

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG,
Sitzung der Kommission II

Titel der Tagung:

Erd-Reich und Boden-Landschaften

Veranstalter:

DBG/BGS

Termin und Ort der Tagung:

24. – 29. August 2019, Bern

Berichte der DBG (nicht begutachtete online-Publikation), <http://www.dbges.de>

Klärschlammapplikation in Grundwasserschutzgebieten – ein kalkulierbares Risiko?

Wolf-Anno Bischoff¹, Andreas Schwarz¹ und Christoph Puschner²

Zusammenfassung

Im Einzugsgebiet eines Brunnens, das noch nicht als Wasserschutzgebiet ausgewiesen wurde, wird seit ca. 30 Jahren Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ausgebracht. Klärschlamm ist einerseits ein Bodenverbesserer und Nährstofflieferant, andererseits aber auch Träger einer Vielzahl von unterschiedlichen Schadstoffen. Daher wurde in dieser Studie durch Literaturrecherchen, Modellierungen und Messungen untersucht, ob und in welcher Höhe von der Klärschlammausbringung lokal eine Gefahr für das Grundwasser ausgeht.

Während der 7-jährigen Messungen im Sickerwasser in 1 m Tiefe wurde insbesondere für Blei (Pb), Benzo[a]pyren und den Summenparameter PAK eine Gefährdung der Grundwasserqualität festgestellt. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Modellierungen. Zu einer verstärkten Mobilität dürften beigetragen haben: die Adsorption der Schadstoffe an (z.T. leicht lösliche) orga-

nische Substanz; strukturreiche, pfluglos bearbeitete Böden mit einem erhöhten Risiko für preferential flow sowie die Ausbringung im Spätsommer, teilweise in Phasen mit Gewittern und Starkregenereignissen. In Übereinstimmung mit den Modellierungen waren auch Standorte auf Flugsand (niedriger pH-Wert, geringer Humusgehalt) auswaschungsgefährdet.

Durch die Klärschlammausbringung wird daher die Grundwasserqualität beeinträchtigt, lokal werden in einzelnen Jahren im Sickerwasser Grenzwerte nach TrinkwV (2018) überschritten. Aufgrund von Verdünnungseffekten ist mit keiner Grenzwertüberschreitung im Grundwasser zu rechnen.

Um die negative Beeinträchtigung des Grundwassers zu reduzieren, empfehlen wir, auf gefährdeten Standorten auf eine Ausbringung von Klärschlamm zu verzichten. Die Klärschlammapplikation sollte im Frühjahr und nicht mehr im Spätsommer erfolgen.

Aufgrund einer Novelle der AbfKlärV (2017) ist die Ausbringung von Klärschlämmen in Wasserschutzgebieten grundsätzlich verboten. Nach einer erfolgreichen Ausweisung des Einzugsgebietes als WSG muss die Klärschlammausbringung daher beendet werden.

Schlüsselworte

Grundwasserschutz, Klärschlamm, Schadstoffe, Sickerwasserprognose, Selbstintegrierende Akkumulatoren, SIA, preferential flow, leaching, Schadstoffauswaschung

Einführung

Klärschlamm ist sowohl ein Bodenverbesserer und Nährstofflieferant als auch Träger einer Vielzahl von unterschiedlichen Schadstoffen (Walper, 2009). Beide Stoffgruppen werden vom Abwasser angeliefert, teilweise abgebaut und im Klärschlamm gegenüber dem Klärwasser angereichert. Dadurch ergibt sich ein Spannungsfeld zwischen der Düngewirkung und möglichen Schadstoffeinträgen bei einer Klärschlammausbringung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.

¹ Gutachterbüro TerraAquat,
Schellingstr. 43, 72622 Nürtingen,
e-mail: w.bischoff@terraquat.com

² Zweckverband Gruppenwasserwerk Dieburg, Außerhalb 2 Hergershausen, 64832 Babenhausen, www.zvg-dieburg.de

Durch die fachlich gebotene Erweiterung eines Wasserschutzgebietes (WSG) des Zweckverbandes Gruppenwasserwerk Dieburg (ZVG) in Südhessen werden landwirtschaftliche Flächen, auf denen seit ca. 1980 Klärschlamm ausgebracht wird, Teil des Schutzgebiets.

Wenn die bisherige Praxis fortgesetzt wird, können durch die Schadstoffeinträge das Grundwasser und damit auch das Rohwasser in den Brunnen des ZVG mit Schadstoffen belastet werden. Eventuell werden Grenzwerte der TrinkwV (2018) überschritten. Ein Verbot der Klärschlammausbringung im ausgewiesenen WSG hätte nach der Rechtslage bis 2017 mit den Landwirten in Kooperationsverträgen festgelegt und mit Ausgleichszahlungen kompensiert werden müssen. Dies gilt nach der aktuellen Fassung der AbfKlärV (2017) auch, solange das erweiterte WSG noch nicht ausgewiesen ist.

