

## Einträge von Fäkalbakterien in Oberflächengewässer aus gedränten Flächen (KA 06/2002)

Klaus Weiß (München)

### Zusammenfassung

*Auf gedränten Standorten wurde das Austragsverhalten von Fäkalbakterien aus Wirtschaftsdünger bei simuliertem Starkregen untersucht. Abflussmessungen weisen auf eine schnelle Wasserbewegung (preferential flow) im Boden über Makroporen hin. Der Gesamtaustrag über den Dränabfluss variierte bei den Berechnungsversuchen zwischen 0,4 % und 14 % der aufgebrachten Fäkalbakterien (fäkalcoliforme Bakterien, fäkale Streptokokken). Die Wiederfindungsraten lassen keine deutliche Abhängigkeit von der Abflussmenge, dem Standort und der Art der Bodenbearbeitung erkennen.*

*Schlagwörter:* Boden, Oberflächengewässer, Fäkalien, Bakterien, Drainage, Landwirtschaft, Lysimeter, Düngung

### Summary

### Contamination of Surface Waters with Faecal Bacteria from Drained Surfaces

*The discharge of faecal bacteria from agricultural manure on drained sites during simulated heavy rainfall was quantified. Flow measurements show rapid water movement (preferential flow) in the soil via macro pores. The total discharge via drained sites varied between 0.4 and 14 % of the applied faecal bacteria (faecal coliform bacteria, faecal streptococci). Retrieval rates do not indicate a clear dependence on flow volumes, location, and type of soil cultivation.*

*Key words:* soil, surface waters, faeces, bacteria, drainage, agriculture, lysimeter, fertilisation

### 1. Einleitung

In Deutschland werden große Anstrengungen unternommen, den Anteil punktueller Einleitungen an der Gewässerverunreinigung unter Einsatz innovativer Techniken in den Kläranlagen zu reduzieren. Somit kommt den diffusen Belastungsquellen, insbesondere aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, immer größere Bedeutung zu. Während bereits umfassende Daten zur Abschätzung der Erosionsanfälligkeit bis auf die Maßstabebene von Einzugsgebieten vorliegen, wird das Infiltrationsverhalten von Fäkalbakterien in verschiedenen Bodentypen bisher nur anhand von Lysimeterversuchen ([1], [2], [3], [4]) sowie Freilandstudien mit überwiegend qualitativem Charakter ([5], [6]) beschrieben. An gedränten Standorten führt die Regulierung des Wasserhaushalts im Falle einer Infiltration zu einem raschen Austausch der Bodenlösung über das gesamte horizontale Profil,

d.h. der Austrag von Schadstoffen in Oberflächengewässer und die damit verbundenen Kontaminationserscheinungen werden gefördert ([7], [8]). Zur Klärung der Prozesse, die zu diesen unerwünschten Austrägen führen und um daraus Strategien zu deren Reduzierung entwickeln zu können, wurden in der vorliegenden Arbeit großräumige Bilanzierungen zur Verlagerung von Fäkalbakterien in der Bodenpassage durchgeführt. Diese Untersuchungen lassen weiterhin Rückschlüsse auf die Austragsvorgänge in nicht gedränten Flächen zu, wo das Bodenwasser weiter in Richtung Grundwasser versickert.

### **2. Material und Methoden**

Die Ausschwemmungsversuche wurden auf gedränten, landwirtschaftlich genutzten Flächen durchgeführt. Charakteristisch für diese Beregnungsstandorte sind leicht pseudovergleyte Böden (Tonanteil 10–20 %, Schluffanteil 40–60 %) mit Hangneigungen zwischen 5–10 %. Die Versuchsflächen von 10×30 m wurden derart ausgewählt, dass sie in der Mitte von einem Dränstrang (Tiefe 70–120 cm) durchzogen wurden. Bei allen Versuchsansätzen wurde Rindergülle streifenförmig ausgebracht, entsprechend der Düngeverordnung jeweils 25m<sup>3</sup>/ha. Um das Wetter als Unsicherheitsfaktor auszuschalten, wurde eine Beregnungsanlage für die Erzeugung künstlicher Starkniederschläge benutzt. Der große Vorteil dieser Anlage ist die Konstanz bei der Simulation einzelner Niederschlagsereignisse und damit die unmittelbare Vergleichbarkeit der Auswirkungen bei unterschiedlichen Standorten und Bewirtschaftungsformen. Die Beregnungsdauer betrug 2,3 Stunden pro Versuch, die Niederschlagsintensität ca. 20mm/h. Diese Wassermenge versickerte vollständig auf den Flächen, ein Oberflächenabfluss fand somit nicht statt. Die Beregnung wurde in der Regel innerhalb einer Stunde nach dem Ausbringen der Gülle begonnen. Zur Quantifizierung des unterirdischen lateralen Abflusses wurde der Teil des infiltrierten Wassers herangezogen, der über die Dränleitung in den Vorfluter floss. Die Dränschüttung wurde an einem 60°-V- Wehr mithilfe eines Druckpegelsensors und einem Datenlogger kontinuierlich aufgezeichnet. Ein automatischer Probenehmer zog in fünfminütigen Abständen Wasserproben, die anschließend im Labor auf ihre Belastung mit Fäkalbakterien untersucht wurden.

