Konzentrationen seuchenhygienischer Indikatororganismen im Boden nach Düngung mit Kompost aus menschlichen Fäkalien

Ergebnisse und Bewertung aus drei Düngerversuchen

Boness, Jan-Ole

Humboldt-Universität zu Berlin
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

zirkulierBAR
ZURÜCK IN DEN KREISLAUF

135. VDLUFA-Kongress 26.09.2024

Dünger aus menschlichen Fäkalien

KIT – Kompost aus Inhalten von Trockentoiletten

UFIT – Urin-Flüssigdünger aus Inhalten von Trockentoiletten

Kreislaufwirtschaft

- Schutz natürlicher Ressourcen
- Energieeinsparungen
- Wassereinsparungen

Problem

Vorbehalte in Gesellschaft und Genehmigungsbehörden wegen Verbreitung von Krankheitserregern

Fragestellung

Wie wirken sich Dünger aus menschlichen Fäkalien auf seuchenhygienische Parameter im Boden aus?

1

Seuchenhygiene

Indikatororganismen E. coli, Salmonella spp., Enterokokken und C. perfringens

Indikatororganismen

Mikroorganismen, deren Vorhandensein darauf hinweist, dass auch pathogene Mikroorganismen vorhanden sein können (Gerba, 2015)

Seuchenhygiene (=Infektionshygiene)

Gebiet der Hygiene, das mit den Besonderheiten der Übertragung von Infektionserregern, den Möglichkeiten ihrer Verhütung und des Schutzes empfänglicher Individuen befasst ist.

DIN SPEC 91421 – Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau

(aus Wasser- und Düngeranalytik übernommen)

4.4 Durchzuführende Analysen

(…)

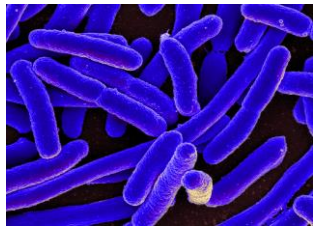
- Seuchenhygienische Parameter

- ✓ Salmonellen
- ✓ *Escherichia coli (E. coli)*
- ✓ Enterokokken
- ✓ *Clostridium perfringens* und Sporen
- ✓ somatische Coliphagen

Nutzung von Indikatororganismen im Boden nach Applikation von Stallmist, Biogutkompost und Klärschlamm bei Tontti (2011)

Indikatororganismen für fäkale Verunreinigung

Escherichia coli spp. (*E. coli*)



- Gram-negativ, fakultativ anaerob
- Erster Indikatororganismus für fäkale Kontamination von Trinkwasser und Lebensmitteln (ten Broeke, 1975)
- Zweifelsfrei Ursprung in Darmtrakt von Säugetieren (Edberg, 2000)
- Nachweis: Gruppe der coliformen Bakterien bzw. **fäkalcoliformen Bakterien** (*Escherichia* und *Klebsiella*)
- **Aussagebereich: Enterobakterien** (Gerba, 2015)

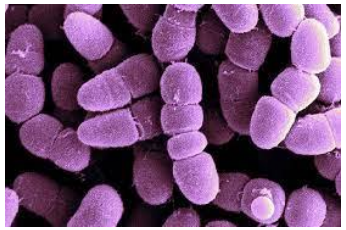
Salmonella spp.

- Gram-negativ, fakultativ anaerob
- Einziger Indikatororganismus, der in §5 Abs. 2 Satz 1 **DüMV** Anwendung findet
- **Intrazellulärer Parasit**
- Auslöser der „Salmonellose“

Enterokokken

- Gram-positiv, fakultativ anaerob
- Ähnlich wie *E. coli*
- Toleranter gegenüber hohen Salzkonzentrationen (Edberg, 2000)
- **Aussagebereich: Enterobakterien (Gerba, 2015)**

Clostridium perfringens (*C. perfringens*)



- **Ubiquitäres Bakterium**, gram-positiv, **anaerob, Sporenbildner** und deshalb sehr (hitze-) resistent
- **Aussagebereich: pathogene Protozoen und Viren (**Payment und Franco, 1993)

