren Anpassung an die Folgen des Klimawandels (SDG 13) sowie zum Schutz von Ökosystemen im Wasser (SDG 14) und an Land (SDG 15).



Kontakt:

krause@igzev.de
enno@goldeimer.de

www.naehrstoffwende.org

Autor:innen

Ariane Krause, Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) e.V.; Netzwerk für Nachhaltige Sanitärsysteme (NetSan) e.V.; Kollektiv für angepasste Technik (KanTe)

Christian von Hirschhausen, Technische Universität (TU) Berlin, Fachgebiet Wirtschafts- & Infrastrukturpolitik (WIP); Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin)

Enno Schröder, Goldeimer gemeinnützige GmbH; Netzwerk für Nachhaltige Sanitärsysteme (NetSan) e.V.

Florian Augustin, Finizio – Future Sanitation GmbH; Netzwerk für Nachhaltige Sanitärsysteme (NetSan) e.V.

Franziska Häfner, Leibniz-Institut für Gemüse und Zierpflanzenbau (IGZ) e.V.

Gerhild Bornemann, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Greta Sundermann, Technische Universität (TU) Berlin, Fachgebiet Wirtschafts- & Infrastrukturpolitik (WIP)

Janine Korduan, Netzwerk für Nachhaltige Sanitärsysteme (NetSan) e.V.

Kai Udert, Eidgenössisch Technische Hochschule (ETH) Zürich, Institut für Umweltingenieurwissenschaften; Eawag, das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs in der Schweiz

Lisa Deutsch, Eawag, das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs in der Schweiz

Maximilian Luz Reinhardt, Technische Universität (TU) Berlin, Fachgebiet Wirtschafts- & Infrastrukturpolitik (WIP)

Renate Götzenberger, Architektin; Stadträtin der Stadt Leutershausen; Interessengemeinschaft kommunale Trinkwasserversorgung Bayern e.V.; Netzwerk für Nachhaltige Sanitärsysteme (NetSan) e.V.

Sabine Hoffmann, Eawag, das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs in der Schweiz

Stephan Becker-Sonnenschein, Agentur für strategische Kommunikation „menschen für medien“; Global Food Summit