Zur Bilanzierung des Stofftransports in der ungesättigten Bodenzone wurden die Frachten an fäkalcoliformen Bakterien sowie fäkalen Streptokokken im ausgebrachten Wirtschaftsdünger und im Dränabfluss berechnet. Der Nachweis der fäkalcoliformen Bakterien erfolgte im Dreifachansatz nach dem „Most-Probable-Number-Verfahren“ (MPN-Verfahren). Als Nährlösung wurde Fluorocult-Laurylsulfat-Bouillon [9] verwendet. Die Bestimmung der fäkalen Streptokokken (Enterokokken) erfolgte mittels der Membranfiltermethode [10] als koloniebildende Einheiten (KBE).

### **3. Ergebnisse und Diskussion**

In den Jahren 1999 bis 2001 wurden von Mai bis November mehr als zwanzig Beregnungsversuche auf Äckern und Wiesen durchgeführt. Die Wasserführung in den Dränen kurz nach Beregnungsbeginn und der unmittelbare Rückgang der Dränschüttung nach Beenden der Beregnung (Abbildung 1) weisen auf einen schnellen Wasserfluss (preferential flow) im Boden hin, wie er ausschließlich in Grobporen erfolgen kann.

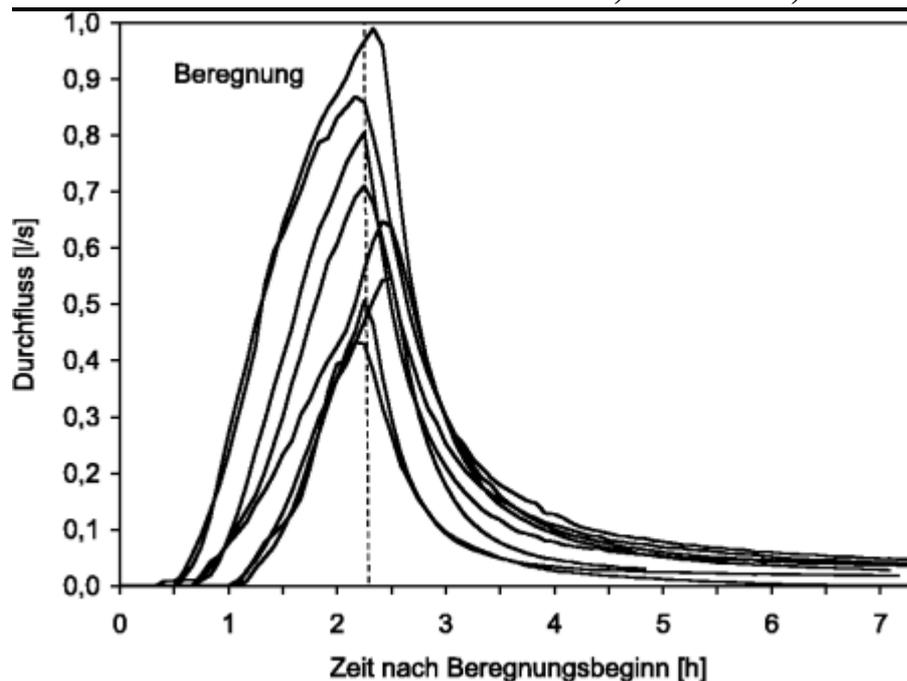


Abb. 1: Abflussganglinien von Dränen

Makroporen entstehen durch biogene Aktivität (Bodenfauna, Pflanzenwurzeln), durch die Quell-Schrumpfdynamik austrocknender tonhaltiger Böden oder durch Verwitterungsprozesse [11]. In den Dränausläufen wurden zwischen 7 % und 62 % der ausgebrachten Wassermenge gemessen, unabhängig von der Bodenfeuchte des Standorts (Korrelationskoeffizient  $r = 0,2$ ) ([12], [13]). Bestimmend für den Gesamtabfluss sind somit vor allem die Anzahl der Makroporen und die „Saugleistung“ der Drän. Die Anzahl der Makroporen wird auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in hohem Maße durch die Art der Bewirtschaftung sowie die Bodenbearbeitung beeinflusst. Auf Wiesen und Ackerland mit pflugloser Bearbeitungstechnik wird die Ausbildung und der Erhalt von Makroporen bis an die Oberfläche begünstigt, wohingegen durch Pflügen die Kontinuität von Poren im Oberboden zerstört und somit der Wasserfluss vermindert wird.