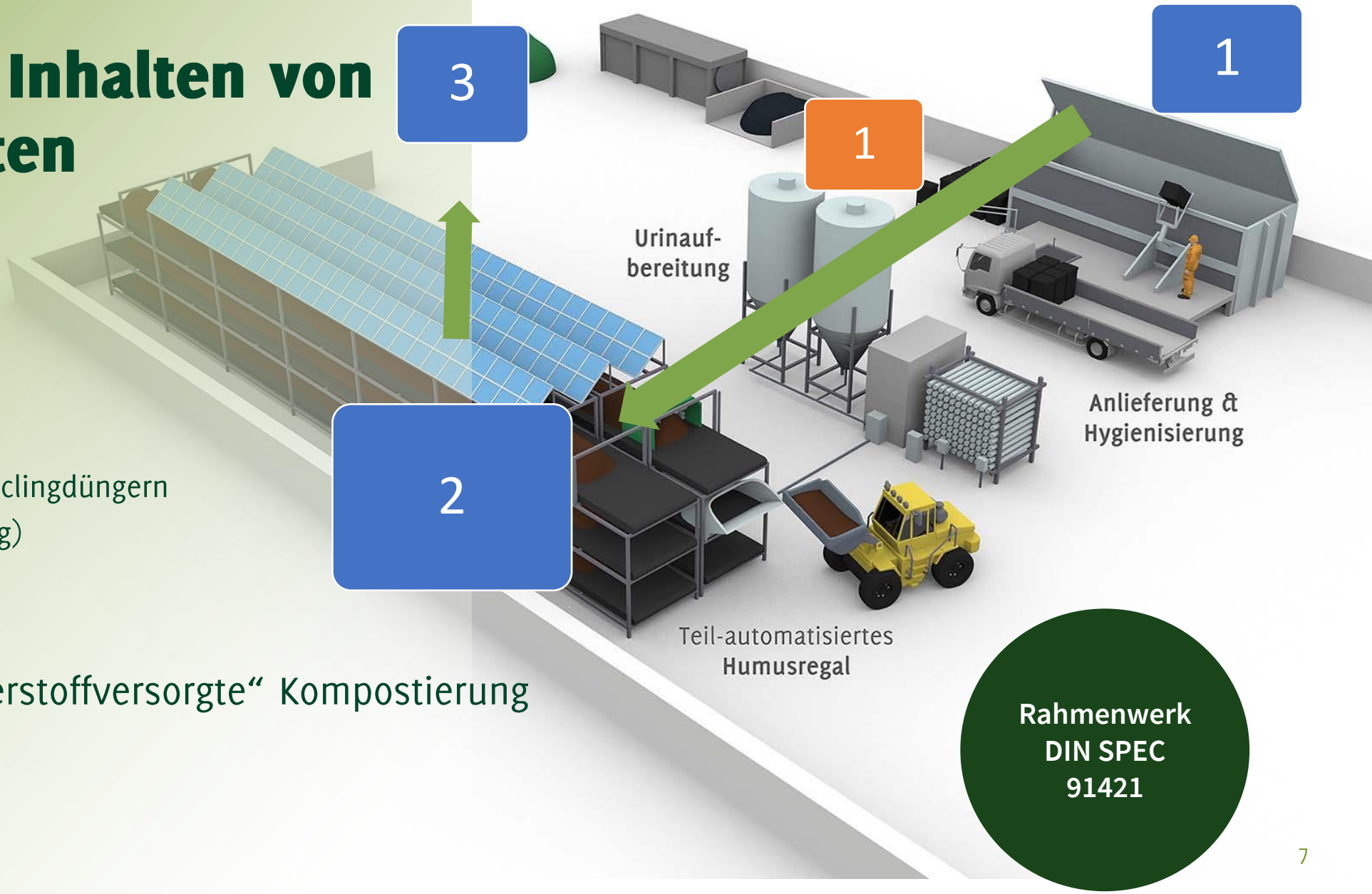
Bilder: “E. coli-Bakterien” von NIAID. Lizenz: CC BY 2.0; U.S. Food and Drug Administration; Janice Haney Carr

2

Material und Methodik

Dünger und Feldversuche

Material
Kompost aus Inhalten von Trockentoiletten



Forschungsanlage zur Herstellung von qualitätsgesicherten Recyclingdüngern (Eberswalde, Brandenburg)

1. Hygienisierung
2. „kontrolliert sauerstoffversorgte“ Kompostierung
3. Siebung

Rahmenwerk DIN SPEC 91421

Ergebnisse KIT aus Projekt zirkulierBAR (DBFZ/TU Berlin)

Salmonella spp. Nicht nachgewiesen (n.n.)

