

Gefährdung des Bodens und des Grundwassers durch Exfiltration von Abwasser

Warum wird dieser Zusammenhang noch bestritten?

Prof. Dr.-Ing. Johannes Weinig

Zusammenfassung

Aus undichten Abwasserleitungen exfiltriert Abwasser. Der umgebende Boden und Untergrund kolmatiert nicht. Abwasserinhaltsstoffe sickern in den Untergrund, organische Bestandteile werden teilweise abgebaut. Teilweise werden Stoffe im Kornggefüge des Untergrundes sorbiert. Bei hydraulischen Stößen (Regenereignissen) können diese durchsickern und so in das Grundwasser gelangen. Vom Menschen verwendete schwer oder nicht abbaubare Stoffe, wie Arzneimittel, Hormone oder Koffein werden im Grundwasser nachgewiesen. Ein aktueller Forschungsbericht zeigt, dass z.B. die Nitratabbauleistung im Boden abnimmt. Undichte Abwasserleitungen sind Eintragspfad für diese Stoffe. Mit einer Prüfung und gegebenenfalls Sanierung undichter Abwasserleitungen können diffuse Kontaminationen des Bodens und Grundwassers vermieden werden. Der Besorgnisgrundsatz nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG) besagt, dass Maßnahmen nur dann zulässig sind, wenn es nach menschlicher Erfahrung unwahrscheinlich ist, dass hierdurch nachteilige Veränderungen eines Gewässers eintreten können. Durch eine undichte Abwasserleitung kann Ammonium/ Nitrat, Arzneimittelreststoffe oder anderes ins Grundwasser verschleppt werden.

1. Einleitung und Problem

Ein lang bekanntes Problem ist die Anreicherung des Grundwassers durch Nitrat infolge Überdüngung. Das Problem ist nicht irgendwann und irgendwie weg. In einer aktuellen Untersuchung des DVGW und Wasserversorgungsunternehmen werden in der Hälfte der untersuchten Gebiete hohe Nitratkonzentrationen im Grundwasser gefunden, in zehn Prozent der Gebiete lag die Nitratkonzentration über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (50 mg/l) (Bergmann, A. u.a. 2014). (Bild 1)

In diesen Gebieten, mit mehr als 50 mg/l Nitrat, ist der Verzehr von Grundwasser nur nach technischen Maßnahmen möglich!

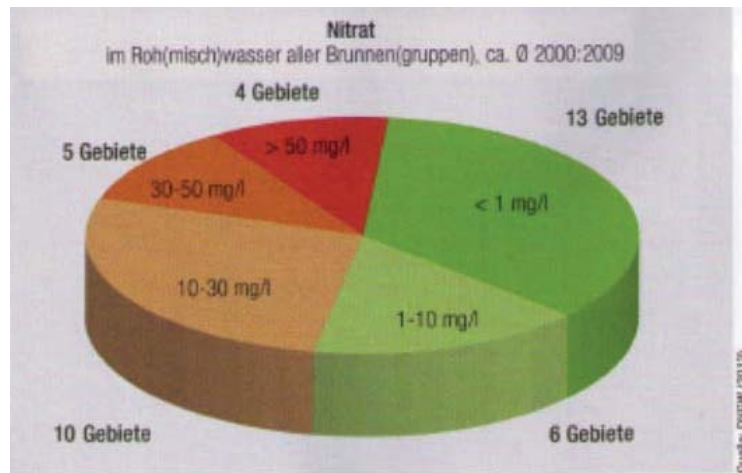


Bild 1: Statistische Verteilung der aktuellen Nitratkonzentrationen im Roh (-misch)- Wasser von 38 Brunnengruppen – nach A. Bergmann u.a.

Das wirkliche Problem besteht jedoch darin, dass die Nitrat-Abbauleistung in den untersuchten Gebieten nachlässt. In der Hälfte der untersuchten Gebiete wird über 80% des eingetragenen Nitrats im Grundwasserleiter abgebaut. Je ein Viertel der Untersuchungsgebiete weist mittlere (40 bis 80%) bzw. geringe (weniger als 40%) Nitrat-Abbauleistung auf. (Bild 2, A. Bergmann u.a., 2014).



Bild 2: Häufigkeitsverteilung der aktuellen Nitrat-Abbauleistung in 38 Untersuchungsgebieten – nach A. Bergmann u.a.

Allein der grundsätzlich gut abbaubare Stoff Nitrat bereitet gerade in der Langzeitwirkung Probleme. Für Nitrat und andere unerwünschte Stoffe gilt es die Eintragspfade zu versperren. Ein Eintragspfad sind undichte Abwasserleitungen.

Schadhafte Abwasserleitungen zu den folgenden Problemen führen:

- Fremdwasser tritt in die Kanalisation ein mit hydrologisch unerwünschten Wirkungen und den zusätzlichen Belastungen für das gesamte Entwässerungssystem bis zur kommunalen Abwasserbehandlungsanlage;
- Schmutzwasser tritt aus schadhafte Kanälen aus (Exfiltration), breitet sich im Untergrund aus und kann so in das Grundwasser gelangen;
- Undichte und schadhafte Abwasserleitungen beeinträchtigen die Standfestigkeit der baulichen Anlage und können günstige Milieubedingungen für Ratten oder andere Tiere bieten, die im Siedlungsgebiet unerwünscht sind.