Mit der Gülle wurden zwischen  $10^8$  und  $10^{11}$  fäkalcoliforme Bakterien (FC) und ca.  $10^{10}$  fäkale Streptokokken (FS) auf den Versuchsflächen ausgebracht. Der Gesamtaustrag über den Dränabfluss variierte bei den Beregnungsversuchen zwischen 0,4 % und 14 % der aufgebrauchten Fäkalbakterien. Hochgerechnet auf ein Hektar gedränte Fläche würde dies im Mittel ausreichen, um  $10\,000\text{m}^3$  sauberes Wasser über den Grenzwert für Badegewässer zu belasten [14]. Ähnliche Wiederfindungsraten sind in der Literatur auch für Pflanzenschutzmittel, Phosphat und Chlorid beschrieben ([7], [15], [16], [17]).

Kennzeichnend für den schnellen Stofftransport in Böden ist, dass unterschiedlich reaktive Stoffe unabhängig von ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften mit vergleichbarer Geschwindigkeit im Boden verlagert werden. Interaktionen zwischen Stoff und Boden sowie Abbauprozesse spielen bei der Stoffverlagerung keine wesentliche Rolle.

Die abgeflossenen Wassermengen zeigten jedoch keinen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtfracht an ausgeschwemmten Fäkalbakterien (Korrelationskoeffizient für fäkalcoliforme Bakterien  $r = -0,24$ , für fäkale Streptokokken  $r = 0,42$ ), d.h. Abflussintensität und Konzentration an Bakterien im Abfluss verhalten sich gegenläufig. Die Wiederfindungsraten von Fäkalbakterien im Dränabfluss lassen keine deutliche Abhängigkeit

## KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2002

vom Standort, der Art der Bewirtschaftung sowie der Bodenbearbeitung erkennen (Tabelle 1) [2]. Verschiedene Berechnungsflächen (Parzellen) eines Schlages weisen eine ähnliche Variabilität in der Ausschwemmung auf wie unterschiedlich bewirtschaftete Standorte. Die wirksamste Maßnahme, die Belastung des Sickerwassers mit Fäkalbakterien zu verringern, liegt somit bei der Reduzierung der Düngemenge auf das für die Bodenfruchtbarkeit absolut notwendige Maß. Eine weitere Möglichkeit besteht im Ausbringen von Gülle mit einer geringen Konzentration an Fäkalbakterien, sei es durch Behandlung ([18], [19]) oder Lagerung [20] der Gülle.

Standort/Parzelle	FC	FS	Standort/Parzelle	FC	FS
	Winterroggen vor Ährenschieben			nach Getreidernte vor Bodenbearbeitung	
I/a	1,7 %	1,8 %	I/c	1,2 %	1,3 %
I/b	4 %	5,2 %	I/d	0,4 %	3,9 %
			II	2,8 %	9,6 %
	Bodenbearbeitung Gülle – Pflug – Kreiselegge			Bodenbearbeitung Pflug – Kreiselegge – Gülle	
I/b	0,7 %	1 %	I/e	1,8 %	3,1 %
	Wiese jährlich 4-mal Mahd			Wiese jährlich eine Mahd	
III	1,2 %	8,1 %	IV/a	3,6 %	14,2 %
			IV/b	0,4 %	4,2 %

*Tabelle 1: Wiederfindungsraten von fäkalcoliformen Bakterien (FC) und fäkalen Streptokokken (FS) im Dränwasser in Abhängigkeit von Standort, Bewuchs und Bodenbearbeitung*

Standort I, IV: Tertiäres Hügelland (Lkr. Pfaffenhofen, Obb.) Standort II, III: Jungmoränengebiet (Lkr. Ebersberg, Obb.)

### 4. Schlussfolgerung

Die Ausbildung von Makroporen führt zu einer schnellen Verlagerung von Fäkalbakterien im Boden. Durch eine Dränung wird zwar die Gefährdung des oberflächennahen Grundwassers direkt unter dem Standort verringert, das Risiko des Stoffaustrags in Oberflächengewässer jedoch gefördert. In Deutschland sind ca. zwei Millionen Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche gedränt. Dies bedeutet ein erhebliches Gefährdungspotenzial in Hinblick auf die bakteriologisch-hygienische Belastung von Gewässern. Düngeranwendungen sind zu vermeiden, wenn starke Niederschläge kurz nach der Ausbringung zu erwarten sind, da keine Zeit für das Absterben der Bakterien an der Bodenoberfläche (UV, Austrocknung) oder für eine Diffusion in die Bodenaggregate besteht.