E. coli < 10^2 MPN g^{-1}

Je eine Miete in beiden On-Farm-Versuchen mit *E. coli* Befund, unterhalb des Grenzwertes aus DIN SPEC 91421

Enterokokken < 10^3 MPN g^{-1}

Alle Mieten mit positivem Befund für Enterokokken, unterhalb des Grenzwertes aus DIN SPEC 91421

C. perfringens < 10^3 KbE g^{-1}

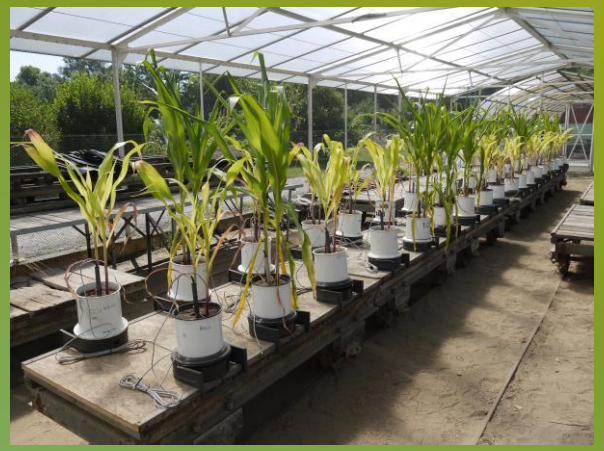
C. perfringens in vier Mieten über Grenzwerte aus DIN SPEC 91421, nur in KIT für Gefäßversuch wurde kein *C. perfringens* nachgewiesen

Tab. 1: Analyseergebnisse von KIT-Kompost, aufgeteilt nach Mietenbezeichnung (MK), Herstellungsjahr und Versuchszuordnung (OV=On-Farm-Versuch, GV=Gefäßversuch), Parameter: Salmonellen (Funde 50 g^{-1}), *E. coli* (MPN g^{-1}), Enterokokken (MPN g^{-1}), *Clostridium perfringens* (KbE g^{-1}), Methodik zu entnehmen in Jung et al. (unveröffentlicht)

	Einheit Schwellenwert/ Grenzwert	Grenzwert Düngemittel	Einheit Messwerte	Kompost	Kompost	Kompost	Kompost	Kompost	Kompost	Kompost
Probe-Nr.				**MKx1**	**MKx2**	**MKx3**	**MKx4**	**MK2**	**MK4**	**MK5**
				2020	2020	2020	2020	2022	2022	2023
Angewendet in Versuch				On-Farm-Versuch 1				GV/OFV2	On-Farm-Versuch 2	
Salmonellen	Funde / 50g	0	-	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
E.Coli	kbE/g	1000	MPN/g	<10	<10	<10	90	<10	<10	25
Enterokokken	kbE/g	1000	MPN/g	25	25	45	25	250	95	95
C. perfringens	kbE/g	0	kbE/g	<10	240	670	<10	<10	65	260

Farblegende
- Wert erfüllt Vorgaben der DIN SPEC
- Wert überschreitet Grenzwert der DIN SPEC

Gefäßversuch



Zwei (alleinige) Anwendungsmengen von KIT

KIT1 = 18,8 g Gefäß$^{-1}$ KIT

KIT3 = 56,5 g Gefäß$^{-1}$ KIT

n=6

3 Einstiche (0 – 15 cm) je Gefäß

Beprobung vor Düngung und nach 8 Wochen

Bodenart: schwach schluffiger Sand (Su 2)*

On-Farm-Versuch 1

Alleinige Anwendung von KIT

KIT = 10 t ha^{-1} TM

n=2

5 Einstiche je Streifen (Abstand > 50 m)

Beprobung nach 1 und 3 Jahren

Bodenart: schwach lehmiger Sand (Sl 2)*

On-Farm-Versuch 2

Kombinierte Anwendung von KIT und Urindünger

KIT = 10 t ha^{-1} TM

n=4

3 Einstiche je Messparzelle

Beprobung vor Düngung und nach 6 Monaten

Bodenart: schwach lehmiger Sand (Sl 2)*

*nach bodenkundlicher Kartierungsanleitung (Sponagel et al., 2005)

