

Carsten Beneker & Ariane Krause

# EIN REALLABOR FÜR REGIONALE WERTSCHÖPFUNG UND ANGEWANDTEN RESSOURCENSCHUTZ MIT MENSCHLICHEN AUSSCHIEDUNGEN

Ein Erfahrungsbericht aus der kommunalen Planungsperspektive

## Kurzfassung

Die Sanitärversorgung in Deutschland ist leistungsstark, aber nicht nachhaltig. Kommunen sehen sich zur Einhaltung der Ablaufziele von Kläranlagen und zur Erhaltung von Kanalnetzen mit enormen Herausforderungen konfrontiert. Das Verbundvorhaben zirkulierBAR der BMBF-Fördermaßnahme „REGION.innovativ – Kreislaufwirtschaft“ erforscht und entwickelt in Eberswalde im Landkreis Barnim einen wasserlosen Sanitäransatz mit Trockentoiletten, der das Klima schützt und eine regionale Kreislaufwirtschaft ermöglicht. Die Vision: Nährstoffe aus verzehrten Nahrungsmitteln für Landwirtschaft und Gartenbau zurückgewinnen.

In zirkulierBAR schaffen Kommunen, Forschende und Praktiker\*innen gemeinsam ein Reallabor für die kreislauforientierte Behandlung von Inhalten aus Trockentoiletten. In einer innovativen und skalierbaren Recyclinganlage werden Urin und Kot zu qualitätsgesicherten

Recyclingdüngern aufbereitet. Die Endprodukte – ein Flüssigdünger und ein Humusdünger – sind hygienisch sicher, nährstoffreich und schadstoffarm.

Dieser Beitrag stellt Erfahrungen aus dem Genehmigungsverfahren zum Aufbau und Betrieb eines Reallabors außerhalb eines klaren juristischen Rahmens für die Behandlung der Bioabfälle sowie für das rechtssichere Inverkehrbringen der Düngemittelprodukte vor. Der Erfahrungsbericht bezieht sich auf die Genehmigungsverfahren sowie auf den Aufbau und die Anpassung von technischen und organisatorischen Prozessen zur Eingliederung der Innovation in die bestehenden Betriebsabläufe inklusive technischen Optimierungen, Melde- und Nachweispflichten, Zuständigkeiten, Entwicklung von Protokollen und anderen Dokumentationen.

### Hintergrund: Wir verschwenden, was so dringend gebraucht wird

In Deutschland nutzen wir täglich etwa ein Drittel unseres kostbaren Trinkwasserbedarfs für die Toilettenspülung. Einen Liter Urin spülen wir mit 3 bis 15 Litern Trinkwasser weg. Neben diesem hohen Wasserverbrauch gehen sehr viele und wertvolle Nährstoffe verloren: Urin und Fäzes enthalten circa 80 Prozent der in kommunalen Abwässern enthaltenen Nährstoffe, die zur Düngung von Pflanzen gebraucht werden könnten (vgl. Krause et al., 2021). Diese sind jedoch unverzichtbar für das Pflanzenwachstum, damit Grundlage unserer Lebensmittelversorgung und sollten „vom stillen Örtchen“ zurückgewonnen werden.

Das Forschungsvorhaben „zirkulierBAR“ verfolgt das Ziel, Nährstoffe aus verzehrten Nahrungsmitteln zurückzugewinnen, sie als sichere und hochwertige Recyclingdünger der Landwirtschaft zurückzugeben und so Kreisläufe regional zu schließen. Dabei beginnt der Kreis auf der Toilette – genauer mit sogenannten Trockentrenntoiletten, die kein oder nur wenig Wasser verbrauchen und Fest und Flüssig getrennt erfassen. So bleiben die Nährstoffe unverdünnt und unvermischt, was den Recyclingprozess erleichtert. Durch ein solches Recycling sparen wir Dünger, der unter hohem Energie- und Ressourcenaufwand hergestellt wird. So werden wir in Europa unabhängiger vom Weltmarkt. Denn beim Phosphor ist Europa gleichermaßen abhängig von Marokko, wie es bei Erdgas von Russland der Fall war.

Es gibt immer mehr Firmen, die Lösungen für alle Situationen entwickeln – vom Klo im Camping-Mobil über die Festivaltoilette bis hin zur Lösung für Kleingärten, öffentliche Parks oder Wohnungen in mehrgeschossigen Gebäuden. Doch wie werden aus den gesammelten Flüssig- und Feststoffen nun hygienisch unbedenkliche Recyclingdünger? Dies geschieht zum Beispiel durch Filtration und Hygienisierung. Das zirkulierBAR-Projekt fokussiert die Dünger-Herstellung als kommunales Recyclingprojekt und betreibt für Forschung und Entwicklung Deutschlands erstes Reallabor zur Aufbereitung von Inhalten

aus Trockentoiletten zu Recyclingdüngern, nämlich einem Flüssigdünger aus Urin, der synthetische Mineraldünger ersetzen kann, und einem hochwertigen Humusdünger aus den Feststoffen.