### Dank

Dem Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen sei gedankt für die Förderung des Forschungsprojekts.

## Literatur

- [1] J. Troxler, Zala M., Natsch A., Nievergelt J., Keel C., Defago G.: Transport of a biocontrol *Pseudomonas fluorescens* through 2.5-m deep outdoor lysimeters and survival in the effluent water, *Soil Biol. Biochem.* **1998**, 30, 621–631.
- [2] C. S. Stoddard: Fecal bacterial survival and infiltration through a shallow agricultural soil: Timing and tillage effects, *J. Environ. Qual.* **1998**, 27, 1516–1523.
- [3] D. Liu: The effect of sewage sludge land disposal on the microbial quality of groundwater, *Water Res.* **1982**, 16, 957–961.
- [4] S. Damgaard-Larsen, Jensen K. O., Lund E., Nissen B.: Survival and movement of enterovirus in connection with land disposal of sludges water, *Water Res.* **1977**, 11, 503–508.
- [5] E. L. McCoy, Hagedorn C.: Quantitatively tracing bacterial transport in saturated soil systems, *Water Air Soil Pollut.* **1979**, 11, 467–480.
- [6] N. K. Patni, Toxopeus R., Tennant A. D., Hore F. R.: Bacterial quality of tile drainage water from manured and fertilized cropland, *Water Res.* **1984**, 18, 127–132.
- [7] B. Lennartz, Wichtmann W., Weber K., Widmoser P.: Pflanzenschutzmitteleinträge in Oberflächengewässer durch Dränung, *Mitteilungen Biologische Bundesanstalt Land-Forstwirtschaft.* **1997**, 330, 39–62.
- [8] A. Schwarz, Kaupenjohann M.: Vorhersagbarkeit des Stofftransportes in Böden unter Berücksichtigung des schnellen Flusses (preferential flow), *KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall* **2001**, 48, 48–53.
- [9] P. R. G. Schindler: MUG-Laurylsulfat-Bouillon – ein optimales Nachweismedium für gesamtcoliforme und fäkalcoliforme Bakterien im Rahmen der hygienischen Überprüfung von Badegewässern gemäß der EG-Richtlinie 76/160 EWG, *Zentralblatt Hygiene* **1991**, 191, 438–444.
- [10] ISO: Water quality – Detection and enumeration of intestinal enterococci. part 2: Membrane filtration method, ISO/TC 147/SC 4, **1998**.
- [11] J. Bouma: Soil morphology and preferential flow along macropores, *Agricultural Water Management* **1981**, 3, 235–250.
- [12] W. M. Edwards, Shipitalo M. J., Owens L. B., Dick W. A.: Factors affecting preferential

## KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2002

---

- flow of water and atrazine through earthworm burrows under continuous no-till corn, *J. Environ. Qual.* **1993**, 22, 453–457.
- [13] M. Flury, Flüehler H., Jury W. A., Leuenberger J.: Susceptibility of soils to preferential flow of water: a field study, *Wat. Resour. Res.* **1994**, 30, 1945–1954.
- [14] Richtlinie des Rates vom 8. Dezember 1975 über die Qualität der Badegewässer (76/160/EWG), Amtsblatt Nr. L 31 vom 5. 2. **1976**, S. 1.
- [15] M. Flury: Experimental evidence of transport of pesticides through field soils – a review, *J. Environ. Qual.* **1996**, 25, 25–45.
- [16] R. Gächter, Ngatiah J. M., Stamm C.: Transport of phosphate from soil to surface waters by preferential flow, *Environ. Sci. Technol.* **1988**, 32, 1865–1869.
- [17] T. L. Richard, Steenhuis T. S.: Tile drain sampling of preferential flow on a field scale, *J. Contam. Hydrol.* **1988**, 3, 307–325.
- [18] K. R. Pagilla, Kim H., Cheunbarn T.: Aerobic thermophilic and anaerobic mesophilic treatment of swine waste, *Water Res.* **2000**, 34, 2747–2753.
- [19] W. Müller: Erfahrungen mit einem Güllebehandlungsverfahren (Oligolyse), *Tierärztliche Umschau* **1985**, 40, 343–350.
- [20] K. Weiß: Diffuse Belastung von Gewässern mit Fäkalbakterien aus landwirtschaftlich genutzten Flächen. In: Wasserwirtschaft – nachhaltige Daseinsvorsorge und Verbraucherschutz, ATV-DVWK-Landesverbandstagung am 25. und 26. Oktober **2001**, 96–104.

### Autor

Dr. Klaus Weiß Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Kaulbachstraße 37, 80539 München E-Mail: klaus.weiss@lfw.bayern.de