Methodik der Dünger- und Bodenuntersuchungen, sowie Ergebnisauswertung

Düngeruntersuchungen

- Analysen gem. DIN SPEC 91421 durch DBFZ (Leipzig) und Technische Universität Berlin im Projekt zirkulierBAR (Mühlenberg et al., unveröffentlicht)

Bodenuntersuchungen

- Gefäßversuch
  - Entnahme über gesamte Füllhöhe (15 cm) mit Bohrstock
- On-Farm-Versuche
  - Entnahme mit Bohrstock bis 50 cm (Ohtomo et al., 2004)
  - GPS-gestützte Probenentnahme
  - oberste 10 cm vom Ackerboden werden verworfen
- Probennahmehygiene
  - Desinfektion von Bohrstock und Behälter mit 70% Ethanol
  - Spülen mit entsalz. Wasser
- Transport bei annähernd Bodentemperatur
- Analyse bei LUFA Nord-West, Institut für Boden und Umwelt

Auswertung

- Nachweisgrenze *E. coli*, Enterokokken < 10 MPN g^{-1}
- Nachweisgrenze *C. perfringens* < 10 KbE g^{-1}
- Werte unterhalb der Nachweisgrenze wurden gleich 0 gesetzt
- Darstellungen und statistische Auswertung mit SAS (SAS ONDEMAND FOR ACADEMICS v.3.81, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)

3

Ergebnisse

aus einem Gefäßversuch und zwei On-Farm-Versuchen

Ergebnisse Gefäßversuch

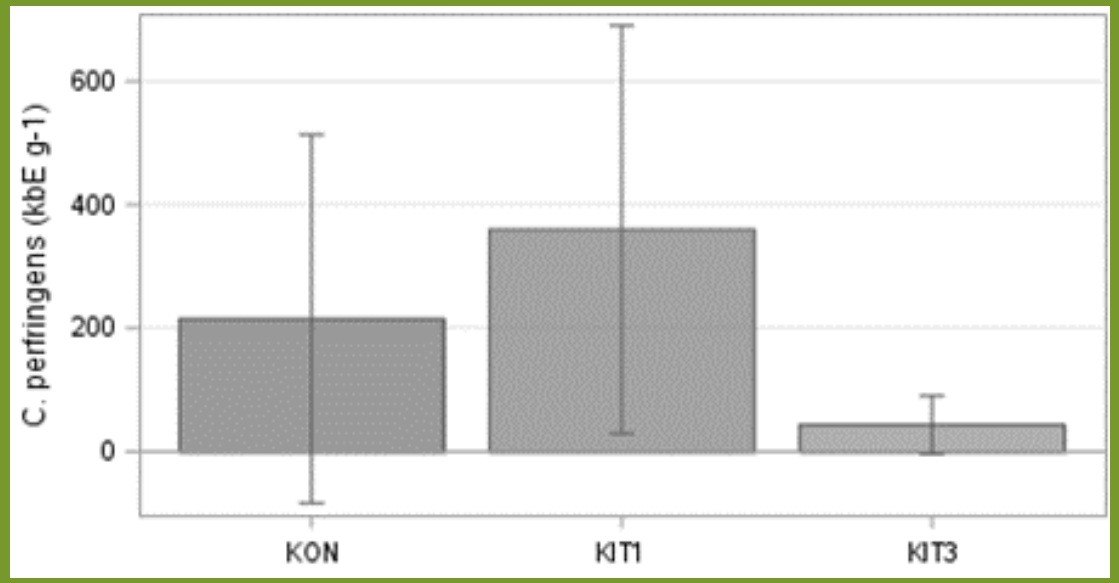
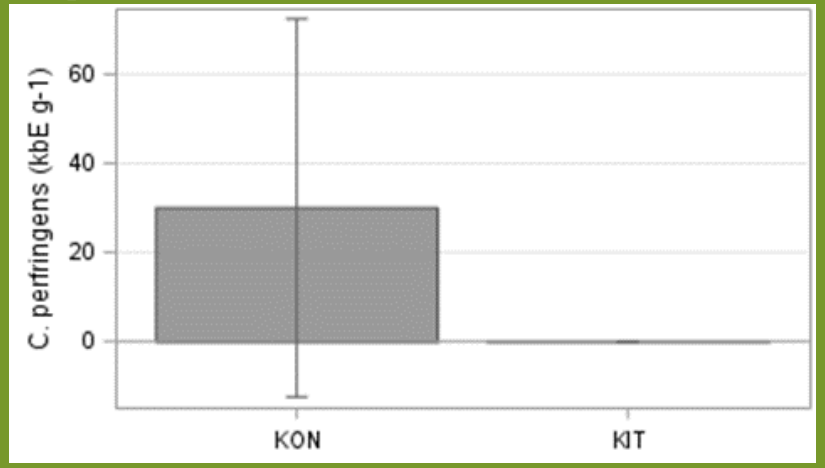