Die öffentliche Kanalisation hat eine Gesamtlänge von 450.000 km, die Grundstücksentwässerungsleitungen insgesamt 900.000 km. Damit besteht eben gerade auch auf den privaten Grundstücken eine besondere Beachtung hinsichtlich der Kanaldichtheit.

Biologisch abbaubare Stoffe werden im Boden und Untergrund teilweise abgebaut, Arzneimittelreststoffe oder andere jedoch nicht. Es gilt auf jeden Fall

- eine bauliche, technische Anlage benötigt immer regelmäßige Wartung um die zugesicherten Eigenschaften erfüllen zu können;
- die Fremdwasserzuflüsse zu den kommunalen Kläranlagen sind erheblich. Das ist unstrittig. Es tritt also Fremdwasser infolge Undichtigkeiten in die Kanalisation ein;
- organische Abwasserinhaltsstoffe werden im Boden und Untergrund nur abgebaut, sofern sie überhaupt leicht abbaubar sind;
- durch vom Menschen hergestellte Stoffe, die für eine lange Resistenz gegen biologische Degradation konstruiert sind, wie z.B. Arzneimittel, werden über die gewöhnlichen Fließ- und Sickerzeiten bis in das Grundwasser nicht abgebaut und erscheinen im Grundwasser;

2. Untersuchung und Versuchsanordnung

Die Versickerungsfähigkeit verschiedener Böden wurde über die Zeit beobachten. Weiter wurde untersucht, ob schwer oder nicht abbaubare Stoffe in tiefere Bodenschichten verschleppt werden und unter welchen Bedingungen das geschieht. Es wurde auch gemessen, inwieweit biologisch gut abbaubare Stoffe im Boden und Untergrund tatsächlich in ihrer Konzentration verringert werden.

Für die Untersuchungen wurden Lysimeter im Kleinst-, Labor- und im halbtechnischen Maßstab mit rohem Abwasser aus dem Vorklärbecken einer kommunalen Kläranlage und mit destilliertem Wasser beschickt.

3. Versuchsergebnisse

Die Lysimeter wurden als Filter bzw. als Bioreaktoren betrachtet. In den Versuchen wurden jeweils die Sickergeschwindigkeiten der verschiedenen Böden gemessen.

Mit diesen lassen sich Überlegungen zu den entsprechenden theoretischen hydraulischen Verweilzeiten bzw. zu den Raumbelastungen anstellen.

3.1. Versickerungsgeschwindigkeiten

Die Versickerungsraten wurden im wassergesättigten Boden gemessen. In Bild 3 ist eine Messung der typischen Filtergeschwindigkeiten nach 50 cm, 100 cm und 150 cm dargestellt. Die Filtergeschwindigkeit nimmt in den tieferen Zonen des Lysimeter zu. Die Filtergeschwindigkeit nimmt über die Zeit ab. Das Ergebnis war zu erwarten.

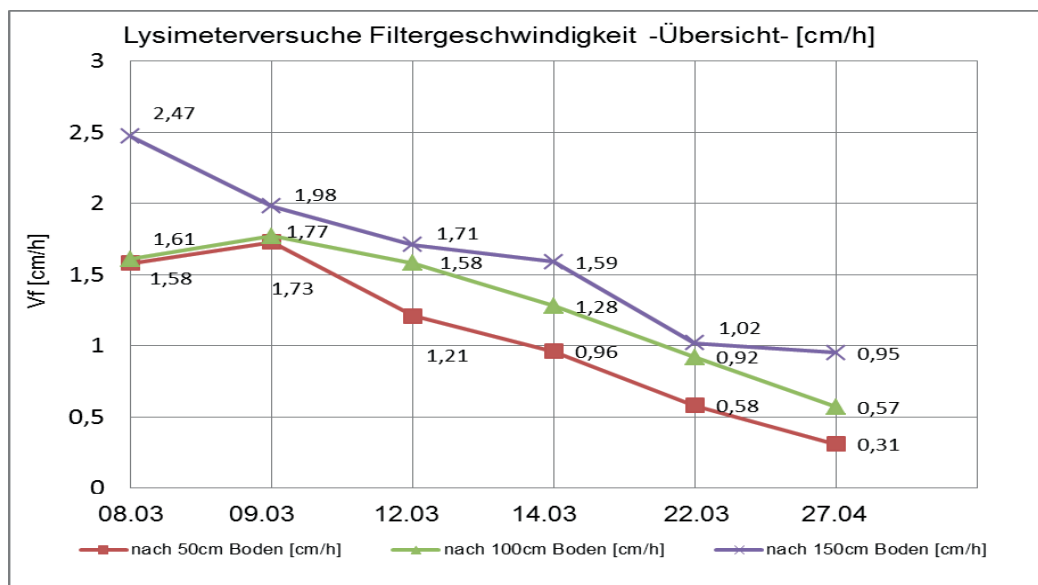


Bild 3: Filtergeschwindigkeit in cm/h der Lysimeter, schluffiger Sand, getrennt nach Sickerstrecke 50 cm, 100 cm und 150 cm; über die Zeit, mit Abwasser;

3.2. Biologischer Abbau

In Bodenkörpern spielen sich komplexe Vorgänge ab. Mit den begleitenden Messungen sollte überprüft werden, ob der gewählte Versuchsaufbau eine angemessene Näherung an natürlichen Verhältnissen ist. Es sei hier vorweggenommen, dem war so.