Der ZVG muss daher abwägen, ob die Grundwasserqualität in einem Maße beeinträchtigt wird, das ein Verbot und in der Folge hohe Ausgleichszahlungen begründet.

Ziel der Studie war es, festzustellen, ob und in welcher Höhe von der Klärschlammausbringung lokal eine Gefahr für das Grundwasser ausgeht.

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet und Standorte

Im gesamten Untersuchungsgebiet am nördlichen Rand des Odenwalds liegen Löss und Flugsand in wechselnder Mächtigkeit über Gneisen und Graniten, die als Anstehendes folgen und meist von einer mehrere Dezimeter mächtigen Verwitterungszone überdeckt sind.

Auf den Ackerflächen wird seit Anfang der Neunziger Jahre regelmäßig alle drei Jahre Klärschlamm appliziert. Es werden Hackfrüchte, Getreide und Ölfrüchte angebaut. Die Bearbeitung erfolgt seit einigen Jahrzehnten pfluglos.

Bewertungsgrundlagen

Die Bewertung erfolgte aufgrund der im Grundwasser zu erwartenden Schadstoffkonzentrationen v.a. anhand der TrinkwV

(2018) und der BBodSchV (2017) sowie bei nicht geregelten Stoffen auf Basis weiterer Untersuchungen.

Generelles Vorgehen

Um einerseits Zeit und Kosten zu sparen, andererseits die potenziell relevanten Schadstoffe trotzdem umfassend bewerten zu können, wurde ein mehrstufiges Vorgehen gewählt. Zunächst wurde mit Hilfe von einfach zu erhebenden bzw. vorliegenden Daten eine worst-case-Abschätzung getroffen. Die Datenerhebung für die folgenden Stufen war zunehmend aufwändiger/teurer, die Rückschlüsse wurden realitätsnäher. Stoffe, für die eine Prüf- bzw. Grenzwertüberschreitung ausgeschlossen werden konnte, wurden nicht weiterverfolgt. Andernfalls folgte eine detailliertere Betrachtung.

Einzelne Methoden

Material und Methoden für die einzelnen Stufen werden gemeinsam mit den Ergebnissen und Schlussfolgerungen in *Tabelle 1* dargestellt. Im Folgenden werden nur solche Methoden erläutert, die in der Tabelle nicht selbsterklärend sind.

Farbtracerversuche mit Brilliant Blue (Brilliantblau FCF) wurden durchgeführt, um das Risiko für Stofftransport in bevorzugten Fließwegen (präferenzialer Fluss) abzuschätzen. Dazu wurde an fünf typischen Standorten ein Starkniederschlagsereignis mit 30 mm in 0,5 h simuliert. Anschließend wurden in 4 Tiefen auf 0,8 x 0,8 m² horizontale Schnitte angefertigt, fotografiert und quantitativ ausgewertet.

Die **Sickerwasserprognose** wurde mit zwei Modellen durchgeführt. **SIWA-SP** wird derzeit als standardisiertes Tool für die Orientierende Untersuchung nach BBodSchV entwickelt (Bischoff et al., 2013) und benötigt nur einfach zu ermittelnde Input-Parameter. **ALTEX-1D** (2010) dient der Detailuntersuchung nach BBodSchV und benötigt detailliertere standortkundliche Daten.

Mit **Selbst-Integrierenden Akkumulatoren (SIA)**, Bischoff, 2009) wurden Schadstoffausträge mit dem Sickerwasser unterhalb der

Wurzelzone gemessen. In sechs Messperioden zwischen 2012/13 und 2017/18 wurde die Schadstoffauswaschung in einjährigen Messperioden in 1 m Tiefe gemessen. Jährlich wechselnd wurden jeweils fünf Standorte mit Klärschlammausbringung (Messung

meist direkt im Anschluss an die Ausbringung) sowie ein Referenzstandort mit Wirtschaftsdünger einbezogen. Durch die Rotation der Messflächen konnten alle relevanten Standortseinheiten einbezogen werden.

Tabelle 1: Vorgehen und Ergebnisse beim schrittweisen Eingrenzen der relevanten Schadstoffe.