Abb. 1: Mittelwerte (n=6) für *Clostridium perfringens* im Boden (KbE g^{-1}) im Gefäßversuch nach acht Wochen Versuchslaufzeit, KON=ungedüngte Kontrolle, KIT1=10 t ha^{-1} TM KIT, KIT3=30 t ha^{-1} TM KIT, Fehlerbalken zeigt Standardabweichung an.

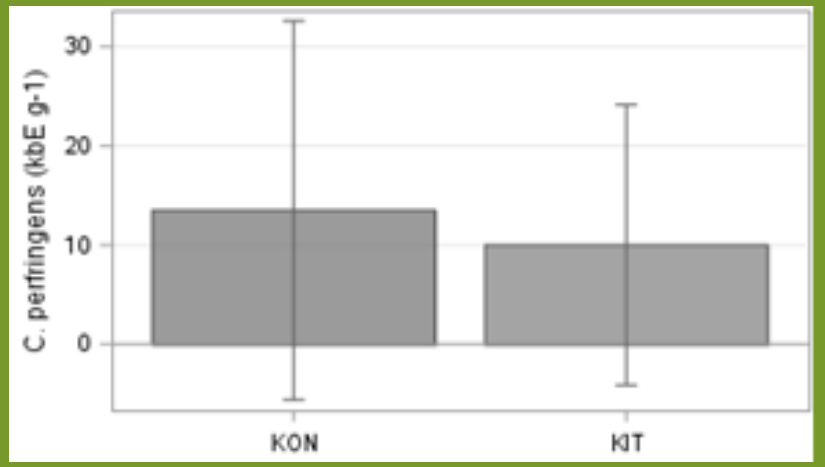
- **Kein Nachweis von *Salmonella spp., E. coli* und Enterokokken im Versuchsboden**

- *C. perfringens* sowohl in ungedüngter Kontrolle (KON), einfacher (KIT1) und dreifacher KIT-Anwendungsmenge (KIT3) nachgewiesen
- Konzentrationen zwischen < 10 und 800 KbE g^{-1}
- Belastung mit *C. perfringens* in allen Gefäßen, mit Ausnahme von zwei Gefäßen in KIT3

Ergebnisse On-Farm-Versuch 1



nach 1 Jahr



nach 3 Jahren

Abb. 2: Mittelwerte (n=2) für *Clostridium perfringens* im Boden (KbE g^{-1}) im On-Farm-Versuch 1 nach einem Jahr und drei Jahren Versuchslaufzeit, KON=ungedüngte Kontrolle, KIT=10 t ha^{-1} TM KIT, Fehlerbalken zeigt Standardabweichung an.

- **Kein Nachweis von *Salmonella* spp., *E. coli* und Enterokokken im Versuchsboden**

- Konzentrationen zwischen < 10 und 60 KbE g^{-1}
- *C. perfringens* sowohl in der ungedüngten Kontrolle (KON2 zu beiden Messzeitpunkten), als auch in der KIT-Variante (KIT2 zum zweiten Messzeitpunkt) nachgewiesen