Nitrat und Ammonium: Die Ammonium- Konzentration im Rohabwasser ist niedrig (2 mg/l), die Nitrat-Konzentration hoch (10 bis 12 mg/l). Das ist untypisch für kommunales Abwasser und weist auf eine Nitrifikation des Rohwassers hin. Auf dem Sickerweg steigt die Ammonium- Konzentration an und fällt am Ende des Sickerweges wieder ab (Bild 4 und Bild 5)

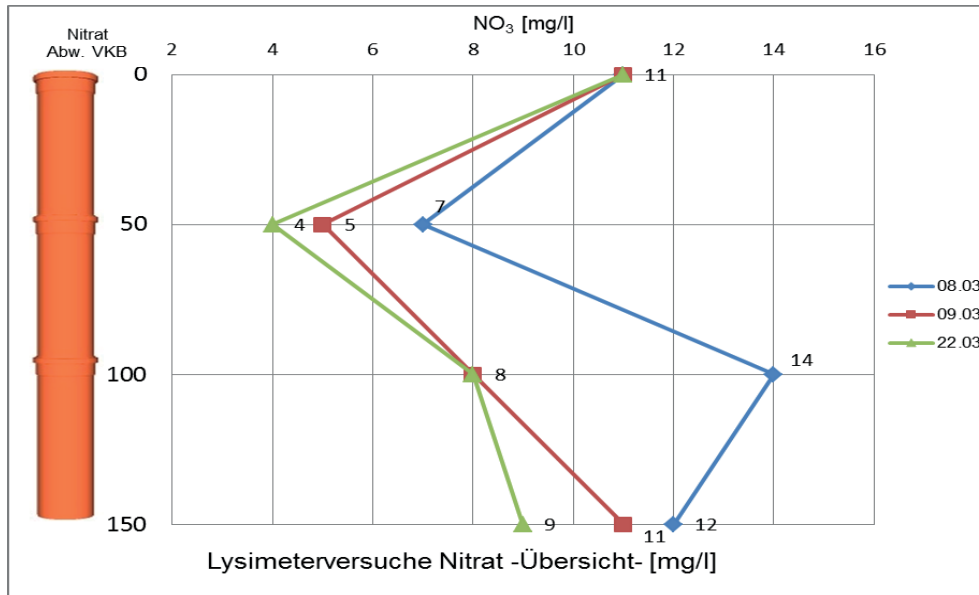


Bild 4: Nitrat in mg/l, im Abwasser, über die Sickerstrecke von 150 cm, verschiedene Versuche mit schluffigem Sand;

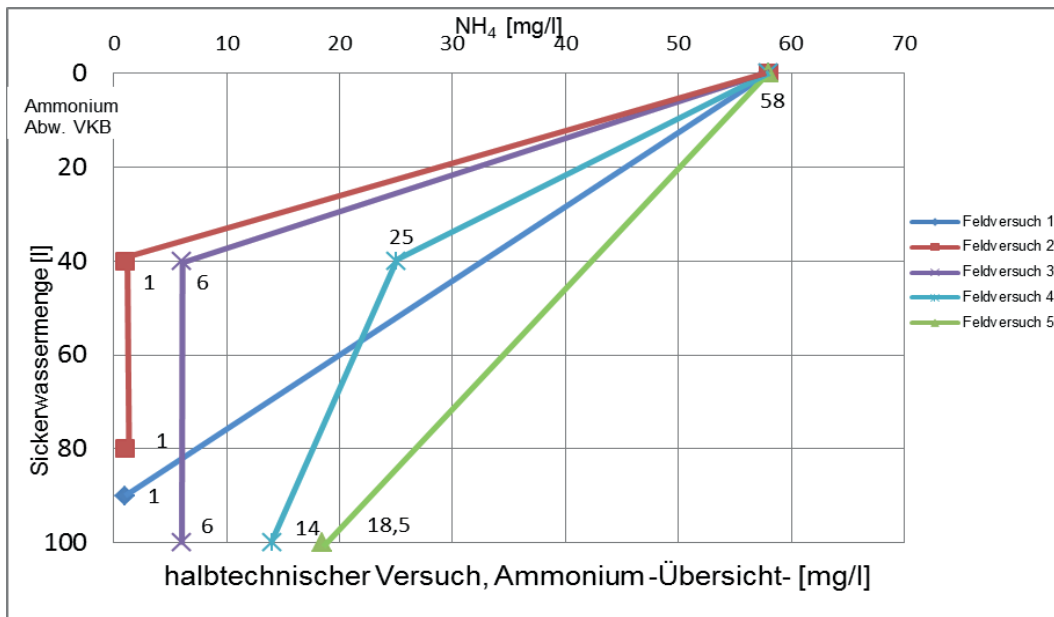


Bild 5: Ammonium in mg/l über die Sickerstrecke von 75 cm, halbtechnischer Versuch, über die Zeit, sandiger Kies, mit Abwasser;

CSB: In Bild 6 ist der CSB-Gehalt im Lysimeter mit schluffigem Sand dargestellt. Der CSB beträgt während der Versuchszeit 356 mg/l im Abwasser und verringert sich nach den ersten 50 cm auf 77 mg/l bis 169 mg/l. Nach weiteren 50 cm Sickerweg nimmt der CSB ab auf 119 mg/l bis 158 mg/l und nach insgesamt 150 cm Sickerstrecke erhöht sich die CSB-Konzentration wieder leicht auf 144 mg/l bis 154 mg/l.