Material & Methoden	Ergebnisse	Schlussfolgerungen
Screening 1: Literatur & vorhandene Klärschlamm-daten auswerten	Ca. 190 potenziell relevante Inhaltsstoffe und Eigenschaften des Klärschlamm	Untersuchung der wichtigsten lokalen Klärschlämme nötig
Screening 2: Untersuchungen an lokalen Klärschlämmen	41 Schadstoffe, keine Überschreitung der Grenzwerte der aktuellen AbfKlärV, (2 Überschreitungen)	Für alle 41 Schadstoffe: Lokales Umweltverhalten aufgrund von Standortseigenschaften, Mobilität und Persistenz untersuchen
Standortseigenschaften 1: Geologie aus Karten und Bohrungen; Kartierung der Ober- und Unterböden; Messung von C _{org} , pH, Textur	Bruchschollen aus Granit und Buntsandstein großteils unter Löss(lehm) (pH > 6,5) oder sandige (– tonige) Talverfüllungen (pH 4 – 6,5)	Entscheidung über relevante Standortseinheiten: Löss, Lösslehme, lehmige Kolluvien, Granitzersatz, Flugsande, Außenböden (<i>Abbildung 2</i>)
Standortseigenschaften 2: Brilliant Blue-Versuche zu preferential flow auf 5 Standorten (<i>Abbildung 1</i>)	Bis ca. 1 m Tiefe Transport gut sichtbar durch No-Till und Regenwurmgänge	Bei Sorption und Abbau zu berücksichtigen, v.a. auennah, kritischer Transportweg für KW, PAK
Schadstoffbelastung lokal: Gesamtgehalte und 2:1-Bodenextrakte als verfügbarer Anteil	Nur sehr wenige Schadstoffe (11) im Boden nach 30 Jahren Klärschlammaufbringung relevant	Voreingrenzung auf Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Sb, As, KW, PAK; Gefährdung abschätzen und messen
Risikoabschätzung mit zwei Modellen: SIWA-SP* – qualitativ ALTEX-1D – quantitativ (* vgl. Bischoff et al., 2013)	<u>Prüf- und Grenzwertüberschreitungen möglich</u> (worst-case): von Ni, As, KW auf allen Standorten, von Zn, Cu (Pb, Cd, Hg) auf Flugsand, von Sb auf Granit	Resultate SIWA-SP, ALTEX-1D ähnlich (<i>Abbildung 3</i>); Eingrenzung: Problematische Stoffe + PAK ⇒ lokales Monitoring von 7 Schadstoffen
Schadstoffmobilität lokal: Messung der Sickerwasserfrachten mit Selbst-Integrierenden Akkumulatoren (SIA)	Jährliche Messung der Schadstoffverluste mit dem Sickerwasser in 1 m Tiefe in 6 Messperioden auf jeweils 6 Schlägen (5 Praxisflächen mit Klärschlamm und 1 Referenz ohne Klärschlamm)	Risiko v.a. durch Pb und PAK (<i>Abbildung 4, Abbildung 7</i>); Risiko v.a. auf gut strukturierten Böden (Aue, Lösslehm, Kolluvisol, <i>Abbildung 8, Abbildung 10</i>) und auf Flugsand (<i>Abbildung 10</i>) Erhöhung des Auswaschungsrisikos durch pfluglose Bodenbearbeitung

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der schrittweisen Bewertung und Eingrenzung der Schadstoffe können *Tabelle 1* entnommen werden.

Präferenzialer Stofftransport

Ein simuliertes Starkregenereignis, wie es durchschnittlich etwa einmal jährlich auftritt, führte auf drei der fünf Standorte zu präferenzialem Fluss, der in mehr als einen Meter Tiefe reichte (*Abbildung 1*). Aufgrund der pfluglosen Bodenbearbeitung auf den Untersuchungsflächen stehen weitaus mehr durchgehende Fließpfade zur Verfügung als auf regelmäßig gepflegten Standorten.

Tritt ein solches Starkniederschlagsereignis kurz nach der Ausbringung von Klärschlamm auf, können damit Schadstoffe in die Tiefe transportiert werden. Dies kann insbesondere für organische Schadstoffe einen wichtigen Transportpfad darstellen, die bei Matrixfluss durch Sorption an der organischen Substanz im Oberboden immobil sind. Das Auswaschungsrisiko in das Grundwasser für PAK und Kohlenwasserstoffe beruht ausschließlich auf diesem Transportpfad.

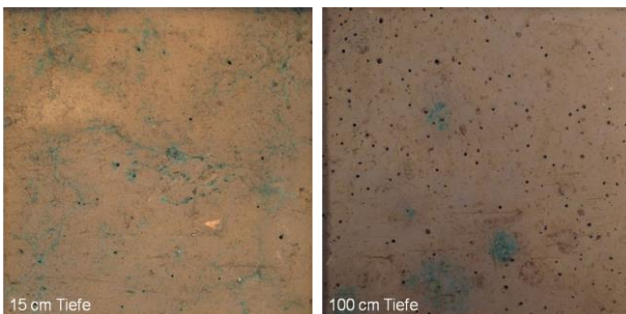


Abbildung 1: Tiefenprofil aus horizontalen Schnitten nach einem Starkregenereignis von 30 mm (Lösslehm, Hangfuß, jeweils 80 cm x 80 cm).