Im Folgenden beschreiben wir die zentralen Partner vor Ort, das Funktionsprinzip der Recyclinganlagen bzw. der Anlagenkomponenten sowie das Vorgehen bei Planung und Genehmigung des Eberswalder Reallabors.

### Lokale Kooperation um Kreisläufe zu schließen

Die Errichtung des ersten Reallabors zur Aufbereitung von wasserlos gesammelten, menschlichen Fäkalien zu qualitätsgesicherten Recyclingdüngerprodukten basiert auf der Zusammenarbeit mehrerer Akteur\*innen. Die Kreiswerke Barnim (KWB) übernehmen für Bürger\*innen des Landkreises Barnim das Abfallmanagement und sind lokaler Innovations-treiber in den Bereichen Kreislauf- und Energiewirtschaft. Auf dem Recyclinghof der Kreisstadt Eberswald kooperiert das kommunale Unternehmen KWB mit dem lokalen Unternehmen Finizio – Future Sanitation (Finizio) und mit dem Schweizer Unternehmen VunaNexus.

Finizio betreibt seit 2018 ein Geschäftsmodell mit inzwischen über 300 mobilen Trockentoiletten (TT) und Dienstleistungen über die gesamte Wertschöpfung von der Toilette zum Recyclingdünger. Die KWB stellen gegen eine Pacht einen Teil der Landkreis-eigenen Flächen sowie kommunalen Grünschnitt für die Recyclinganlagen von Finizio zur Verfügung.

### Das Projekt

zirkulierBAR - Von linearer Entsorgung zur zirkulären Nährstoffverwertung" ist ein Vorhaben der BMBF-Fördermaßnahme "REGION.innovativ - Kreislaufwirtschaft".

Das Vorhaben erforschte und entwickelte in Eberswalde im Landkreis Barnim einen Sanitäransatz, der das Klima schützt und eine regionale Kreislaufwirtschaft ermöglicht.

Weitere Informationen zum Projekt: [www.kommunen-innovativ.de/zirkulierbar](http://www.kommunen-innovativ.de/zirkulierbar)

### Das Funktionsprinzip der Recyclinganlagen für Trockentoiletteninhalte

In zirkulierBAR wurde die von Finizio auf dem Betriebsgelände der KWB bereits seit 2018 betriebene Pilotanlage um eine neue Forschungsanlage erweitert. Die Flächenerschließung sowie der Planungs-, Genehmigungs- und Bauprozess für die Forschungsanlage wurden vor allem von den KWB bearbeitet. Die Forschungsanlage wird seit 2023 durch Finizio, VunaNexus und KWB gemeinsam als Reallabor betrieben.

Die neue Forschungsanlage besteht aus drei Modulen:

- Einer entwässerten Fläche für die Annahme von Trockentoiletteninhalten und Grünschnitt sowie für Anlagen zur Verwertung dieser Stoffe,
- einem Humusregal zur flächen- und arbeitseffizienten Kompostierung von Feststoffen aus Trockentoiletten (Kot, Toilettenpapier, Einstreu) und
- einer Urinaufbereitungsanlage zur Verwertung von flüssigen Stoffen aus Trockentoiletten.