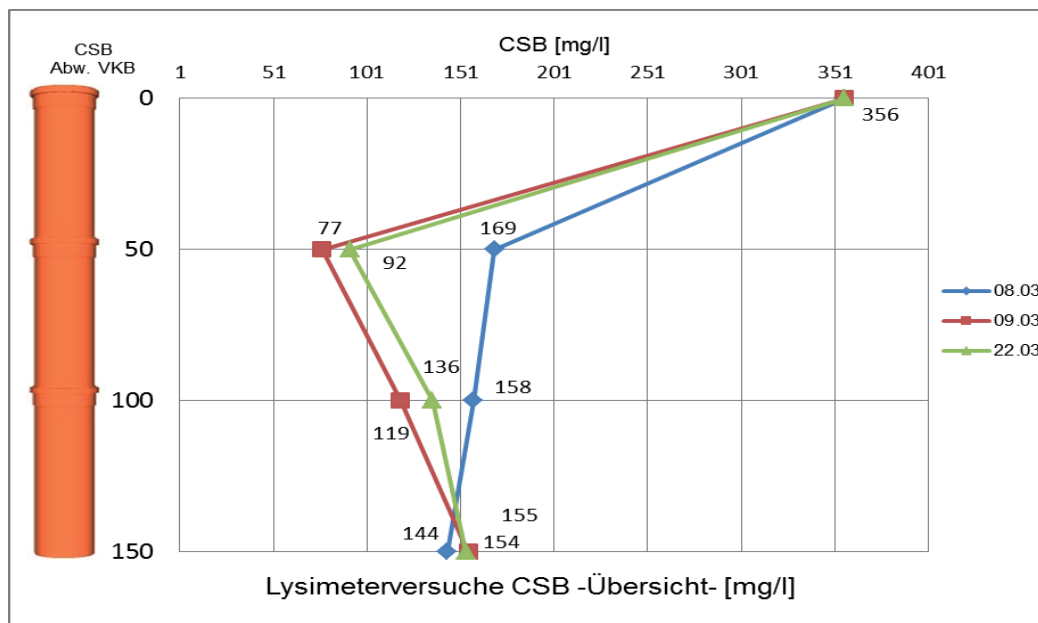


Bild 6: CSB in mg/l die Sickerstrecke von 150 cm, über die Zeit, schluffiger Sand, mit Abwasser

3.3.. Koliforme Keime

Die Untersuchungen der Keimreduktion zeigen, dass durch die Lysimeter über die Sickerstrecke eine Reduktion von koliformen Keimen stattfindet. Es wurde nachgewiesen, dass Escheria Coli Keime durch die Lysimeter je 50 cm um eine 10er Potenz reduziert werden. Das war auch zu erwarten. Damit bleiben nach 150 cm Sickerweg koliforme Keime in der Größenordnung zwischen 10^4 K/l bis 10^5 K/l.

Dieses Ergebnis wurde in vielen Versuchsanordnungen bestätigt. Interessant ist hierbei, dass immerhin noch 10^4 K/l bis 10^5 K/l nach der Sickerstrecke vorlagen. Eine Kontamination des Grundwassers ist so zu befürchten.

3.4. Durchsickern

Das Durchsickern von verschiedenen Abwasserinhaltsstoffen wurde bei allen Versuchsanordnungen nachgewiesen. Einmal sickern biologisch kaum oder nicht abbaubaren Stoffen durch, eventuell zeitlich verzögert. Zum anderen wurde bei simulierten Starkregenereignissen die Stoffe nach unten geschwemmt.

gleichmäßiger hydraulischer Belastung

In Bild 7 ist der Magnesiumgehalt über den Versuchszeitraum der einzelnen Lysimeter mit schluffigem Sand (50 cm, 100 cm, 150 cm) dargestellt. Der Magnesiumgehalt im Abwasser beträgt während des gesamten Versuchszeitraumes 24,1 mg/l. Nach

Durchsickern des Abwassers nach 50 cm Sickerweg erhöht sich der Magnesiumgehalt im Ablauf mit der Zeit stetig von anfangs 11,6 mg/l bis auf 45,1 mg/l am Ende der Versuchsreihe.