Standortseinheiten

Auf den Flächen mit Klärschlammausbringung dominieren verschiedene Einheiten aus Löss (*Abbildung 2*).

V.a. im Süden steht Granit in weniger als 1 m Tiefe an. Auf diesen Standorten sind aufgrund einer geogenen Belastung – unabhängig von der Klärschlammausbringung – Arsen und Antimon angereichert.

Die mächtigen Flugsandauflagen im westlichen Untersuchungsgebiet stellen aufgrund ihrer niedrigen pH-Werte ein hohes Verlagerungsrisiko für Schwermetalle dar.

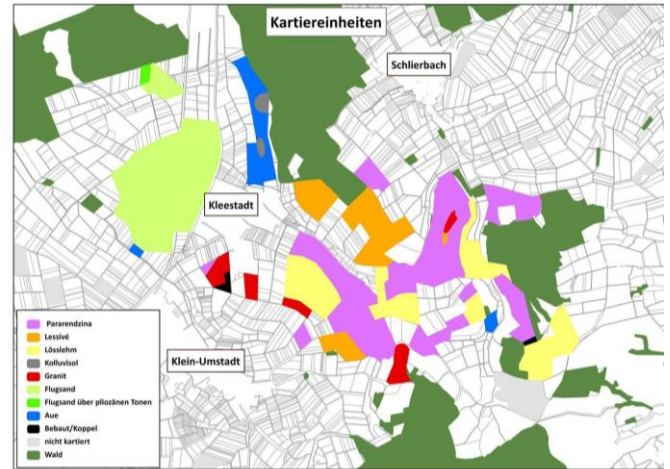


Abbildung 2: Verteilung der Standortseinheiten (nur Flächen mit Klärschlamm).

Sickerwasserprognose

SIWA-SP wird im Rahmen der Orientierenden Untersuchung eingesetzt und soll qualitativ bewerten, ob eine Detailuntersuchung notwendig ist. Diese ist mit Hilfe zusätzlicher Daten z.B. mit ALTEX-1D quantitativ durchgeführt. Daher bewertet SIWA-SP konservativer als ALTEX-1D, weshalb mit SIWA-SP in mehr Einzelfällen ein Auswaschungsrisiko prognostiziert wird (*Abbildung 3*).

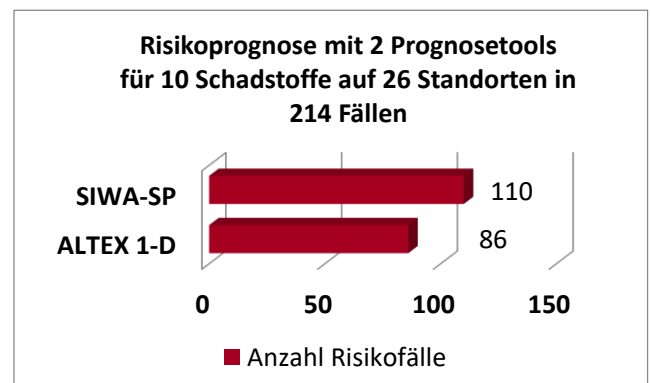


Abbildung 3: Prognose zur Belastung des Sickerwassers in 1 m bzw. 2 m Tiefe mit Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Sb, As, KW. Dargestellt sind die Fälle, in denen die Konzentrationen den Grenzwert der TrinkwV (2018) überschreiten.

Die deutlichsten Abweichungen bestehen in der Bewertung der Mobilität von Antimon (Sb) in 9 von 10 untersuchten Fällen und der Kohlenwasserstoffe (KW) in 7 von 32 Fällen.

Auswaschung der Schadstoffe aus dem Wurzelraum in das Grundwasser: nach Schadstoffen

Um bewerten zu können, welche Schadstoffe aus Sicht des Grundwasserschutzes kritisch sind, wurde für jeden untersuchten Schadstoff der Mittelwert über alle Schläge und Untersuchungsjahre gebildet. Damit kann bewertet werden, ob ein Risiko besteht, dass im geförderten Rohwasser im Mittel das Risiko für ein Grenzwert nach TrinkwV (2018) bzw. ein Prüfwert nach BBodSchV (2017) überschritten wird.

Für die kationischen Schwermetalle Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni) und Zink (Zn) wurden der Grenzwert nach TrinkwV (2018) bzw. der Prüfwert nach BBodSchV (2017) deutlich unterschritten (*Abbildung 4*). Zudem unterschieden sich die Konzentrationen unter den Schlägen mit Klärschlammausbringung nicht von denjenigen mit Wirtschaftsdünger.