Referenzen

- [1] DIN SPEC 91421:2020-12 (2020) Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau. <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-91421/330937272> (letzter Zugriff am 5.3.2021)
- [2] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2015) Neuartige Sanitärsysteme. 2. Auflage. Herausgeber: Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt. Bauhaus-Universitätsverlag Weimar, Deutschland.
- [3] Patil, BS, Wang Q, Hessel V, Lang J (2015) Plasma N₂-fixation: 1900–2014. *Catal. Today* 256, 49–66. DOI: 10.1016/j.cattod.2015.05.005
- [4] Umweltbundesamt (2020) Düngemittel – Was ist das? <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/duengemittel#schwermetalle-in-dungemitteln> (letzter Zugriff am 5.3.2021)
- [5] Kratz S, Schnug E (2005) Schwermetall in P-Düngern. *Landbauforschung Völkenrode, Special Issue* 286. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk036245.pdf (letzter Zugriff am 5.3.2021)
- [6] Krause A, Häfner F, Augustin F, Harlow E, Boness JO, Udert K (2020) Risikoanalyse zur Anwendung von Recyclingdüngern aus menschlichen Fäkalien im Gartenbau. https://www.igzev.de/wp-content/uploads/2019/04/Krause-et-al-2020_DIN-Risikoanalyse_DE-1.pdf (letzter Zugriff am 5.3.2021)
- [7] Herrmann T, Klaus U (1997) Fluxes of nutrients in urban drainage systems: Assessment of sources, pathways and treatment techniques. *Water Science and Technology*, 36(8–9), 167–172. DOI: 10.1016/S0273-1223(97)00603-3
- [8] Simha P, Ganesapillai M (2017) Ecological Sanitation and nutrient recovery from human urine: how far have we come? A review. *Sustain. Environ. Res.* 27, 107–116. DOI: 10.1016/j.serj.2016.12.001
- [9] Meran G, Siehlow M, von Hirschhausen C (2020) *Economics of Water. Rules and Institutions*. Berlin, Heidelberg: Springer International Publishing.
- [10] Umweltbundesamt (2009) Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen. Hintergrundpapier. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3855.pdf> (letzter Zugriff am 3.3.2021)
- [11] Umweltbundesamt (2020) Stickstoff- und Phosphoreinträge aus Punktquellen und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer in Deutschland. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/fliessgewaesser/eintraege-von-naehr-schadstoffen-in-die#nahrstoffeintraege-sinken-wiederlangsam> (letzter Zugriff am 5.3.2021)
- [12] Umweltbundesamt (2018) Antibiotika und Antibiotikaresistenzen in der Umwelt: Hintergrund, Herausforderungen und Handlungsoptionen. Hintergrundpapier https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/181012_uba_hg_antibiotika_bf.pdf (letzter Zugriff am 5.3.2021)
- [13] Hannapel S, Köpp C, Zühlke S (2016) Bericht zur Aufklärung der Ursachen von Tierarzneimittelfunden im Grundwasser – Untersuchung eintragsgefährdeter Standorte in Norddeutschland. *Texte* 54/2016, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, im Auftrag des UBA. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_54_2016_aufklaerung_der_ursachen_von_tierarzneimittelfunden_im_grundwasser.pdf (letzter Zugriff am 5.3.2021)
- [14] Rödel S, Günther FW, Rehbein V, Steinle E, Schatz R, Zech T, ..., Schlößer I (2019) Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen (Pilotprojekt 4. Reinigungsstufe). Errichtung und Nachweis der Leistungsfähigkeit einer vierten Reinigungsstufe auf der Kläranlage Weißenberg. Abschlussbericht gerichtet an das Bayrische Landesamt für Umwelt. <https://athene-forschung.unibw.de/doc/128025/128025.pdf> (letzter Zugriff am 15.3.2021)
- [15] Bundesregierung (2016) *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Neuaufgabe 2016*. Die Bundesregierung, Berlin. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuaufgabe-2016-download-bpa-data.pdf> (letzter Zugriff am 5.3.2021)
- [16] Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2020) Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa. Kapitel: „Kreislaufwirtschaft: von der Rhetorik in die Praxis“. *Umweltgutachten*, Berlin.
- [17] Deutscher Bundestag (2020) Wasser- und Sanitärversorgung für alle nachhaltig gewährleisten. Antrag der Fraktionen CDU/CSU und SPD. Drucksache 19/19152 <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/191/1919152.pdf> (letzter Zugriff am 5.3.2021) Protokoll: <https://dipbt.bundestag.de/dip21/btp/19/19161.pdf#P.20086> (letzter Zugriff am 5.3.2021)
- [18] Raworth K (2017) A Doughnut for the anthropocene: humanity's compass in the 21st century. *The Lancet Planetary Health*, 1(2), e48–e49. DOI: 10.1016/S2542-5196(17)30028-1
- [19] Rockström J, Sukhdev P (2016) How food connects all the SDGs. URL: <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-how-food-connects-all-the-sdgs.html>
- [20] Schumacher EF (1977) *Small is beautiful: A study of economics as if people mattered*, Deutsche Ausgabe: *Die Rückkehr zum menschlichen Maß*. Reinbek bei Hamburg, Rowohlt.
- [21] Fumasoli A, Etter B, Sterkele B, Morgenroth E, Udert KM (2016) Operating a pilot-scale nitrification/distillation plant for complete nutrient recovery from urine. In: *Water Science and Technology*, 73(1), 215–222. DOI: 10.2166/wst.2015.485
- [22] Bornemann G, Waßer K, Hauslage J (2018) The influence of nitrogen concentration and precipitation on fertilizer production from urine using a trickling filter. In: *Life sciences in spaceresearch*, 18, 12–20. DOI: 10.1016/j.lssr.2018.04.003
- [23] Dunst G (2015) *Kompostierung und Erdengerstellung. Praxisbuch und Anleitung für: Hausgarten, Landwirtschaft, Kommune und Profi*. Sonnen-erde GmbH, Riedlingsdorf, Österreich.