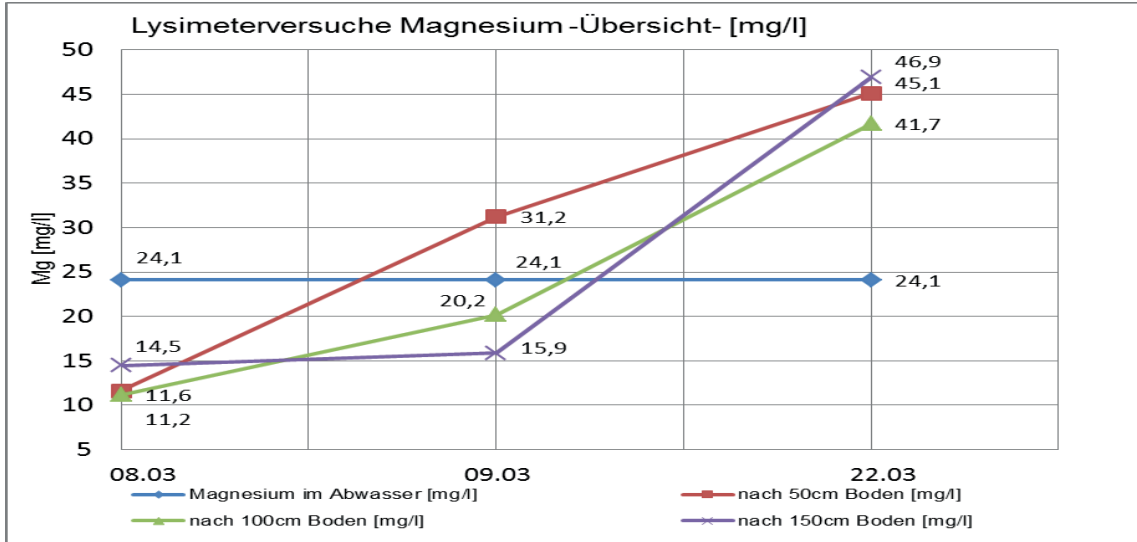


Bild 7: Magnesiumgehalt in mg/l, nach Sickerstrecke 50 cm, 100 cm und 150 cm, über die Zeit, schluffiger Sand, mit Abwasser;

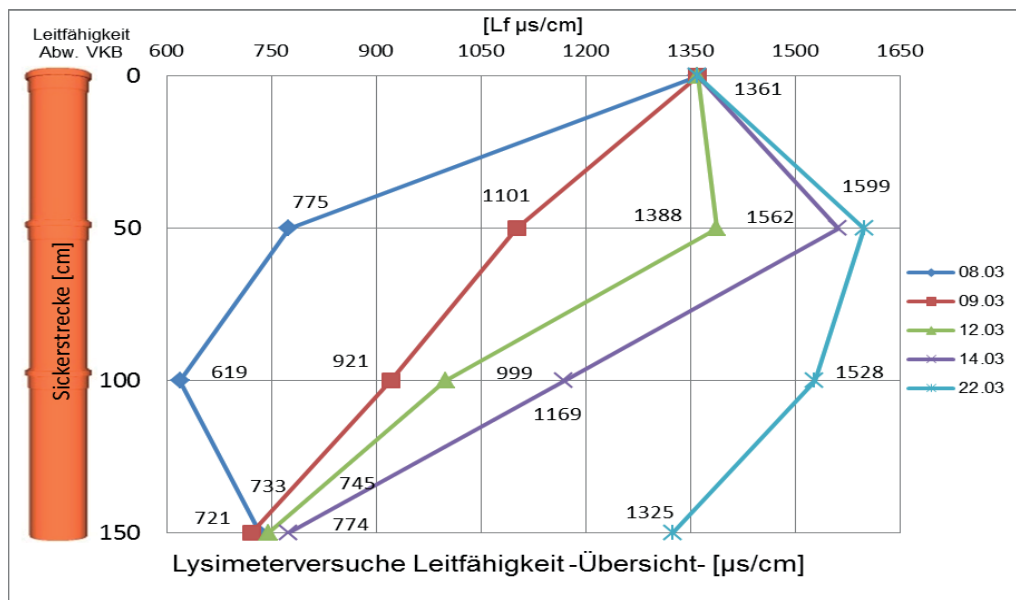


Bild 8: Leitfähigkeit in µs/cm über die Sickerstrecke von 150 cm an verschiedenen Versuchstagen, schluffiger Sand, Abwasser;

In Bild 8 ist die Leitfähigkeit in dem Versuchszeitraum über die Sickerstrecke von 150 cm im schluffigen Sand aufgetragen. Die Leitfähigkeit, als Summenparameter der Ionenkonzentration und damit der gelösten Salze, bestätigt die Beobachtung von Magnesium und Calcium. In den ersten Versuchen wird eine geringere Leitfähigkeit als im Rohabwasser gemessen. Am Ende der Versuchsreihe nimmt die Leitfähigkeit über die Sickerstrecke von 150 cm zu und übersteigt die Ausgangskonzentration des Abwassers.

hydraulische Peaks (Starkregenereignis)

In Bild 9 ist die **Filtergeschwindigkeit** der Lysimeter mit sandigem Kies bei verschiedenen Spülvorgängen mit demineralisiertem Wasser dargestellt. Während der ersten Spülung nach 50 cm Sickerstrecke beträgt die Filtergeschwindigkeit 95,12 cm/h, nach 100 cm und 150 cm Sickerweg steigt diese jedoch stetig auf 260 cm/h bzw. 300 cm/h an. Die weiteren Spülungen zeigen ein ähnliches Bild, die maximale Sickergeschwindigkeit liegt bei 325 cm/h.

Diese Messwerte zeigen, dass im ersten Segment des Lysimeters der Porenraum mit Feststoffen besetzt ist, der jedoch durch die Spülung freigespült wird.