Für Blei lag die mittlere Konzentration unter Flächen mit Klärschlamm in 1 m Tiefe mit 11 µg/L knapp über dem Grenzwert nach TrinkwV (2018, *Abbildung 4*), für einzelne Schläge wurden bis zu 45 µg/L gemessen (nicht dargestellt). Die Referenzflächen lagen hingegen mit 5 µg/L deutlich unter dem Grenzwert.

Die Pb-Auswaschung war höher als anhand der Simulationen und der aufgrund der physikochemischen Eigenschaften erwarteten Mobilität angenommen. Ursache dürfte das Zusammenspiel mehrerer Faktoren sein: Blei ist im Klärschlamm bereits überwiegend in organischen Komplexen gebunden und damit leichter mobilisierbar als bei anorganischen Bindungsformen (Dizer et al., 2002, Sherene, 2009). Die pfluglose Bodenbearbeitung unterstützt den schnellen Transport in bevorzugten Fließwegen (preferential flow). Insbesondere bei Starkregenereignissen direkt nach der Ausbringung des Klärschlammes

kann daher organisch komplexiertes Blei rasch ausgewaschen werden.

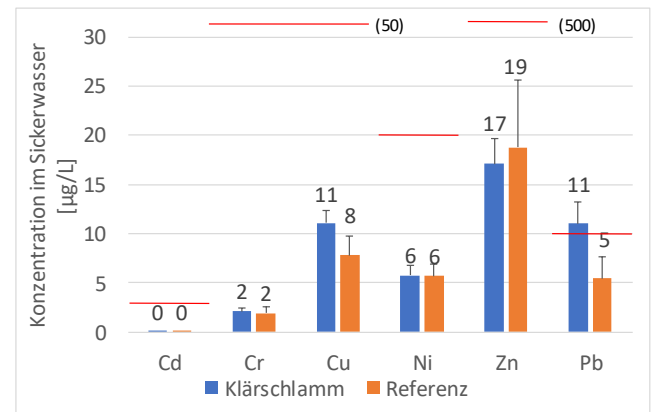


Abbildung 4: Mittlere Belastung des neugebildeten Grundwassers mit kationischen Schwermetallen. Die roten Linien stellen den Grenzwert nach TrinkwV (2018) (Cd, Cr, Ni, Pb) bzw. den Prüfwert nach BBodSchV (2017) (Cu, Zn) dar, die Fehlerbalken den Standardfehler (Klärschlamm: n = 30; Referenz: n = 6).

Die beiden untersuchten als Oxyanionen vorliegenden Spurenstoffe lagen mit 5 (Arsen, As) bzw. 0 µg/L (Antimon, Sb) unter dem Grenzwert nach TrinkwV (2018, *Abbildung 5*). Die Arsenkonzentration lag bei Verwendung von Klärschlamm mehr als doppelt so hoch wie bei Verwendung von Wirtschaftsdünger.

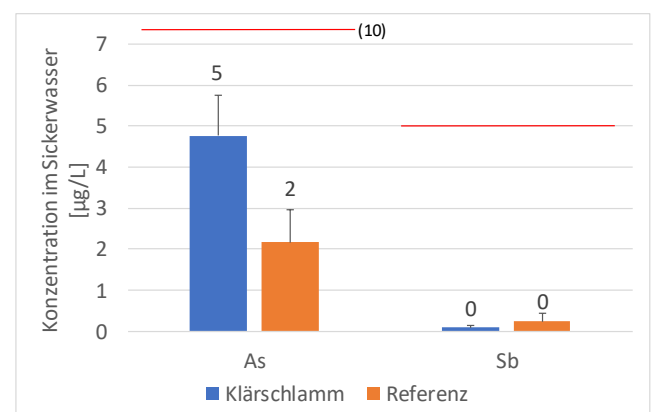


Abbildung 5: Mittlere Belastung des neugebildeten Grundwassers mit Oxyanionen. Die roten Linien stellen den Grenzwert nach TrinkwV (2018) dar, die Fehlerbalken den Standardfehler (Klärschlamm: n = 30; Referenz: n = 6).

Die As-Belastung stammt jedoch nicht primär aus dem Klärschlamm, sondern überwiegend

aus granitischem Ausgangsmaterial und ist daher geogenen Ursprungs (Abbildung 9). Da im Laufe der Untersuchungen keine Referenzfläche auf deutlich granitisch beeinflussten Schlägen lag, wurde die geogene Belastung in den Referenzmessungen nicht erfasst.

