

Hygienisches Nährstoffrecycling durch thermophile Kompostierung von Trockentoiletteninhalten



Hintergrund: Recyclingdünger aus Kot und Urin

Getrennt gesammelte menschliche Ausscheidungen sind eine wertvolle Quelle für die integrierte **Rückgewinnung von Phosphor, Stickstoff und anderen Nährstoffen in einer regionalen Kreislaufwirtschaft**. Durch die Nutzung der Inhalte aus Trockentoiletten können der Nährstoff- und Wasserverbrauch reduziert, die Treibhausgasemissionen verringert und die Pflanzenproduktion gesteigert werden [1]. Die Minimierung von Krankheitserregern für einen hygienischen Umgang mit Recyclingdüngern stellt eine bedeutende Voraussetzung für diese Nutzung dar und wurde bereits in anderen Studien nachgewiesen [2].

Das Projekt zirkulierBAR untersucht das Potenzial der Kompostierung von menschlichen Ausscheidungen aus Trockentoiletten als wertvolle Ressource im nachhaltigen regionalen Nährstoffkreislauf zwischen **Landwirtschaft, Lebensmittelkonsum und Verwertung** (siehe Abb. 1.). Hierfür werden im Brandenburger Landkreis Barnim Methoden zur Herstellung hygienischer Recyclingdünger erforscht, wobei soziale Akzeptanz, rechtliche Aspekte und die **technische Integration in die kommunale Abfallwirtschaft** berücksichtigt werden.

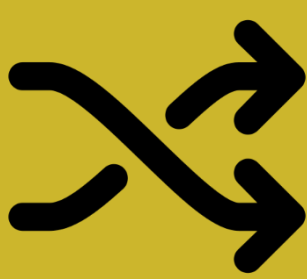


Abb.1: Prozesse im behandelten Nährstoffkreislauf: das Projekt zirkulierBAR konzentriert sich v. A. auf Verwertung, Gesetzgebung & Markt sowie Düngung & Anbau mithilfe von Recyclingdüngern

Material & Methoden

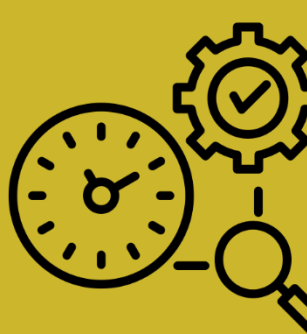


Hygienisierung der Inhalte aus Trockentoiletten (belüftet, min. 7 Tage & 70 °C)



Zuschlagstoffe

- + Äste und Strauchschnitt
- + Grünschnitt
- + Pflanzenkohle
- + Tonminerale



Humifizierung offene, thermophile Kompostierung (8 - 10 Wochen inkl. Monitoring) mit anschließender Siebung



Repräsentative Probenahme nach LAGA PN 98 [4]



Qualitätsanalyse des Recyclingdüngers nach DIN SPEC 91421:2020 [3]