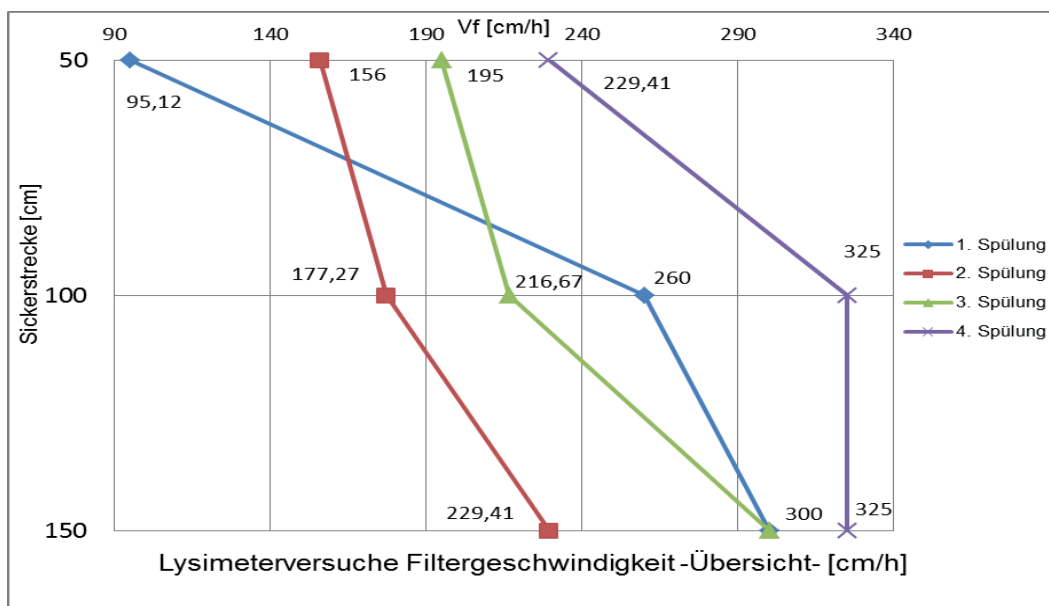


Bild 9: Filtergeschwindigkeit mit destilliertem Wasser cm/h, über die Sickerstrecke von 150 cm, sandiger Kies, vier aufeinanderfolgende Spülungen

In Bild 10 ist die Veränderung der **Leitfähigkeit** im Lysimeter mit sandigem Kies dargestellt. Die Leitfähigkeit im demineralisierten Wasser beträgt 20,26 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die größte Veränderung der Leitfähigkeit findet durch die erste Spülung statt, sie steigt nach 50 cm Sickerweg auf 681 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nach 100 cm Sickerweg auf 880 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und nach

150 cm (Ablauf des Lysimeters) auf 986 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Zunahme der Leitfähigkeit ist auch nach weiteren Spülungen deutlich.

Übertragen auf reale Bodenverhältnisse zeigt dieses Ergebnis, dass im Boden sorbierte oder im Korngefüge akkumulierte Salze – nicht abbaubare Stoffe- durch Regenereignisse aus dem Boden herausgespült werden.

Bei den Messungen von Calcium und Magnesium bestätigte sich, dass sorbierte Bestandteile im sandigen Kies auch durch ein simuliertes Starkregenereignis ausgespült werden.

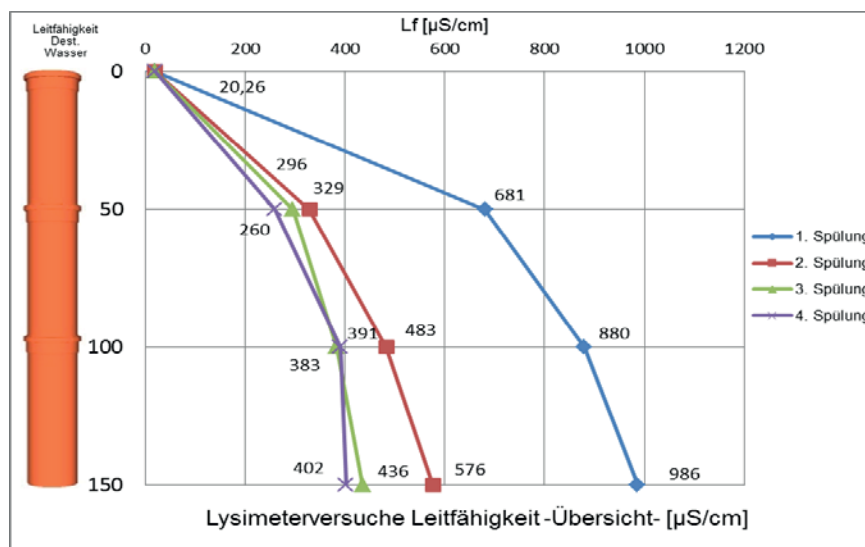


Bild 10: Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$ über die Sickerstrecke von 150 cm, sandiger Kies, mit destilliertem Wasser, vier aufeinanderfolgende Spülungen

In Bild 11 ist die Änderung des **Chemischen Sauerstoffbedarfs** (CSB) nach mehrfachem Spülen über die Sickerstrecke (sandiger Kies) von 150 cm angegeben. Der CSB im demineralisierten Wasser beträgt 2 mg/l. Nach 150 cm Sickerweg wird nach der 1. Spülung eine CSB Konzentration von 41 mg/l, nach der 2. Spülung von 30 mg/l, nach der 3. Spülung von 21 mg/l und nach der 4. Spülung von 12 mg/l.