Für den Summenparameter Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) lag die Konzentration im Sickerwasser im ersten Untersuchungsjahr sowohl für einen Flugsand- als auch für einen kolluvialen Standort unter $1 \mu\text{g/L}$ und damit deutlich unter dem Grenzwert nach TrinkwV (2018) von $10 \mu\text{g/L}$ (Abbildung 6). Da die MKW-Auswaschung im zweiten Untersuchungsjahr mit maximal $0,6 \mu\text{g/L}$ ebenfalls deutlich unter dem Grenzwert lag, wurde dieser Parameter in den Folgejahren nicht mehr untersucht (nicht dargestellt).

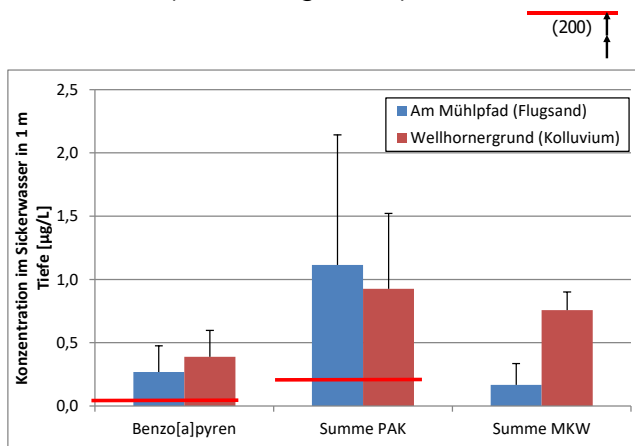


Abbildung 6: Belastung des neugebildeten Grundwassers mit organischen Schadstoffen im ersten Untersuchungsjahr 2013/14. Die roten Linien stellen den Grenzwert nach TrinkwV (2018) (Benzo[a]pyren, PAK) bzw. den Prüfwert nach BBodSchV (2017) (MKW) dar, die Fehlerbalken den Standardfehler der Einzelmessungen ($n = 10$).

Für die Summe polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) und dem Einzelparameter Benzo[a]pyren lag die mittlere Konzentration im Sickerwasser für die Klärschlammschläge um das 2,4- bis 5-fache über dem TrinkwV-Grenzwert (2018, Abbildung 7).

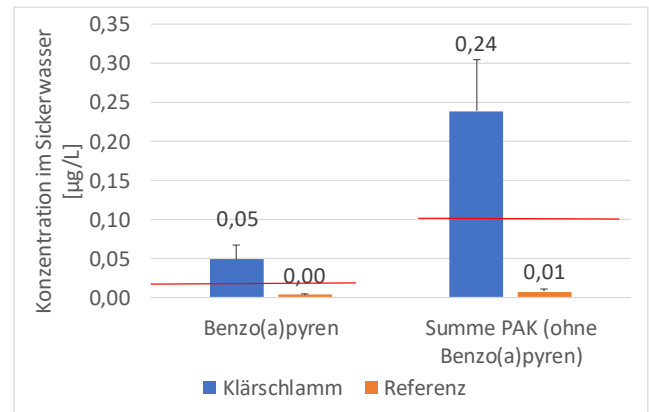


Abbildung 7: Mittlere Belastung des neugebildeten Grundwassers mit PAK. Die roten Linien stellen den Grenzwert nach TrinkwV (2018) dar, die Fehlerbalken den Standardfehler ($n = 10$).

Auswaschung der Schadstoffe aus dem Wurzelraum in das Grundwasser: nach Standorteinheiten

Die Pb-Auswaschung war unter Kolluvisol, Parabraunerden aus Löss und Auenböden sowie aus Braunerden aus Lösslehm am höchsten. Dies zeigt, dass insbesondere in gut strukturierten Böden, die bei pflugloser Bodenbearbeitung die Bildung von preferential flow begünstigen, eine erhöhte Pb-Auswaschung auftrat.

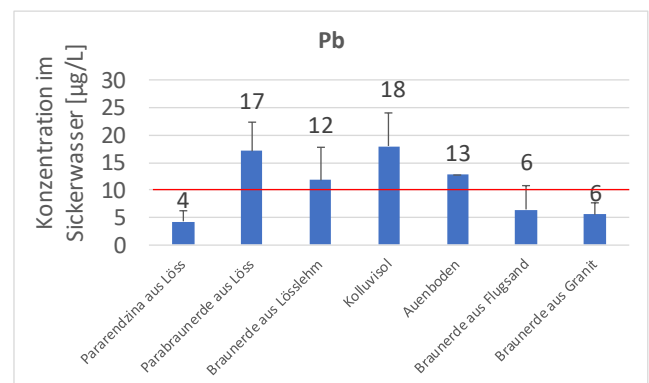


Abbildung 8: Mittlere Belastung des neugebildeten Grundwassers mit Blei nach Standorteinheiten. Die rote Linie stellt den Grenzwert nach TrinkwV (2018) dar, die Fehlerbalken den Standardfehler ($n = 30$).