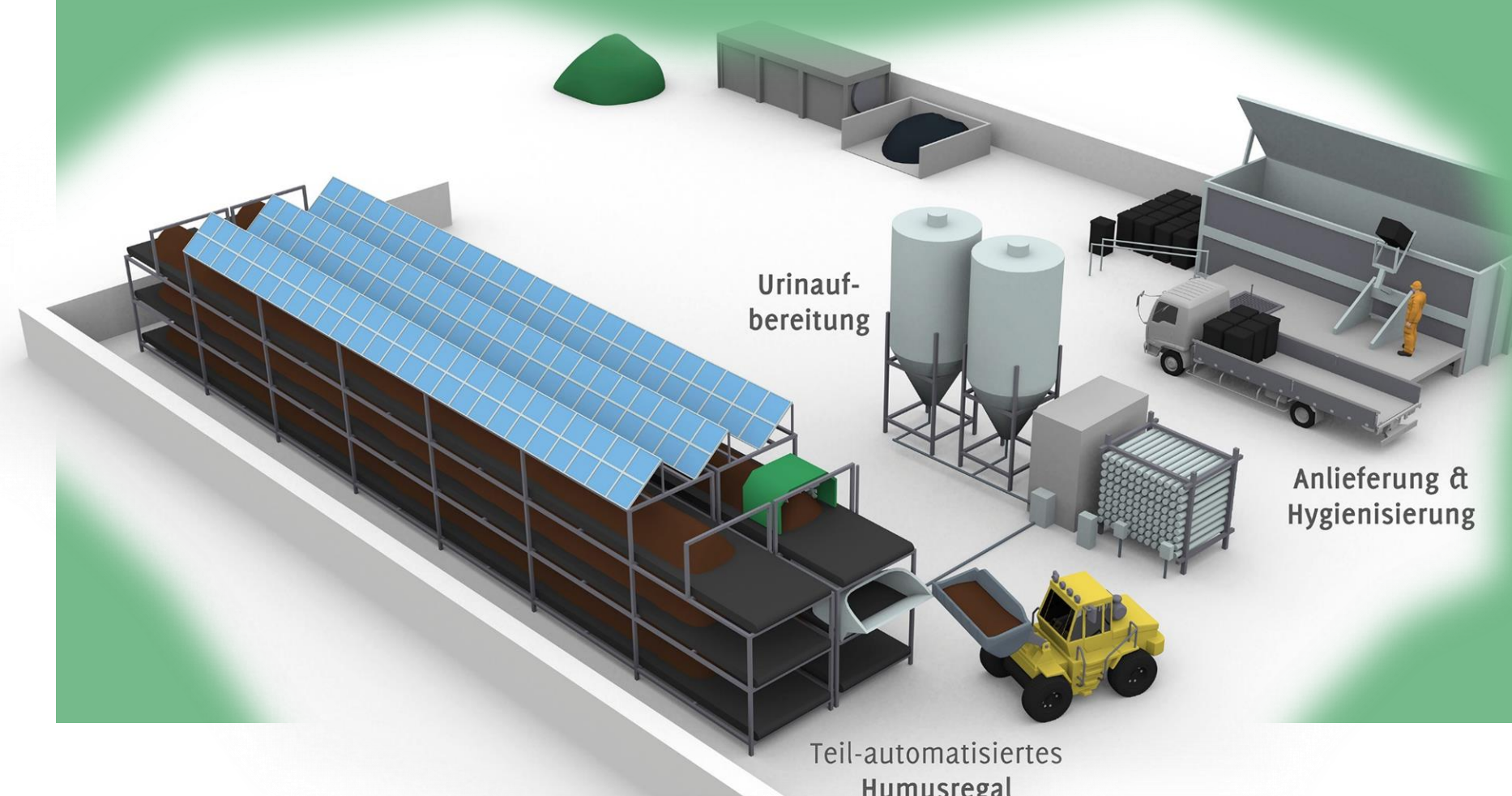
- **Nass:** Extraktion + Photometrie für NO₃, NH₄; pH, Leitfähigkeit
- **Trocken, gemahlen:** LOI, DM, GC (CNS), KöWa-Aufschluss + ICP-OES für Spurenstoffe, HM
- **Extern:** org. Schadstoffe, Krankheitserreger, Pharmazeutika
- Keimfähige Pflanzenteile, Fremdstoffe



Landwirtschaftliche Ausbringung auf Forschungsflächen in On-Farm-Versuchen

Forschungsziel: Qualitätsgesicherter Kompost

Das Deutsche Biomasseforschungszentrum und die Technische Universität Berlin führen seit 2021 Materialanalysen nach **DIN SPEC 91421:2020** [3] durch und validieren Analysemethoden, um den Kompostierungsprozess und die Produktqualität zu überwachen. Hierbei soll ein **allgemeingültiger Standard** zur Herstellung von qualitätsgesicherten Recyclingdüngern entstehen. Die Messkampagne umfasste bisher sieben Chargen Kompost á ca. 50 m³ der Jahre 2022 und 2023, welche in offener Mietenkompostierung entstanden sind.