In der Summe wurden mehr als 100 mg/l CSB (als Konzentration!) ausgewaschen. Pro Spülung wurde 1 Bettvolumen Wasser eingetragen. Demnach ist praktisch die gesamte eingetragene CSB-Fracht (!) wieder ausgespült worden.

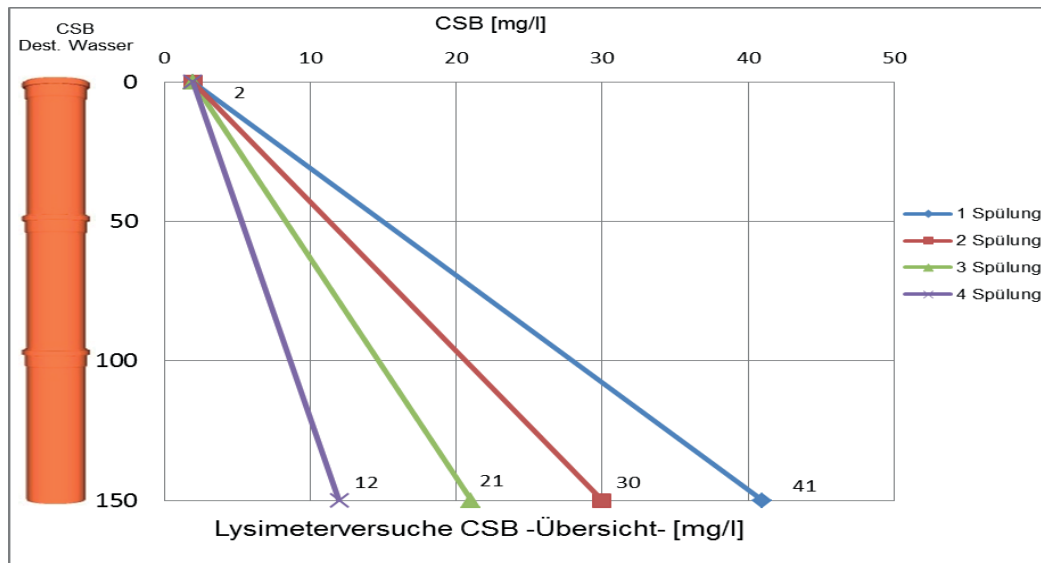


Bild 11: CSB im Lysimeter in mg/l über die Sickerstrecke von 150 cm, sandiger Kies, mit destilliertem Wasser, vier aufeinanderfolgenden Spülungen

4. Diskussion

Die im Abwasser enthaltenen Inhaltsstoffe werden durch Filtration des Bodens zurückgehalten, die ebenfalls im Abwasser gelösten Stoffe werden teilweise durch Sorption an die Bodenpartikel gebunden. Des Weiteren kommt es zu biologischen und chemischen Umbauprozessen, die auch von der Aufenthaltszeit im Boden abhängig sind. Durch diesen mikrobiellen Umbau der organischen Stoffe und andere Einflüsse werden andere Stoffe immobilisiert. Aber auch eine Remobilisierung und ein Weitertransport dieser gebundenen Stoffe sind möglich. Viele dieser Umbau- und Bindungsprozesse in der gesättigten und ungesättigten Bodenzone laufen neben- und nacheinander ab.

Der CSB- Konzentration reduziert sich über die Versuchszeit um ca. 75 %. Damit können auch CSB- bürftige Stoffe in das Grundwasser eingeschwenmt werden.

Während des Durchsickerns der 150 cm langen Sickerstrecke in dem schluffigen Sand mit Abwasser verringerte sich die Konzentration an E. coli Keimen je 50 cm Sickerweg um eine 10er Potenz.

Der pH-Wert lag stetig zwischen pH 7 und pH-Wert 8. Es lagen keine oder kaum pH-Wert-Schwankungen vor.

Bei den simulierten (Stark-) Regenereignisse verringerte sich der Filterwiderstand, die Versickerungsgeschwindigkeiten stiegen deutlich an. Mögliche Kolmationstendenzen werden durch hydraulische Stöße konterkariert. Die hydraulischen Stöße können hier als Gleichstrom-Filterspülung interpretiert werden.

Die mit demineralisiertem Wasser durchgeführten Spülvorgänge entsprechen nicht den Bedingungen eines tatsächlichen Regenereignisses. Tatsächlich können im Nie-

derschlagswasser weitere Stoffe gelöst vorliegen. Der pH-Wert kann in den sauren Bereich verschoben sein. So können Rückflösvorgänge im Boden auftreten, die das Durchsickern in den Untergrund beschleunigen.

Eine Kontamination des Grundwassers durch Abwasserversickerung ist so möglich. Die Ergebnisse zeigen, dass auch bei Filtergeschwindigkeit von 1 cm/h (entsprechend k_f - Werten von 10^{-5} bis 10^{-7} m/s) biologisch abbaubare Stoffe in das Grundwasser gelangen können. Die tatsächliche Verweilzeit reicht für einen vollständigen biologischen Abbau nicht aus. Biologisch schwer oder nicht abbaubare Stoffe werden durch Sorption zunächst zurückgehalten bevor sie in tiefere Bodenschichten gespült werden.