Für Arsen wurde für die Standorteinheit „Braunerde aus Granit“ im Mittel der Grenzwert nach TrinkwV (2018) mit $10 \mu\text{g/L}$ erreicht. Auch weitere Standorteinheiten, in die granitisches Material eingearbeitet sein kann

(z.B. Auenböden, Kolluvisol) wiesen im Vergleich zu unbeeinflussten Standorten aus Ausgangslöss oder Flugsand erhöhte As-Konzentrationen auf (Abbildung 9).

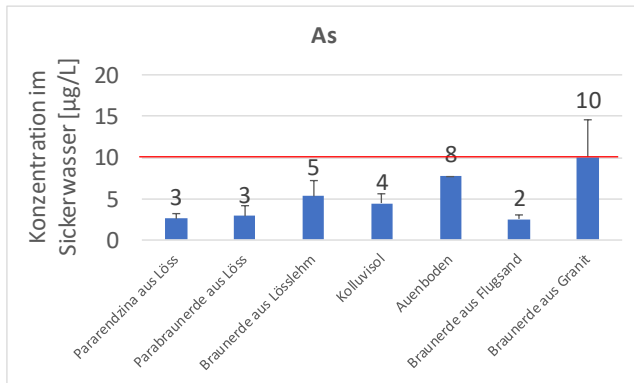


Abbildung 9: Mittlere Belastung des neugebildeten Grundwassers mit Arsen nach Standorteinheiten. Die rote Linie stellt den Grenzwert nach TrinkwV (2018) und den Prüfwert nach BBodSchV (2017) dar, die Fehlerbalken den Standardfehler ($n = 30$).

Die Summe der PAK war unter Braunerde aus Flugsand stark erhöht und lag um Faktor 8 über dem Grenzwert nach TrinkwV (2018, Abbildung 10). Insbesondere eine hohe Wasserleitfähigkeit und ein geringer Humusgehalt dürften für die geringe Filterwirkung verantwortlich sein (vgl. Modellierung, s.o.). Der Grenzwert wurde ebenfalls für Standorte überschritten, auf denen aufgrund der guten Strukturierung preferential flow zu erwarten ist (Auenböden, Kolluvisol).

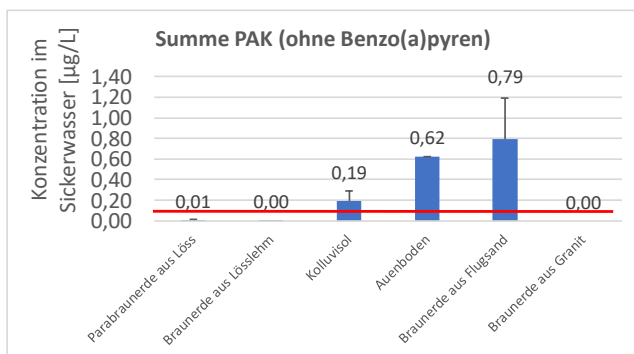


Abbildung 10: Mittlere Belastung des neugebildeten Grundwassers mit PAK nach Standorteinheiten. Die rote Linie stellt den Grenzwert nach TrinkwV (2018) dar, die Fehlerbalken den Standardfehler ($n = 10$).

Schlussfolgerungen und Ausblick

Nach einer schrittweisen Einengung der relevanten Schadstoffe wurde für 11 der anfänglich ca. 190 Schadstoffe und Schadstoffgruppen die Auswaschung gemessen. Die 7-jährige Messkampagne mit insgesamt 30 Messperioden auf Klärschlammflächen und 6 Messperioden auf Schlägen mit Wirtschaftsdünger ergab für **Blei, PAK und Benzo[a]pyren** eine Zunahme der Auswaschung unter Klärschlamm. Für diese Schadstoffe wurde der Grenzwert nach TrinkwV (2018) im Sickerwasser in 1 m Tiefe leicht (Pb) bzw. mehrfach überschritten (Benzo[a]pyren, PAK).

Diese Schadstoffgruppen sind im Klärschlamm bereits überwiegend organischen gebunden oder komplexiert und damit leichter mobilisierbar als bei anorganischen Bindungsformen. Die pfluglose Bodenbearbeitung des Landwirts unterstützt den schnellen Transport in **bevorzugten Fließwegen (preferential flow)** mit gelöster organischer Substanz. Insbesondere Starkregenereignisse rasch nach der Ausbringung des Klärschlammes können daher zu einer verstärkten Auswaschung führen.