Ergebnisse On-Farm-Versuch 2

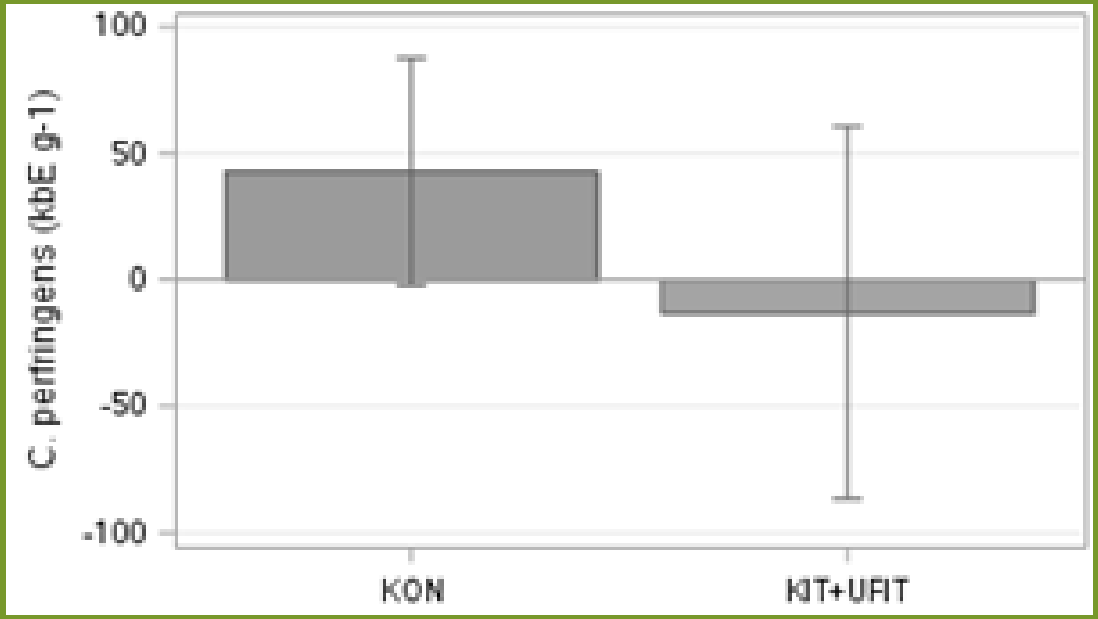


Abb. 3: *Clostridium perfringens* im Boden (KbE g^{-1}) im On-Farm-Versuch 2, Differenz der Mittelwerte (n=4) vor und nach Düngung, KON=ungedüngte Kontrolle, KIT+UFIT=10 t ha^{-1} TM KIT und Urinflüssigdünger. Fehlerbalken zeigt Standardabweichung an.

- **Kein Nachweis von *Salmonella* spp., *E. coli* und Enterokokken im Versuchsboden**

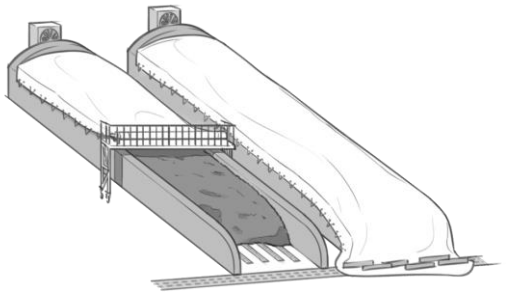
- *C. perfringens* sowohl in der ungedüngten Kontrolle, als auch in der KIT-Variante nachgewiesen
- *C. perfingens* vor und nach der Ausbringung von KIT nachgewiesen
- Konzentrationen zwischen < 10 und 130 KbE g^{-1}
- Trend zur Anstieg von *C. perfringens* in KON-Parzellen und zur Verminderung von *C. perfringens* in KIT-Parzellen

4

Diskussion

Belastungen im Dünger und Wirkung bei bodenbezogener Verwertung

Diskussion



Dünger

- **Belastungen** von KIT (über dem Grenzwert der DIN SPEC 91421) beschränken sich auf *C. perfringens,* aber auch geringe Einträge von *E. coli* und Enterokokken in den Boden
- *C. perfingens*: KIT im Bereich **wie Bioabfallkompost** (10 – 10^3 KbE g^{-1}) und unterhalb der Konzentration von Stallmist (< 10 – 10^5 KbE g^{-1}) (Brochier et al., 2012)
- Grenzwert für *C. perfringens* in DIN SPEC 91421 zu streng angesetzt? **Grenzwert 100 KbE g^{-1}** aus „Delegierte Verordnung (EU) 2021/2086 der Verordnung (EU) 2019/1009“ könnte übernommen werden.