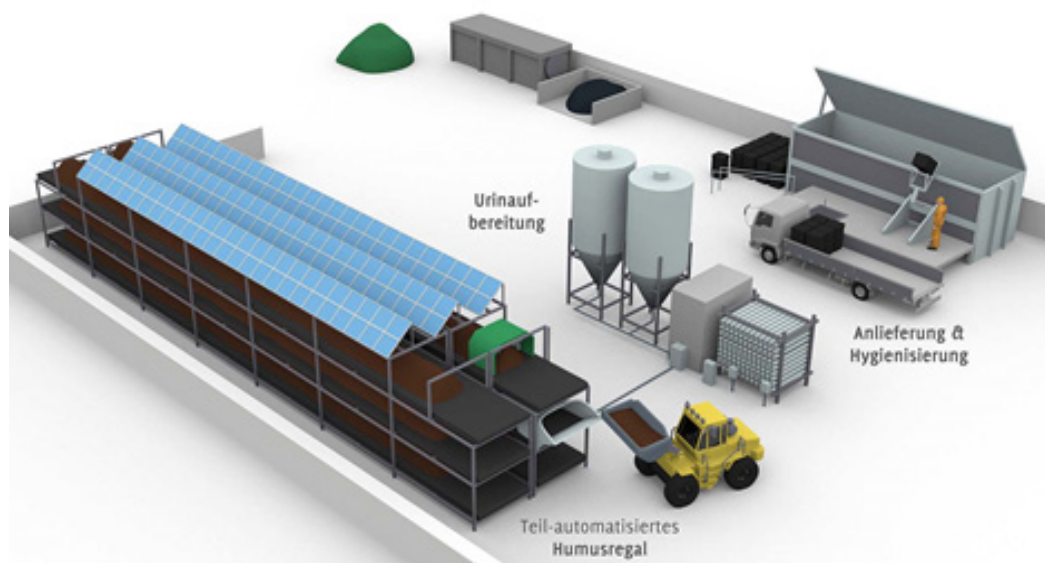
### Flächenanforderungen

Die Niederschlagsentwässerung der Gesamtfläche erfolgt über zwei Bereiche á ca. 500 m<sup>2</sup>, welche über eine Wasserscheide mit je 1 % Gefälle hydraulisch voneinander getrennt sind. Die Entwässerung der Teil-Fläche mit Aufbereitungsanlagen für Urin und die Feststoffe erfolgt über Sammler und Grundleitungen, welche in ein gedichtetes Speicherbecken von 30 m<sup>3</sup> Volumen einspeisen. Eine anschließende Entsorgung über die Kläranlage erfolgt ordnungsgemäß durch ein Fachunternehmen. Das restliche Niederschlagswasser wird in einer angrenzenden Mulde gemäß DWA-A 138 versickert.

### Annahme und Aufbereitung wasserlos gesammelter Fäkalien

Finizio sichert die Logistikkette von Urin und Kot bis zum jeweiligen Hygienisierungsschritt seuchenhygienisch über geschlossene, luftdichte und standardisierte Behälter ab. Die festen Inhalte der Trockentoiletten werden in mobilen Feststoffbehältern (FSB) mit 30 bis 240 Liter Volumen am Ort der Entledigung aufgefangen. Nach dem Transport erfolgt die Annahme der FSB in der Recyclinganlage auf einer Hebebühne. Von dort

## GEPLANTE FORSCHUNGSANLAGE ZUR HERSTELLUNG VON QUALITÄTSGESICHERTEN RECYCLINGDÜNGERN



werden die Behälter mittels einer hydraulischen Hub-Kipp-Apparatur in den Hygienisierungscontainer (kurz: HyCo) geleert. Darauf folgt eine Behälterreinigung auf einem mobilen Waschstand. Das Waschwasser wird in einer Auffangwanne gesammelt. Menschlicher Urin wird am Ort der Sammlung kontinuierlich in Tanks mit einem Kubikmeter Fassungsvermögen gepumpt und bei erreichtem Füllstand verschlossen. Im luftdichten Zustand ist der Urin langfristig Emissions- und geruchsfrei lagerfähig, bis er dem geschlossenen System der Aufbereitungsanlage zugeführt wird.

#### *Feststoffaufbereitung*

Die Behandlung von Feststoffen erfolgt in einem dreistufigen Verfahren mittels (1.) Warmbehandlung im HyCo, (2.) kontrolliert sauerstoffversorgter Kompostierung (KSK) der Toiletteninhalte mit Zuschlagstoffen in offenen Mieten (auf der Pilotanlage) bzw. im Humusregal (in der neuen Forschungsanlage), und (3.) anschließender Siebung. Das Verfahren wurde von Finizio unter Zuhilfenahme österreichischer Standards und Expert\*innen entwickelt.

Die hygienisierende Behandlung der Feststoffe erfolgt durch Warmbehandlung in kommerziell erhältlichen, gedämmten und aktiv belüfteten Abrollcontainern gemäß DIN 30722 mit einem Füllvolumen von 30 m<sup>3</sup>. Diese Container entsprechen den Anforderungen der Bioabfallverordnung (BioAbfV) und werden mittels Hakenlift-LKW bewegt. Ein Membrandach ermöglicht den geruchslosen Gasaustausch ohne Ammoniak-Verluste. Nach der mehr als einwöchigen hygienisierenden Warmbehandlung werden die Container entleert und das Material per Radlader auf das Humusregal aufgegeben.