- Verwertung von Kot zu Kompost und Urin zu stickstoffbetontem Flüssigdünger in der Pilotanlage (siehe Abb.2)
- weitere Kampagne mit fünf Mieten im Humusregal in 2024 geplant

Abb.2: Schema der Verwertungsanlage zur Herstellung von Recyclingdünger aus Toiletteninhalten in Eberswalde, betrieben durch Finizio GmbH und Kreiswerke Barnim

Ergebnisse & Diskussion

- Kompost = Recyclingdünger, der Boden mit ausreichend und pflanzenverfügbaren Makro- und Mikronährstoffen versorgt
- Gehalte an N, P₂O₅ und K₂O [% DM] entsprechen **Mindestgehalten für organisch-mineralischen Dünger NPK- bzw. PK-Düngern nach DüMV** (siehe Abb. 3)
- Entfernung **aller relevanter Schadstoffe und pharmazeutischer Rückstände** nachgewiesen
- E. coli und Salmonella im Düngemittelprodukt nicht oder kaum nachweisbar, dafür jedoch stets erhöhte Werte des anaeroben, pathogenen **Bakteriums Clostridium perfringens**
- Unzureichende Belüftung & Bodennässe in 2 von 7 Prozessen während der Hygienisierung → **erhöhte Enterokokken-Werte** im Kompost (siehe Tab. 1)