Diskussion

Boden

- **Kein Nachweis von *Salmonella* spp., *E. coli* und Enterokokken nach bodenbezogener Verwertung von KIT**

C. perfringens

- Nachweis von *C. perfringens* in Versuchsböden aller drei Versuch entlang der behandelten und **unbehandelten Varianten**, sowie **vor und nach der Düngung**, keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontrolle und Düngung mit Kompost aus menschlichen Fäkalien
- Strikter Anaerobier – Wachstumsbedingungen in bewässertem GV besser, als in trockenen OVs
- Konzentrationen im Boden < 800 KbE g^{-1}
- Brochier et al. (2012) finden im Feldversuch nach Anwendung von Stallmist deutlich höhere Bodenkonzentrationen (bis 2900 KbE g^{-1})

Fazit

Es kann aus unseren Versuchen kein gesundheitsrelevantes Gefährdungspotenzial der Düngung mit qualitätsgesichertem KIT abgeleitet werden

Quellen

Brochier, V., Gourland, P., Kallassy, M., Poitrenaud, M., & Houot, S. (2012). Occurrence of pathogens in soils and plants in a long-term field study regularly amended with different composts and manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *160*, 91–98. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.021

Costa, A., Gusmara, C., Gardoni, D., Zaninelli, M., Tambone, F., Sala, V., & Guarino, M. (2017). The effect of anaerobic digestion and storage on indicator microorganisms in swine and dairy manure. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(31), 24135–24146. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0011-5

DIN SPEC 91421:2020-12, Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau. (2020). Beuth Verlag GmbH. https://doi.org/10.31030/3213808

Edberg, S. c., Rice, E. w., Karlin, R. j., & Allen, M. j. (2000). Escherichia coli: The best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, *88*(S1), 106S-116S. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2000.tb05338.x

Gerba, C. P. (2015). Indicator Microorganisms. In *Environmental Microbiology* (S. 551–564). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00023-5

Ohtomo, R., Minato, K., & Saito, M. (2004). Survival of *Escherichia coli* in a field amended with cow feces slurry. *Soil Science and Plant Nutrition*, *50*(4), 575–581. https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408514

Payment, P., & Franco, E. (1993). Clostridium perfringens and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts. *Applied and Environmental Microbiology*, *59*(8), 2418–2424. https://doi.org/10.1128/aem.59.8.2418-2424.1993

Pham-Duc, P., Nguyen-Viet, H., Hattendorf, J., Zinsstag, J., Phung-Dac, C., Zurbrügg, C., & Odermatt, P. (2013). Ascaris lumbricoides and Trichuris trichiura infections associated with wastewater and human excreta use in agriculture in Vietnam. *Parasitology International*, *62*(2), 172–180. https://doi.org/10.1016/j.parint.2012.12.007

Srirashmi, S., Varshini, R., Istalingamurthy, D., & Lokesh, K. S. (2022). Possible Risk on Human Health and Agricultural Land Associated with Application of Humanure. In L. Nandagiri, M. C. Narasimhan, S. Marathe, & S. V. Dinesh (Hrsg.), *Sustainability Trends and Challenges in Civil Engineering* (S. 619–635). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2826-9_40

Technical proposals for selected new fertilising materials under the Fertilising Products Regulation (Regulation (EU) 2019/1009): process and quality criteria, and assessment of environmental and market impacts for precipitated phosphate salts & derivates, thermal oxidation materials & derivates and pyrolysis & gasification materials. (2019). https://data.europa.eu/doi/10.2760/186684

ten Broeke, R. (1975). Hygiene indicator organisms. *Antonie van Leeuwenhoek*, *41*(1), 371–372. https://doi.org/10.1007/BF02565075

Tontti, T., Heinonen-Tanski, H., Karinen, P., Reinikainen, O., & Halinen, A. (2011). Maturity and hygiene quality of composts and hygiene indicators in agricultural soil fertilised with municipal waste or manure compost. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, *29*(2), 197–207. https://doi.org/10.1177/0734242X10361511

WHO (Hrsg.). (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater* (3. ed.). World Health Organization.

ZURÜCK IN DEN KREISLAUF

zirkulierBAR

Feldversuche und Analysen finanziert durch
Finizio GmbH (On-Farm-Versuch 1)
Projekt zirkulierBAR (Gefäßversuch, On-Farm-Versuch 2)

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Center for Responsible Research and Innovation
Fraunhofer IAO

izt Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung

KREISWERKE BARNIM

mfm future at work

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Landkreis Barnim Wir gestalten Zukunft.

Stadt Eberswalde

IGZ

DBFZ

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

finizio future sanitation

UNSER TEAM

Zurück in den Kreislauf!