Die KSK findet auf dem Humusregal statt. Dort werden neben den hygienisierten Feststoffen auch Wiesenmahd, Tonminerale und Grünschnitt aufgegeben. Mittels Wendemaschine werden 25 Meter lange Dreiecksmieten mit einer Breite von ca. 2 und einer Höhe von 1,2 Metern aufgeworfen und über eine Phase von 4-6 Wochen in Abhängigkeit der Prozessparameter Temperatur und Sauer-

stoffzehrung automatisiert umgewälzt. Sobald sich die Parameter stabilisiert haben, schließt sich zur Fremdstoffentfernung die Siebung an. Das veredelte Recyclingprodukt hat nährstoffseitig das Potenzial, als organo-mineralisches PK-Düngemittel zugelassen zu werden.

#### *Urinaufbereitung*

Der Urin wird in IBC-Tanks geliefert und zwischen Lager und Aufbereitungsanlage transportiert.

Die gewählte Urinaufbereitungstechnologie wurde am Schweizer Wasserforschungsinstitut Eawag entwickelt und durch das Spin-Off VunaNexus AG kommerzialisiert. Das Verfahren nutzt anerkannte und etablierte Abwasserfahrenstechnik und läuft ebenfalls in drei Stufen bzw. Schritten ab: (1.) Stabilisierung des flüchtigen und riechenden Ammoniak in einem Belebtschlamm-Verfahren (Ammonium → Nitrat), (2.) Filtration der Arzneimittelrückstände mittels Aktivkohle und (3.) Hitzebehandlung in einem Verdampfer um Krankheitserreger abzutöten und die enthaltenen Nährstoffe aufzukonzentrieren. Das flüssige Endprodukt ist in der Schweiz, Lichtenstein und Österreich bereits unter dem Namen Aurin® zertifiziert und dort als organisch-mineralisches NPK-Düngemittel zugelassen.

Die Anlage von VunaNexus wurde für zirkulierBAR erstmalig unter Realbedingungen auf einem Außengelände betrieben und dazu in einem Überseecontainer errichtet. Die Technologie-Lieferantin betreibt und überwacht die Anlage per Fernsteuerung. Für manuelle Eingriffe ist Personal der KWB zur Stelle.

#### **Von der Genehmigung zur Erschließung**

Zum Aufbau der Forschungsanlage war es zunächst erforderlich, eine geeignete Fläche zu identifizieren, für welche eine Ingenieursplanung erstellt und ein Bauantrag gestellt wurde. Es wurde eine ca. 1.000 Quadratmeter große Fläche auf dem Betriebsgelände der KWB ausgewählt, welche im Besitz des Landkreises ist. Die Fläche ist gemäß bestehendem Bebauungsplan als „Fläche zur Erprobung zu-

künftiger Technologien (...)“ definiert. Ein Bauantrag mit zeitlicher Befristung über die 3-jährige Laufzeit des Forschungsprojektes wurde gemäß § 64 der Brandenburgischen Bauordnung beim Brandenburgischen Landesamt für Umwelt, Abteilung Technischer Umweltschutz eingereicht.

Das Bauvorhaben einer Behandlungs- und Verwertungsanlage zur Aufbereitung der gesammelten menschlichen Ausscheidungen zu Recyclingdüngern stößt in Deutschland auf einen uneindeutigen und lückenhaften Rechtsrahmen. Daraus liegt für die kommunale Verwaltung die erste Herausforderung darin, die Zuständigkeiten zu klären. Die untere Bauaufsichtsbehörde der Stadt Eberswalde wurde als verfahrensführende Behörde eingesetzt. Weiterhin wurden von der Bauaufsichtsbehörde die untere Abfallwirtschaftsbehörde, die untere Bodenschutzbehörde, der öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger sowie die untere Wasserbehörde und die brandenburgische Düngemittelverkehrskontrolle zu Stellungnahmen herangezogen.

Der Bauantrag wurde als abfallrechtliche Anzeige gemäß § 35 Abs. 4 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) in Verbindung mit § 15 Abs. 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) eingestuft. Weitere Genehmigungen waren nicht erforderlich. Die Genehmigung wurde gemäß § 72 der Brandenburgischen Bauordnung (BbgBO) erteilt. Die Ausgliederung der Fläche aus dem Geltungsbereich des Abfallrechts war nicht erforderlich.

Für den Betrieb von Anlagen zur Behandlung von Inhalten aus Trockentoiletten wurden von Seiten der Behörden schließlich besondere Anforderungen an die kontrollierte Flächenentwässerung geltend gemacht (vgl. oben Flächenanforderungen).