In den Versuchen wurde nachgewiesen, dass durch simulierte Regenereignisse eine Mobilisierung der sorbierten Stoffe und Partikel erfolgt. Im Boden sorbiertes Ammonium wird teilweise zu Nitrat nitrifiziert. Das Nitrat kann unverändert im Grundwasser erscheinen, wenn keine verfügbare Kohlenstoffquelle für die Denitrifikation vorliegt. Hier wäre wünschenswert – Ironie der Verfahrenstechnik- dass noch ausreichend BSB₅-bürtige Stoffe im Untergrund vorliegen.

5. Ausblick

Undichte Abwasserleitungen transportieren sauberes Grundwasser - hydrologisch unerwünscht – zur Kläranlage. Gleichzeitig kann das Abwasser mit seinen Inhaltsstoffen in den Boden und Untergrund austreten und dort bis in das Grundwasser gelangen. Neben organisch abbaubaren Stoffen und coliformen Keimen sind das auch schwer oder nicht abbaubare Stoffe wie Hormone oder Arzneimittelreststoffe.

Dieser Grundwasserkontamination aus diffusen Quellen kann nur wirksam verhindert werden, wenn die Abwasserleitungen regelmäßig auf ihre Dichtheit überprüft werden und gegebenenfalls die Leitungen saniert werden.

Die Kontamination der aquatischen Umwelt aus Kläranlagen Abläufen kann kein Argument sein, auf die Kanalzustandserfassung zu verzichten. Die Kläranlagen müssen zur Elimination schädlicher Stoffe nachgerüstet werden. Das ist ein anderes Thema.

Die Gewässerreinigung ist eine Umweltmaßnahme im Nahbereich. Sie nutzt den Bewohnern unmittelbar bis hin zur Trinkwassergewinnung. Eine Wettbewerbsverzerrung an den Bundesländergrenzen durch höhere Umweltstandards in einem Land ist hier nicht zu befürchten.

Der Besorgnisgrundsatz nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG) besagt, dass bestimmte Maßnahmen nur dann zulässig sind, wenn es nach menschlicher Erfahrung unwahrscheinlich ist, dass hierdurch nachteilige Veränderungen eines Gewässers eintreten können. Das heißt, alles muss unterlassen werden, was das Grundwasser gefährden kann. Weil: Wasser kann durch nichts ersetzt werden!

Literatur

ATV-DVWK-A 142, Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten, Hennef: ATV-DVWK, 2002.

DIN EN 1610, Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und-kanälen, Beuth, 1997.
Land Nordrhein- Westfalen, *Landeswassergesetz NRW*, 1995.

Bergmann, Axel u.a.: Konsequenzen nachlassenden Nitrat-Abbaus in Grundwasserleitern.
In: DVGW energie/ wasser-praxis. 65.Jhrg. Heft 02/2014

Heberer, Thomas: Identifizierung und Quantifizierung von Pestizidrückständen und Umweltkontaminanten in Grund- und Oberflächenwässern mittels Kapillargaschromatographie – Massenspektrometrie. Wissenschaft und Technik Verlag Berlin. 1995.

Hua, Jianmin: Transport- und Umsatzprozesse bei der Abwasserversickerung aus undichten Kanälen. Karlsruher Berichte zur Ingenieurbiologie. Heft 43. Universitätsverlag Karlsruhe. 2007

Joswig, Rainer: Fremdwasser- Praktische Probleme vor Ort. In: Tagungsband Symposium Fremdwasser – woher und wohin. Steinbeis-Transferzentrum Wasser- und Infrastruktur. Minden. 26. Oktober 2005.

Landesamt für Landwirtschaft und Geologie, Sachsen: Gefährliche Stoffe in Kläranlagen, Heft 5/2010

Struck, Jonas: Eintragspfad, Veränderung und Verbleib von Stoffen aus exfiltriertem Abwasser im Untergrund. Arbeit zur Erlangung des Grades Master of Engineering. Eingereicht am 23. 10.2012 an der FH Bielefeld.

Togler, R.: Exfiltration bestehender Grundstücksentwässerungsanlagen- Auswirkungen, Einflussgrößen, Mengenermittlung, neuartige Prüfmethode, praxisingerechte Empfehlungen. Diss. RWTH Aachen. Shaker Verlag. Aachen.2006.

Thoma, Robert: Auswirkungen undichter Grundleitungen mit häuslichem Abwasser auf den Boden und Grundwasser. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 64, Hamburg 2011.

Weinig, Johannes: Fremdwasser aus Wasserwirtschaftlicher Sicht. In: Tagungsband Symposium Fremdwasser – woher und wohin. Steinbeis-Transferzentrum Wasser- und Infrastruktur. Minden. 26. Oktober 2005.

Weinig, J. u. R. Joswig: Siedlungswasserwirtschaftliche Fingerübungen. für die Umsetzung der Kanaldichtheit nach § 61a des Landeswassergesetzes NRW. 05.Januar 2012

Weinig, J. u. R. Joswig: Fremdwasser – woher und wohin? Symposium an der Fachhochschule Bielefeld. KA Abwasser Abfall. 53.Jhrg. 2006. Nr. 6.

WHG, Bundesrepublik Deutschland, Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts - WHG, 2009.

Autor:

Prof. Dr.-Ing. Johannes Weinig
Campus Mindener Technologie Zentrum
Artilleriestr. 17
32427 Minden
johannes.weinig@campus-mtz.de