Besonders gefährdet sind Standorteinheiten, mit **ausgeprägter Bodenstruktur**. Dazu zählen die Auenböden, Kolluvisole, Parabraunerden sowie Standorte, die sich aus Lösslehm entwickelt haben. Die ungestörte Bodenstruktur vergrößert das Risiko für preferential flow. In diesen Fällen beeinflussen die Struktur der Böden und die Bindungsformen der Schadstoffe die Auswaschung stärker als die chemischen Sorptionseigenschaften der Böden. Dies führte zu deutlichen Unterschieden zwischen Modellrechnungen und Messungen insbesondere für Pb und PAK.

Aufgrund der niedrigen Filterwirkung durch niedrigen pH-Wert und einen geringen Gehalt an organischer Substanz kann auch die Klärschlammausbringung auf **Flugsand** zu einer erhöhten Schadstoffauswaschung führen.

Bei **flach anstehendem Grundwasser** (Auenböden, Senkenlage) besteht zudem eine erhöhte Gefährdung, da die Filterstrecke zum Grundwasser sehr kurz ist.

Die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzten Böden kann insbesondere im Jahr der Ausbringung im Sickerwasser zu lokalen Überschreitungen der Grenzwerte nach TrinkwV (2018) und der Prüfwerte nach BBodSchV (2017) führen, sodass von einer **Beeinträchtigung der Grundwasserqualität** auszugehen ist. Hingegen ist es auch bei einer Fortsetzung dieser Praxis **unwahrscheinlich, dass im Grundwasser Grenz- oder Prüfwerte überschritten werden**. Ursache ist die Verdünnung durch Sickerwasser aus Schlägen, auf denen im jeweiligen Jahr bzw. nie Klärschlamm ausgebracht wird. Auch für weitere, bisher nicht geregelte Schadstoffe bestehen keine Hinweise für eine schädliche Konzentration im Grundwasser.

Um die negative Beeinträchtigung des Grundwassers zu reduzieren, empfehlen wir, **auf gefährdeten Standorten auf eine Ausbringung von Klärschlamm zu verzichten**. Die **Klärschlammapplikation sollte zunehmend im Frühjahr** und nicht mehr im Spätsommer erfolgen, um die Gefährdung durch preferential flow zu reduzieren. Diese Praxis wird durch die aktuelle Fassung der DüV (2017) ebenfalls gefordert.

Aufgrund einer Novelle der AbfKlärV (2017) ist seit kurzem die Ausbringung von Klärschlämmen in den Schutzzonen I, II und III von Wasserschutzgebieten grundsätzlich verboten. Nach einer erfolgreichen Ausweitung des Einzugsgebietes als WSG muss daher die Klärschlammausbringung beendet werden.

Dank

Unser Dank gilt den Landwirten Werner und Markus Hauck sowie den Herren Deiler, Mengler und Schubert für die gute Zusammenarbeit bei den Feldversuchen.

Literatur

AbfKlärV (2017): Klärschlammverordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist.

ALTEX-1D (2010): Analytische Lösung der 1D-Transportgleichung mit MS-EXCEL, Version 2.4, heruntergeladen am 20.03.2012 von http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=809&article_id=870&_psmand=4.

BBodSchG (2017): Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 3 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist.

BBodSchV (2017): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 4 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist.

Bischoff, W.-A. (2009): Development and Applications of the Self-Integrating Accumulators: A Method to Quantify the Leaching Losses of Environmentally relevant Substances. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, Heft 91, Herausgeber: Kandeler, E.; Kuzyakov, Y.; Stahr, K.; Streck, T.; Kaupenjohann, M., Universität Hohenheim, Stuttgart. 145 S.

Bischoff, W.-A.; Schwarz, A.; Hillmert, C. (2013): Strukturierte Sickerwasserprognose in der Orientierenden Untersuchung nach BBodSchG/V; Berichte der DBG (nicht begutachtete online-Publikation) zur Jahrestagung "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", September 2013, Rostock, <http://www.dbges.de>.

Dizer, H.; Fischer, B.; Sepulveda, I.; Loffredo, E.; Senesi, N.; Santana, F.; Hansen, P.-D. (2002): Estrogenic Effect of Leachates and Soil Extracts from Lysimeters Spiked with Sewage Sludge and Reference Endocrine Disrupters; Environ Toxicol. 17(2): 105-12.

Sherene, T. (2009): Effect of dissolved organic carbon (DOC) on heavy metal mobility in soils; Nature Environment and Pollution Technology 8(4): 817-821.

TrinkwV (2018): Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 3. Januar 2018 (BGBl. I S. 99) geändert worden ist.

Walper, G. (2009): Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung in Hessen 2007, KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 12: 1257-1260.