Die Einbettung in ein Forschungsvorhaben war von entscheidender Bedeutung für die Genehmigungsfähigkeit des Bauantrags. Dabei war es wichtig, dass der Experimentalcharakter und die Befristung auch im Titel des Bauvorhabens deutlich dargestellt sind. Dennoch dauerte die Bearbeitung des Bauantrags von Einreichung

bis Genehmigung mehrere Monate, was vor allem auf den innovativen Charakter des Reallabors, den dafür (noch) nicht ausgelegten Rechtsrahmen und Fragen der Zuständigkeit zurückzuführen ist.

Es wurde keine Abfallschlüsselnummer (ASN) für die Inhalte von Trockentoiletten festgesetzt. Allerdings wurde der produzierte Kompost als Abfall mit ASN 19 05 03 „nicht spezifikationsgerechter Kompost“ klassifiziert. Es wurden weiterhin Vorgaben zu den Stoffstrommengen sowie Dokumentationspflichten über Ein- und Ausgangsstoffe aufgestellt. Genehmigt sind auf der Forschungsfläche maximale Eingangsstoffströme von 300 m<sup>3</sup>/a Flüssigstoffe und 200 m<sup>3</sup>/a Feststoffe aus Trockentoiletten.

Eine regelmäßige Prozessüberwachung sowie seuchen- und phytohygienische Prüfungen der Düngerprodukte werden in einem Arbeitspaket des zirkulierBAR Forschungsvorhabens bearbeitet. Für die Qualitätssicherung werden die Recyclingdünger chargenweise beprobt. Für die Analysen wird der Produktstandard DIN SPEC 91421 angewendet, der auf existierenden Vorgaben für Parameter und Methoden aus dem Abfall-, Abwasser- und Düngerecht basiert (vgl. Kirsten et al., 2024). Die Analysen werden durch die Forschungspartnerinnen sowie akkreditierte Labore durchgeführt.

Eine anschließende landwirtschaftliche Nutzung der hergestellten Recyclingdünger ist bisher nur für Forschungszwecke möglich. Gemäß Düngemittelverordnung (DüMV) sind unverdünnt und getrennt von Abwasser gesammelte menschliche Ausscheidungen nicht als Ausgangsstoffe zur Düngemittelherstellung zugelassen (vgl. Positivliste in Tab. 7, Anlage 2, DüMV). Die im Projekt geplanten Feldversuche wurden daher gemäß § 4 (4) DüMV schriftlich bei der Düngemittelverkehrskontrolle angezeigt und von dieser gestattet.

### **Fazit: Eine Blaupause für nicht-leitungsgebundene Toiletten**

Die Partner KWB und Finizio konnten auf Grundlage von Experimentierklauseln und übergreifender Zusammenarbeit

erfolgreich ein Reallabor aufbauen. Im Testbetrieb wird die technische Machbarkeit der schadlosen stofflichen Verwertung menschlicher Ausscheidungen demonstriert. Der modulare Aufbau der Anlagen ermöglicht eine Skalierbarkeit, d.h. eine flexible Anpassung auf verschiedene Einsatzorte und anfallende Mengen.

Die erarbeitete Planung soll auch anderen Kommunen helfen, eine wassersparende und ressourcenschonende Alternative zu linearen wasserabhängigen Klärsystemen aufbauen zu können. Die technischen und organisatorischen Blaupausen werden von zirkulierBAR in einem Handbuch für Kommunen veröffentlicht (geplant für September 2024). Der Transfer der Innovation bietet Kommunen eine Lösung für den weißen Fleck der kommunalen Entsorgerpflicht für die Sanitärversorgung im nicht-leitungsgebundenen Bereich (Veranstaltungen, Kleingärten, Tourismusziele, etc.).

#### Die Autor\*innen

Carsten Beneker, Kreiswerke Barnim GmbH, [beneker@kreiswerke-barnim.de](mailto:beneker@kreiswerke-barnim.de).

Dr. Ariane Krause, Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) e.V., [krause@igzev.de](mailto:krause@igzev.de)

#### Literatur

- » Krause A, von Hirschhausen C, Schröder E, Augustin F, Häfner F, Bornemann G, Sundermann G, Korduan J, Udert KM, Deutsch L, Reinhardt ML, Götzenberger R, Hoffmann S, Becker-Sonnenschein S (2021). Ressourcen aus der Schüssel sind der Schlüssel – Wertstoffe zirkulieren, Wasser sparen und Schadstoffe eliminieren. Diskussionspapier zur Sanitär- und Nährstoffwende. Berlin, Hamburg, Zürich. Verfügbar unter: <https://www.naehrstoffwende.org/diskussionspapier-naehrstoff-und-sanitaerwende/>