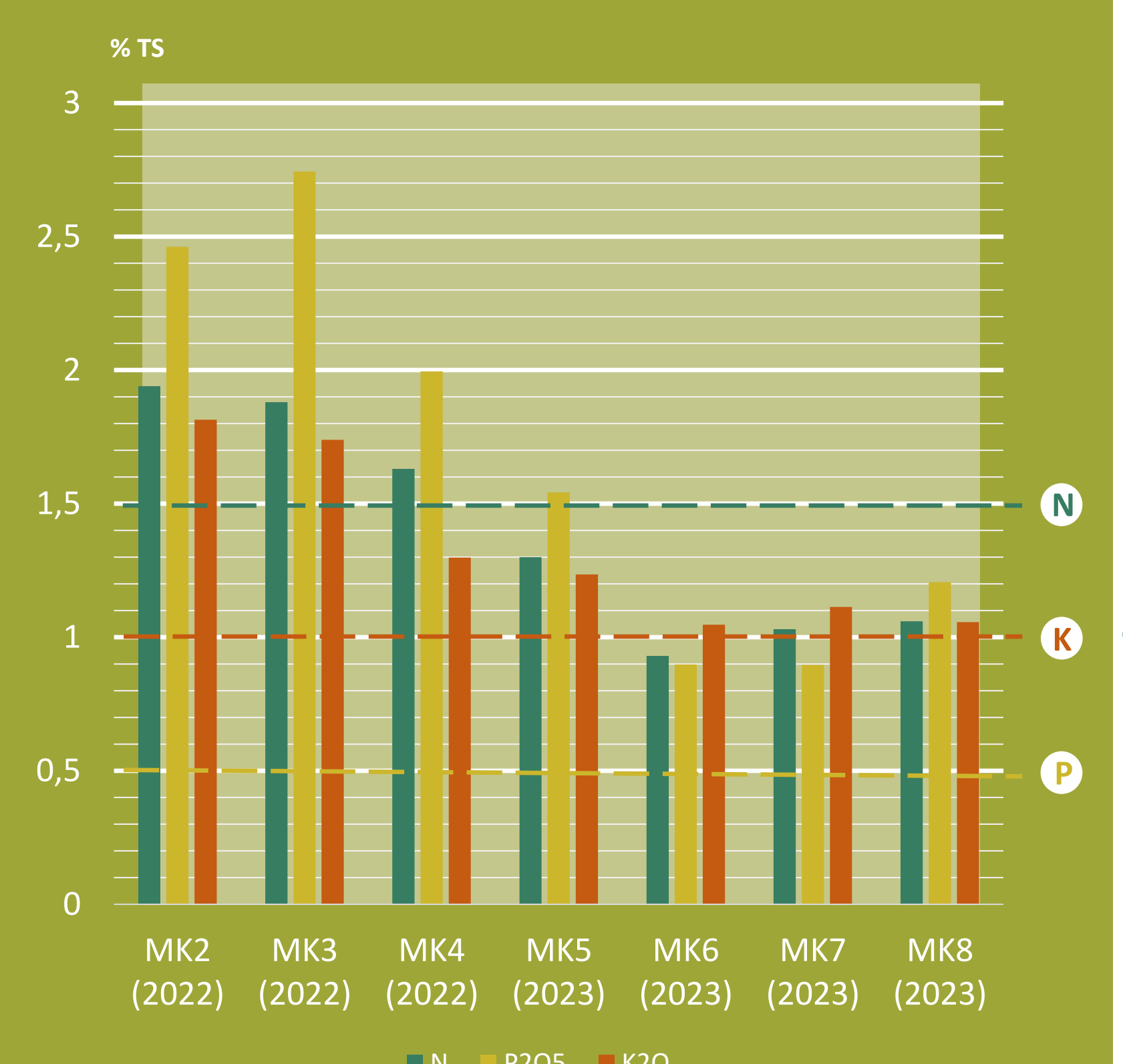


Abb.3: Hauptnährstoffe im Fertigkompost (mit Grenzwerten nach DüMV:2012)

Tab.1: Weitere Ergebnisse der Qualitätsanalyse des Fertigkomposts nach DIN SPEC 91421:2020, mit gekennzeichneten Grenzwertüberschreitungen

Probenbezeichnung	Spurenstoffe		Org. Schadstoffe	Pharmazeutische Rückstände	Seuchehygiene		Phytohygiene	Fremdstoffe
	DüMV	DüMV			DüMV & EU 2019/1009	DIN SPEC 91421		
MK2	✓	✓ (0)	✓ (0)	✓ (0)	3 / 4 **	✓ (0)	✓ (0)	
MK3	✓	✓ (0)	✓ (0)	✓ (0)	3 / 4 **	✓ (0)	✓ (0)	
MK4	✓	✓ (0)	✓ (0)	✓ (0)	3 / 4 **	✓ (0)	-	
MK5	✓	✓ (0)	✓ (0)	✓ (0)	3 / 4 **	✓ (0)	-	
MK6	✓	✓ (0)	-	✓ (0)	2 / 4 ***	✓ (0)	-	
MK7	✓	✓ (0)	✓ (0)	✓ (0)	3 / 4 **	✓ (0)	-	
MK8	✓	✓ (0)	-	✓ (0)	2 / 4 ***	✓ (0)	-	

* ohne Cr(VI)
 ** Grenzwertüberschreitungen für Clostridium perfringens, (0 KBE/g FM)
 *** Grenzwertüberschreitungen für C. perfringens und Enterokokken (1.000 MPN/g FM); Kompostmieten für landwirtschaftl. Ausbringung verworfen

- Vergleiche der Input- und Output-Substrate des Kompostierungsprozesses zeigen **deutliche Reduktion der Gesamtkeimzahl**
- Zusammensetzung, Belüftung & Standort sowie Probenahme: **Bedarf für Prozessoptimierung**
- Ersatz für Klärschlamm und synthetischen Dünger in landwirtschaftlicher Praxis denkbar, braucht jedoch regulat. Anpassungen

Elsa Madleen Jung, M. Sc.

Technische Universität Berlin | Institut für Technischen Umweltschutz | Fachgebiet Kreislaufwirtschaft & Recyclingtechnologie | e.jung@tu-berlin.de



[1] Kraus, F., Zamzow, M., Conzelmann, L., Remy, C., Kleyböcker, A., Seis, W., Miede, U., Hermann, L., Kabbe, C., (2019): Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgen und deren Vermeidung. UBA. ISSN 1862-4804
 [2] Häfner, F., Monzon, Diaz O.R., Tietjen, S., Schröder, C. and Krause, A., (2023): Recycling fertilizers from human excreta exhibit high nitrogen fertilizer value and result in low uptake of pharmaceutical compounds. Front. Environ. Sci. 10:1038175.
 [3] DIN SPEC 91421:2020-12 (2020): Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau. Deutsches Institut für Normung e.V.
 [4] Landesarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), (2004): LAGA PN 98 - Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz.