

Leistungsfähigkeit und Zustand langjährig betriebener dezentraler Regenwasserversickerungsanlagen (LEIREV) Abschlussbericht

- Kurzfassung -



Gefördert durch das MKUNLV NRW

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Bearbeitungszeitraum: 01.04.2014 - 30.06.2016

Zusammenfassung

Im Rahmen des Förderprogrammes „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW“ des MKULNV wurde das F+E Vorhaben „LEIREV“ - Leistungsfähigkeit und Zustand langjährig betriebener dezentraler Regenwasserversickerungsanlagen - durchgeführt. Dieses beinhaltete eine umfassende betriebliche, hydraulische und stoffliche Überprüfung von dezentralen Versickerungsmulden mit einer Laufzeit von >10 Jahren. Die Ergebnisse zeigen Defizite, deren Ursache oftmals in einer nicht ausreichend differenzierten Planung liegen. Die hydraulische Leistungsfähigkeit entspricht nach wie vor den Anforderungen nach DWA A-138. Die stoffliche Belastung fällt dagegen differenziert aus, erhöhte Schadstoffgehalte treten häufig bei punktuellen Einläufen auf; in einigen Fällen sind diese aber auch auf unsachgemäßen Einbau oder fehlenden Abraum vorbelasteter Substrate/Böden zurückzuführen.

Abstract

As part of the research program "resource-efficient sewage NRW" (MKULNV) the research project "LEIREV" was carried out to investigate the performance and current state of longtime-operating stormwater infiltration systems with bioretention. The investigation included a comprehensive hydraulic, chemical and operational verification of different bioretention systems with operational times > 10th years. The results show deficiencies caused by an insufficiently differentiated planning process. The hydraulic performance continues to conform to the requirements of DWA A-138. However, the pollutant loading shows a different pattern: increased concentrations of organic and inorganic pollutants in bioretention systems often occur at inflow points or at sites where pre-polluted substrates were not cleared or were installed at the construction process.

1 Einführung

Die vor über 20 Jahren technisch-planerisch entwickelte dezentrale Bewirtschaftung von Regenwasser in oberirdischen, belebten und begrünten Anlagen hat sich als Alternative zur konventionellen Regenwasserableitung etabliert. Der Niederschlagsabfluss zu Versickerungsanlagen wird gefasst und ist damit im rechtlichen Sinne Abwasser [1]. Allerdings heißt es im §33 des Wasserhaushaltsgesetzes: „Die Länder können allgemein oder für einzelne Gebiete bestimmen, so dass [...] für das Einleiten von Niederschlagswasser in das Grundwasser zum Zwecke seiner schadlosen Versickerung eine Erlaubnis nicht erforderlich ist“ [1]. Einige Bundesländer haben von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht, beispielsweise Baden-Württemberg: „Für das Einleiten von Niederschlagswasser in das Grundwasser zum Zwecke seiner schadlosen Versickerung ist eine Erlaubnis nicht erforderlich, soweit die Anforderungen einer Rechtsverordnung nach § 45b Abs. 3 Satz 3 eingehalten werden“ [2]. Andere Länder, wie z.B. Niedersachsen, beschränken dies auf Abflüsse von Dach-, Hof- oder Wegeflächen von Wohngrundstücken. In Berlin gelten ähnliche Erlaubnisbefreiungen für Grundstücke unter 1000 m² außerhalb der Wasserschutzgebietszonen. Für die Bemessung von Versickerungsanlagen dient als Grundlage das Arbeitsblatt DWA-A138 „Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser“ [3]. Behandelt werden dort verschiedene Versickerungsverfahren wie die

- Flächenversickerung
- Muldenversickerung
- Rigolen- und Rohrversickerung
- Schachtversickerung.

Auch kombinierte Systeme wie Mulden-Rigolen, die sowohl eine Versickerung als auch eine gedrosselte Ableitung vorsehen, werden berücksichtigt. Die Bemessungsverfahren für das erforderliche Speichervolumen beruhen im Wesentlichen auf dem gleichen Prinzip, dass auch zur Bemessung von Regenrückhaltebecken angewendet wird. Für komplexe, vernetzte Systeme werden Nachweisverfahren mit Langzeitsimulation vorgeschlagen. Für einzelne Anlagen kann das vereinfachte Verfahren verwendet werden.

Im Arbeitsblatt DWA A138 werden zudem Hinweise zu den Punkten „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ aufgeführt [3]. Die Aussagen zum Bau gelten für neu gebaute, dezentrale Anlagen. Für den Betrieb werden Hinweise gegeben, diese stützen sich aber nicht auf systematische Erkenntnisse und Erfahrungen, da diese bis dato nicht vorlagen. In einem Arbeitsbericht der DWA Arbeitsgruppe ES 3.1 werden prinzipielle, neue Erkenntnisse und Erfahrungen in Form von quantitativen und qualitativen Hinweisen aus Interviews verschiedener Betreiber gegeben [4]. Zusätzlich werden erweiterte Hinweise zur Pflege der Anlagen aufgeführt [4]. Für konkrete Entscheidungen zum Bau neuer Anlagen, aber auch zum Weiterbetrieb bestehender Anlagen fehlen aber noch immer belastbare Angaben zu Lebensdauern, Erneuerungs- und Instandhaltungszyklen. In welchem Umfang sich Schadstoffe im Bodenaufbau angereichert haben und ob es nach Langzeitbetrieb zu einer Erhöhung der Schadstoffe im Sickerwasser von Mulden kommt, ist ebenfalls noch nicht abschließend geklärt. Aus diesem Grund kommt es häufig zum Ausschluss dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, da es große Unsicherheiten bezüglich der Einhaltung der Prüfwerte für Sickerwasser nach BBodSchV (Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung [4] sowie der vorgeschlagenen, weiterführenden Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) nach LAWA (Landesarbeitsgemeinschaft Wasser und Abfall) gibt [6]. Weiterhin werden bei Erschließungs- und Entwässerungsplanungen die Lebensdauern dezentraler Anlagen mit hohen Sicherheitsabschlägen versehen. Dies wiederum führt häufig dazu, dass konventionelle Ableitungsvarianten trotz ökologischer und ökonomischer Nachteile aufgrund höherer Planungssicherheit vorgezogen werden. Zudem werden seitens der kommunalen Straßenbauverwaltung häufig Gefährdungspotenziale für das Grundwasser angeführt, deren Relevanz bisher nicht abschließend geklärt ist. Deshalb erfolgte im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eine systematische Aufnahme und Bewertung langjährig betriebener Anlagen.

2 Methodik und Vorgehensweise

2.1 Auswahl von Anlagen

Für die Auswahl der zu untersuchenden Anlagen wurden folgende Kriterien angelegt:

- Bisherige Betriebszeit nach Möglichkeit mind. 10 Jahre
- Versickerungsanlagen auf privaten und öffentlichen Grundstücken
- Repräsentative Abdeckung verschiedener Nutzungstypen (Wohnen, Gewerbe, Gemeinschaftseinrichtungen, öffentliche Verkehrsfläche)
- Abdeckung des Spektrums an Versickerungstechniken mit belebter Oberbodenzone wie Versickerungsmulden, Mulden-Rigolen-Elemente, Mulden-Rigolen-Systeme
- Anlagen die schon Gegenstand früherer wissenschaftlicher Untersuchungen gewesen sind (Ex-Post-Analysen)

Insgesamt wurden über 50 Anlagen ausgewählt und aufgenommen. Von diesen wurden über 30 Anlagen einer ausführlichen betrieblichen, hydraulischen und stofflichen Untersuchung unterzogen (Tabelle 1).

Tabelle 1:Anlagenauswahl und -anzahl NRW und restliches Bundesgebiet.

Beprobungen	NRW	restl. Bundesgebiet	Σ
Anlagen insgesamt	33	17	50
davon intensive Bearbeitung (Beprobungen)	20 (43)	8 (14)	28

In Klammer = Beprobungen insgesamt.

Für die Durchführung der Untersuchungen vor Ort und die Abfrage weitergehender Informationen war die aktive Mitwirkung der Betreiber und deren Erlaubnis zur Untersuchung der Anlagen erforderlich. Da diese häufig nicht zu erreichen war, mussten einige ausgewählte Anlagenstandorte im Zuge der Bearbeitung ersetzt werden.

2.2 Aufnahme betrieblicher Parameter

Im ersten Schritt wurden Daten zur Flächennutzung und Belastung der Abflüsse, Art der Regenwasserbewirtschaftung, Betriebsdauer u.v.m. erfasst. Im zweiten Schritt wurden Begehungen (Fotodokumentation, exemplarische Aufmaße, Vergleich mit dem Ausgangszustand) zur Erfassung betrieblicher Aspekte in Hinblick auf:

- Sichtbare Setzungen, Trittschäden, Verdichtung, Sohlveränderungen, Ausspülungen
- Materialermüdung und –schäden an Bauteilen
- Vegetationsentwicklungen, Sedimentanreicherungen
- Aneignungsprozesse und Nutzungskonflikte (temporär, dauerhaft)
- Gestaltungsänderungen der angeschlossenen befestigten Flächen
- Wartung/ Pflege/ Instandhaltung/ Instandsetzung/ Reparatur/ Umbauten

durchgeführt. Die Anlagen wurden sowohl in der Vegetations- als auch in der Vegetationsruhephase begangen. Charakteristika und kritische Entwicklungen wurden dokumentiert. Für ausgewählte Anlagen und -teile wurden digitale Höhenaufnahmen durchgeführt, um Veränderungen der tatsächlichen Rückhaltevolumina zu erfassen.

2.3 Bodenkundliche Aufnahme und stoffliche Belastung

Zur Charakterisierung der Substrate der Mulden wurde eine Profilsprache bodenkundlicher Merkmale nach den Kriterien der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) durchgeführt [7]. Die Aufnahmen erfolgten an der dem Einlauf zugewandten geöffneten Profilwand (Abbildung 1). Aufnahmeparameter waren:

- Horizontmächtigkeit
- Bodenart
- Stein- und Kiesanteil
- Humusgehalt
- Carbonatgehalt
- Hydromorphiemerkmale

- Durchwurzelungsintensität
- anthropogene Beimengungen



Abbildung 1: Probenahme und Bodenkundliche Aufnahme

Die Entnahme repräsentativer Proben für die Laboranalysen erfolgte als Mischproben für die Substratschichten. Bestimmt wurden die elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert, die Textur, Stickstoff-, Kohlenstoff- und Schwefel- sowie die Feststoffgehalte der Schwermetalle Cd, Cu, Zn, und Pb und der organischen Stoffe PAK und PCB.

2.4 Bestimmung hydraulischer Parameter – Infiltrationsrate

An den Mulden wurde die gesättigte Wasserleitfähigkeit mittels Doppelring-Infiltrometern sowie Flutungsversuchen ermittelt. Zusätzlich zu den Feldmessungen wurde im Labor die gesättigte Wasserleitfähigkeit an Stechzylinderproben im Haubenpermeameter nach DIN 19683-9 analysiert [8]. Die Messung mit Doppelringinfiltrometern erfolgte gemäß DIN 19682-7 unter Einsatz eines Schwimmers [9]. Gemessen wurde auf der Muldensohle nach vorheriger Beseitigung von höherem Gras und Bewuchs (

Abbildung 2). Die Infiltrationsrate wurde dabei nach dem instationären Verfahren aus der Änderung der Wasserhöhe über die Zeit berechnet.

An ausgewählten Anlagen wurden zusätzlich Flutungsversuche durchgeführt, bei denen das gesamte Muldenvolumen mit Wasser über einen Hydrantenanschluss (C-Rohr) bis zur Unterkante der Überläufe aufgefüllt wurde. Je nach Dauer des Auffüllvorgangs infiltrierten

bereits erhebliche Wassermengen, die zu einer entsprechenden Vorsättigung des Bodens führten.

Nach Erreichen der Füllobergrenze wurde die Wasserzufuhr abgestellt, die Wassersäule eingemessen und über die Zeit bis zur vollständigen Entleerung die kumulative Infiltrationsrate ermittelt (

Abbildung 2).



Abbildung 2: Messung der hydraulischen Leitfähigkeit mit Doppelringinfiltrometern (links) und Flutungsversuchen (rechts)

Der natürliche Einfluss der Bodenart auf die Versickerung macht es notwendig, die ermittelten Infiltrationsraten entsprechend differenziert darzustellen. Die Unterteilung erfolgt nach den vorgefundenen Hauptbodenarten Sand und Schluff/Lehm.

2.5 Befragung

Insgesamt wurden 33 Fragebögen über die Erfahrungen der Betreiber zu Bau und Betrieb verschiedener dezentraler Anlagen ausgewertet. Diese beinhalten Fragen zu:

- Wartung und Pflege
- Betriebssicherheit
- Belastung der Anlage
- Langzeiterfahrungen und Einschätzungen

Dabei wurden sowohl die Verantwortlichkeiten als auch die langjährigen Erfahrungen sowie die in dieser Zeit aufgetretenen Probleme und Verbesserungsmöglichkeiten aus

Sicht der Betreiber erfasst. Bei den Betreibern handelte es sich sowohl um öffentliche als auch um private Betreiber.

3 Ergebnisse

3.1 Betrieblicher Zustand

Versickerungsanlagen mit belebter Bodenzone unterliegen, da sie aus aufgebrachtem und profiliertem Boden bestehen, insbesondere in der ersten Zeit nach der Errichtung nicht zu vermeidenden Veränderungsprozessen. Diese sind bei Planung und Erstellung durch entsprechende Sicherheiten, z.B. Zuschlägen bei der Höhengestaltung, vorausschauend zu berücksichtigen. Für Landschaftsbauwerke ist darüber hinaus eine „Fertigstellungspflege“ in den ersten drei Betriebsjahren obligatorisch. In dieser Zeit werden Ausfälle beim Bewuchs und Veränderungen bei der Profilierung korrigiert. Insofern konzentrierte sich die Bestandserfassung der Alterserscheinungen auf solche, die erst nach Abschluss der Fertigstellungspflege entstanden.

Funktionsstörung der Infiltration

In einzelnen Mulden größerer komplexer Anlagen wurden langanhaltende Wasserstände (> 48h) festgestellt. Eine gefällebezogene Analyse der Abflusssituation zeigte, dass die betreffenden Mulden häufig mit dem Vielfachen der in der ursprünglich in der Planung veranschlagten Niederschlagsabflussmengen beaufschlagt werden. Gründe dafür sind Ausführungsfehler, Pflegedefizite oder veränderte Abflusswege des Niederschlagswassers befestigter Flächen sowie zusätzliche Abflüsse durch neu entstandene befestigte Flächen (schleichende Versiegelung). Zum Einen wurde durch erhöhten Feinsedimenteintrag in hydraulisch überlasteten Mulden eine oberflächige Kolmation beobachtet. Dem kann im Nachhinein durch eine regelmäßige Wartung und Auflockerung begegnet werden. Zum Anderen wurde bei einer Reihe von Anlagen festgestellt, dass eine großflächige Verschattung durch das ungehinderte Größenwachstum von Gehölzen in direkter Nachbarschaft von Versickerungsmulden vorliegt. Im Zusammenhang mit nicht entfernten Laubansammlungen führt dies zu einem Zusammenbruch der Vegetationsdecke in den Mulden. Dieser zieht bei Wasseranstau Kolmation, Verschlammung und einen Verlust der Porenstruktur des Oberbodens nach sich. Erholt sich die Vegetationsdecke in der Vegetationsphase nicht wieder, droht ein sich selbst verstärkender, fortschreitender Prozess der Selbstabdichtung (Abbildung 3). Im Einzelfall können diese Prozesse das Totalversagen der Versickerungsanlage nach sich ziehen.



Abbildung 3: Hydraulisch überlastete Mulde im Tiefpunkt (links) und Kolmation und langanhaltende Wasserstände als Folge von Verschattung und Nicht-Beräumen des Laubes

Sedimentanreicherung

Zu starken Sedimentanreicherungen kommt es vor allem bei einer Einleitung von Abflüssen von verkehrlich genutzten Flächen. Erfolgt die Ableitung diffus über die Schulter, verteilen sich mitgeführte Sedimente meist ohne dass es zu Veränderungen des Muldenprofils kommt. Bei punktueller Einleitung über Grundsammelleitungen oder offene Gerinne kommt es dagegen insbesondere bei großen angeschlossenen Flächen im Einlaufbereich oft zur Akkumulation von Sedimenten und Stoffen (Abbildung 4).



Abbildung 4: Zulauffrinne und Muldeneinlaufbereich mit Sedimentablagerungen (links) und durch Ablagerungen zugesetztes Einlaufrohr (rechts)

Die sich dort ablagernden Stoffe gliedern sich in folgende drei Fraktionen:

- Sedimentation von Feinpartikeln
- Äste und Laub
- Müll wie Zigarettenkippen, Verpackungsreste, Plastiktüten, Papier

Die Sedimentationsanreicherungen wurden detailliert an ausgewählten Anlagen mit Hilfe von Aufmaßen erfasst und mit dem Gesamtrückhaltevolumen abgeglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass es nach 15-20 Jahren Betriebszeit i.d.R. zu einem durchschnittlichen Volumenverlust von $< 4\%$ kommt. Die Abbildung 4 zeigt eine Sedimenterhöhung am Muldeneinlaufbereich einer Mulde mit Dachabflüssen nach einer Betriebszeit von 21 Jahren. Die Abbildung 5 zeigt eine schematische Darstellung einer Aufhöhung eines Mulden-Rigolen Elements nach einer Betriebszeit von 17 Jahren.

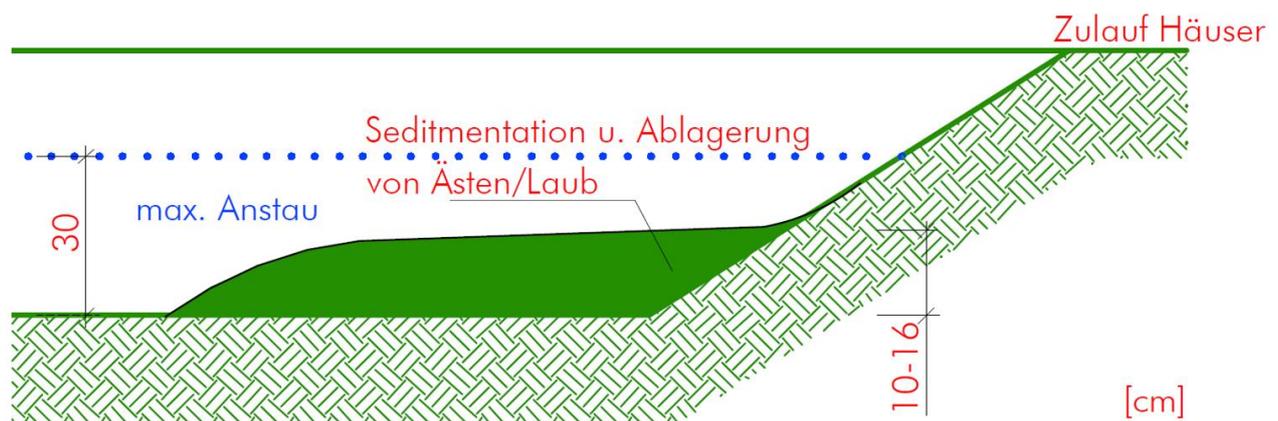


Abbildung 5: Aufhöhung in Folge von Ablagerungen im Einlaufbereich. Schnittdarstellung Mulde-Rigolen-Element

In diesem Fall kam es zu einer maximalen Erhöhung des Substrats am Einlaufbereich um 16 cm. Die im Einlaufbereich sichtbaren Aufhöhungen können, wenn sie eine den Abfluss in die Versickerungsfläche gefährdende Größenordnung erreicht haben, relativ einfach abgetragen werden. Dazu ist es allerdings nötig, dass eine qualifizierte und regelmäßige Pflege der Anlagen erfolgt. Ein weiterer Betriebspunkt ist der Rasenaufwuchs im Zulaufbereich (Abbildung 6). Dieser muss, wie in DWA A138 Tabelle 5 beschrieben, regelmäßig entfernt werden, um Rückstau auf die Straße oder auch unkontrollierte Weiterleitung von Niederschlagswasser in tiefer gelegene Bereiche, die dort zu Einstau im Straßenbereich führen können, zu vermeiden [3].



Abbildung 6: Verhinderung des Zulaufs in die Mulde durch Aufhöhung der Grasnarbe

3.2 Erfahrungen der Betreiber

Die Betreiber bewerten die Erfahrungen mit Versickerungsanlagen mit belebter Oberbodenzone durchgängig als positiv. Die öffentlichen Versickerungsanlagen werden in aller Regel von den Stadtentwässerungsbetrieben betreut. Es finden, wie bei anderen Bauwerken der Stadtentwässerung auch, regelmäßige Sichtkontrollen statt. Die Durchführung der eigentlichen Wartungs-, Pflege- und Instandhaltungsmaßnahmen wird mehr und mehr an qualifizierte Dritte vergeben. Die Erfahrung zeigt, dass eine regelmäßige Mahd (3- bis 4-mal pro Jahr) erforderlich ist. Gehölzpflanzungen in der Peripherie der Versickerungsanlagen können erhöhte Pflegeaufwände nach sich ziehen (Verschattung und Laubwurf).

Um Standfestigkeit und Funktionsfähigkeit der Versickerungsanlagen zu erhalten, sollten diese öfter als bei der sonst üblichen Grünflächenpflege zurückgeschnitten werden. Auch wird einer Minimierung der Betriebspunkte wie Muldenelemente, Überläufe, Schächte, Drosseln etc. in der Planungsphase eine hohe Priorität eingeräumt. Ein weiterer Punkt ist die Inanspruchnahme von Versickerungsanlagenflächen im öffentlichen Raum, die häufig nicht mit den Betreibern abgestimmt wird. Hier handelt es sich meist um temporäre Inanspruchnahmen durch Baumaßnahmen, die entweder dem Entwässerungsbetrieb nicht angezeigt oder nach Beendigung nicht ordnungsgemäß wieder hergestellt werden.

Die privaten, in der untersuchten Größenkategorie in der Regel auf gewerblich genutzten Grundstücken angeordneten, Versickerungsanlagen werden in der Mehrzahl der Fälle im Zusammenhang mit der Grünflächen- und Außenanlagenpflege mit bearbeitet. Die Erfahrungen der Grundstückseigentümer und Betreiber mit belebten Versickerungsanlagen sind auch hier positiv. Allerdings zeigt sich auch hier nach 10 und mehr Betriebsjahren der ungehinderte Aufwuchs von Gehölzen in direkter Nachbarschaft zu den Versickerungsanlagen als Problem.

Die Auswertung der Fragebögen ergab auch, dass die Eigenwahrnehmung der Betreiber bezüglich des Zustandes ihrer Anlagen positiver ausfällt, als der im Rahmen des F&E Vorhabens festgestellte Zustand.

3.3 Hydraulischer Zustand

Der hydraulische Zustand der Versickerungsanlagen hängt in erster Linie von den jeweiligen Bodeneigenschaften ab. Die Böden aller untersuchten Anlagen können den Hauptbodenarten Sand oder Schluff zugeordnet werden (Abbildung 7).

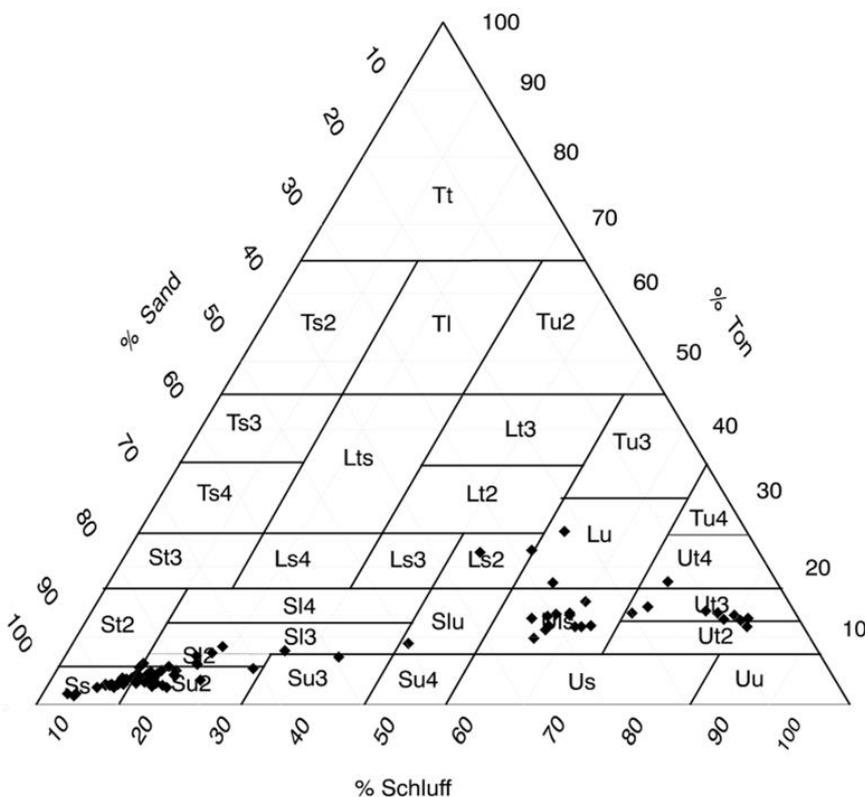


Abbildung 7: Körnungsdigramm der untersuchten Muldensubstrate

Bezüglich der Hauptbodenart wurden an keinem Standort Unterschiede im vertikalen Aufbau festgestellt. Ausnahmen bilden in wenigen Fällen kleinräumige Kolmationsbereiche mit lehmigen Bodentexturen. Die räumliche Verteilung zeigte, dass schluffgeprägte Böden vor allem in Anlagen in der Region Düsseldorf und Dortmund vorkommen, wo Löss das geologische Ausgangssubstrat darstellt. Im Raum Berlin-Brandenburg, der von glazialen Reinsanden und Lehmsanden geprägt wird, dominieren dagegen sandgeprägte Böden in den Versickerungsanlagen. Dies zeigt, dass es einen starken Einfluss der geogenen Bodenbeschaffenheit auf die eingebauten Substrate gibt.

Unter Berücksichtigung der Daten aus Laboranalysen und Doppelring-Infiltrationsmessung wurde ein allgemeingültiger, signifikanter Unterschied zwischen der Versickerungsleistung von sandgeprägten und schluffgeprägten Standorten nachgewiesen ($p = 0,002$, Abbildung 8). Betrachtet man für sandgeprägte Standorte die Ergebnisse der Flutungen wird dieser Unterschied untermauert.

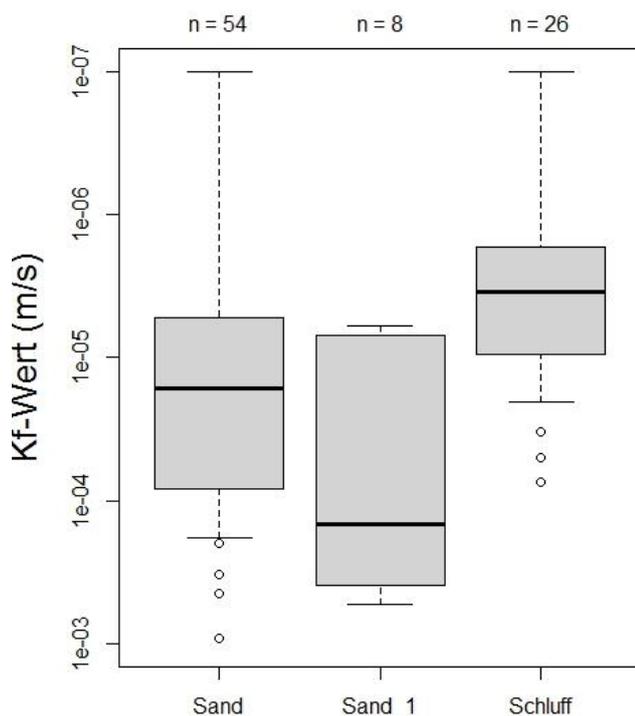


Abbildung 8: Hydraulische Leitfähigkeit der Muldenböden. Die Ergebnisse basieren auf Messungen mit dem Doppelringinfiltrationsmeter und Stechzylinderproben. Ergebnisse aus Flutungen liegen nur für sandgeprägte Anlagen vor (Sand_1).

Die bisher beprobten Anlagen entsprechen zum größten Teil der empfohlenen Versickerungsleistung nach DWA A-138, die einen „entwässerungstechnisch relevanter Versickerungsbereich“ definiert, der zwischen $1 \cdot 10^{-3}$ m/s und $1 \cdot 10^{-6}$ m/s liegt [3].

Für Mulden-Rigolen wird für den Einbau von Böden seitens der DWA 138 darüber hinaus die Empfehlung ausgesprochen, einen K_f -Wert $> 1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s einzuhalten [3].

Dieser Wert wird bei Messungen mit dem Doppelring-Infiltrometer an 4 von 9 Anlagen mit Mulden-Rigolen unterschritten. Unter Berücksichtigung der stofflichen und betrieblichen Untersuchungen können verschiedene Ursachen für niedrige K_f -Werte abgeleitet werden. Es sind:

- Sedimenteintrag
- Hydraulische Überlastung
- Übermäßige Verschattung
- Eingebauter Boden mit niedrigen K_f -Werten

3.4 Schwermetalle und organische Schadstoffe der beprobten Mulden

Die Schwermetallgehalte der beprobten Anlagen variieren stark und sind daher differenziert zu betrachten. Die Abbildung 9 zeigt die Gesamtgehalte der Schwermetalle für alle beprobten Anlagen in unterschiedlichen Tiefen. Die höchsten Schwermetallgehalte wurden im Oberboden (0-10cm) gemessen, die in der Regel mit zunehmender Tiefe abnehmen.

Eine Ableitung der Belastung durch das abgeleitete Regenwasser stark einschränkt, da in der Regel für die verwendeten Substrate keine Feststoffgehalte (Ausgangsgelalte) vorliegen. Daher wurden für die Bewertung der Schadstoffgehalte in den Muldenböden die Vorsorgewerte der BBodSchV für die Bodenarten Sand und Schluff und Lehm herangezogen [4].

Vergleicht man die Metallgehalte mit den Umweltwerten (Sand) so zeigt sich, dass die Mediane der Feststoffgehalte um den Faktor 2.3 für Zn, 1.3 für Cu, 1.2 für Pb und 1.1 für Cd erhöht sind. Eine Erhöhung ist auch in der Tiefenstufe 10-20 cm für die Metalle Cd und Zn festzustellen. Legt man die Vorsorgewerte für die Bodenart Schluff/Lehm zugrunde, liegen die Mediane der Schwermetalle in allen beprobten Tiefenstufen unterhalb der vorgegebenen Umweltwerte. Bei einzelnen Anlagen bzw. Muldensubstraten kommt es jedoch zu Überschreitungen der Vorsorgewerte für einzelne Metalle.

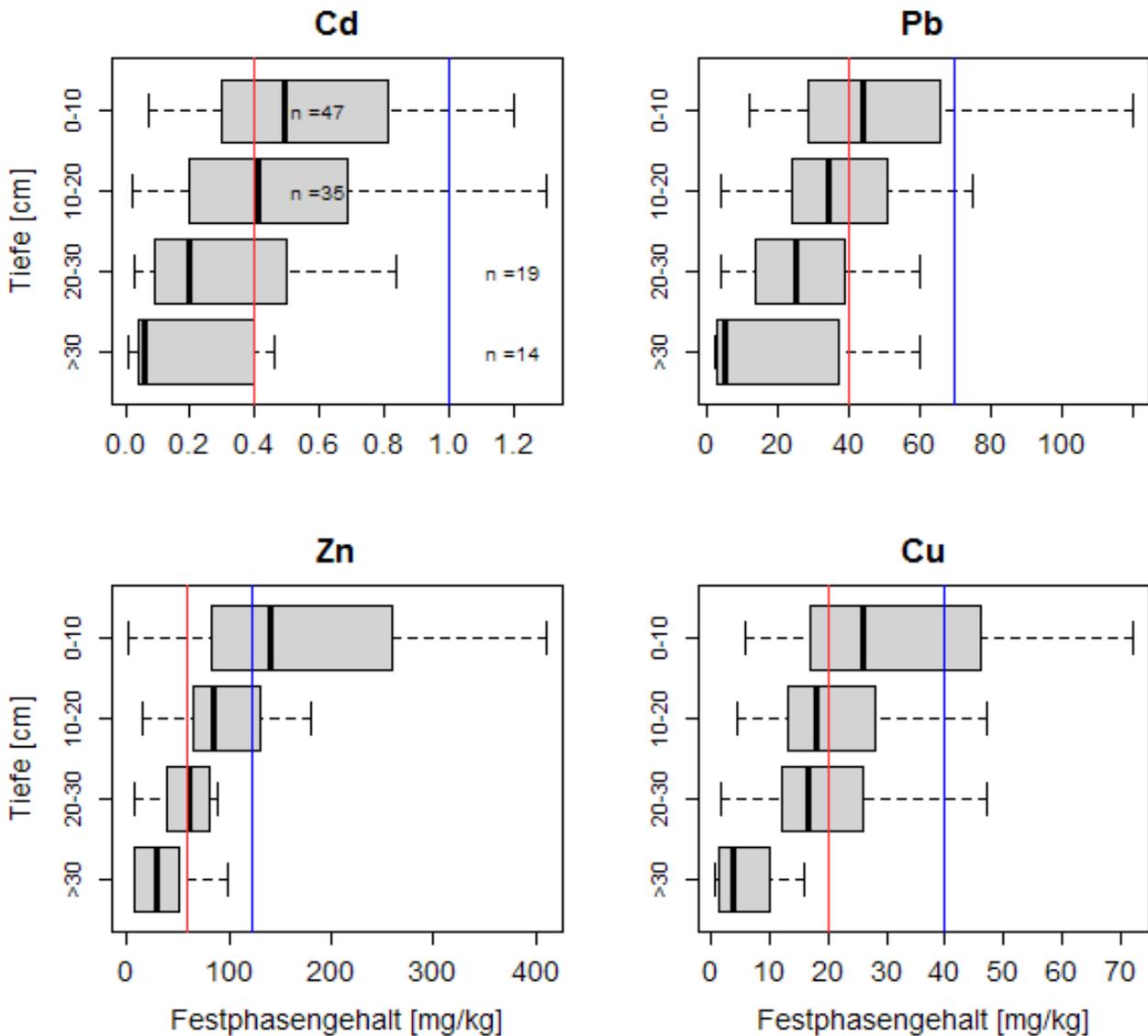


Abbildung 9: Schwermetallgesamtgehalte im Bodenfeststoff in verschiedenen Tiefen der Muldensubstrate. Die rote Linie markiert die Vorsorgewerte der BBodSchV (1999) für die Bodenart Sand, die blaue für die Bodenart Schluff/Lehm. n= Probenzahl der verschiedenen Tiefen.

Die Benzo(a)pyren- und PAK-Gesamtgehalte weisen ein ähnliches Verteilungsmuster auf. Auch hier sind die Gehalte im Oberboden (0-10 cm) am höchsten und nehmen mit der Tiefe ab (Abbildung 10). Die Mediane der Feststoffgehalte von Benzo(a)pyren und PAK (Summe) liegen ebenfalls unterhalb der Vorsorgewert der BBodSchV [4]. Einzelne Werte von Benzo(a)pyren und PAK (Summe) liegen bei einigen Anlagen, bzw. Muldensubstraten jedoch deutlich oberhalb der Prüfwerte.

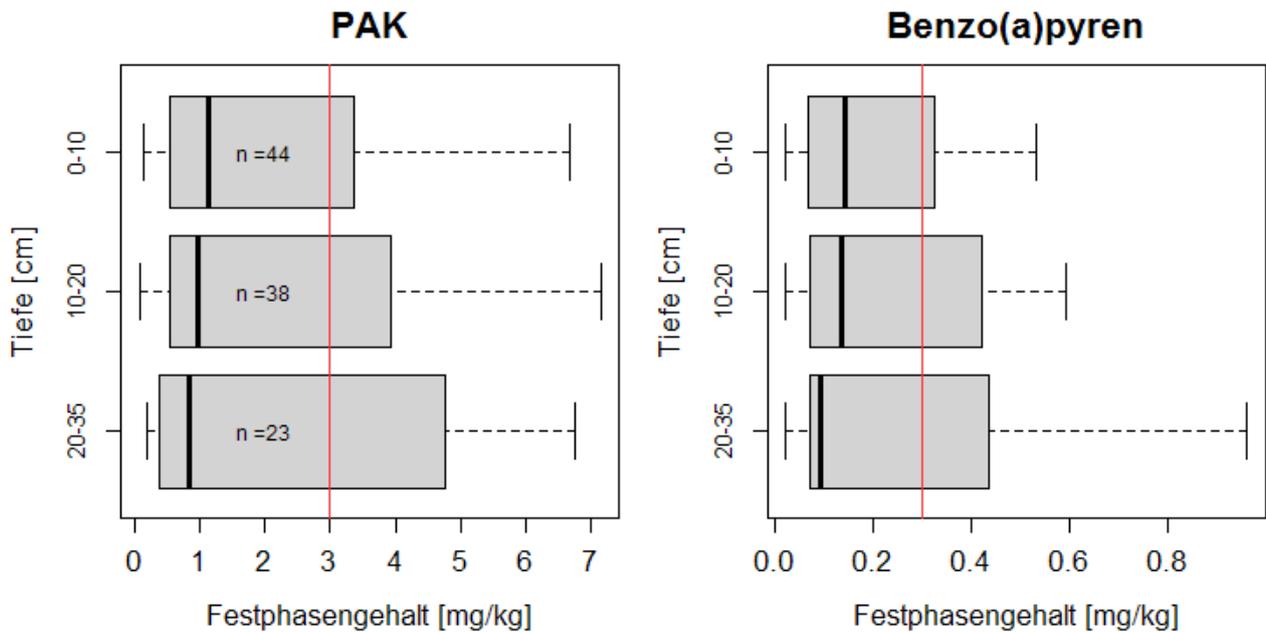


Abbildung 10: PAK (Summe) und Benzo(a)pyren Gehalte im Bodenfeststoff in verschiedenen Tiefen der Mulden. Die rote Linie markiert die Vorsorgewerte der BBodSchV (1999) für alle Bodenarten. n= Probenzahl der verschiedenen Tiefen.

In den meisten Fällen lässt sich die Erhöhung der Feststoffgehalte in den Muldensubstraten sowohl durch atmosphärische Depositionen, die vor allem in urbanen Räumen relevante Mengen an Schwermetallen und anderen Stoffen mit sich führen als auch durch konzentrierte Niederschlagsabflüsse erklären, die in beiden Fällen zu einer Anreicherung von Schadstoffen im Oberboden führen. Im letzten Fall lässt sich feststellen, dass bei punktueller Einleitung die Schadstoffgehalte in den Mulden i.d.R. am Einlaufpunkt am höchsten sind und zur Muldenmitte stark abnehmen. Dies lässt sich vor allem an Dachabläufen mit Ableitungsrohren aus Zink und bei Verkehrsabläufen von Parkplätzen und Hauptstraßen beobachten. Dahingegen lässt sich bei einer diffusen Einleitung von Niederschlagswasser kein eindeutiger Trend erkennen. Hier zeigen sich andere Verteilungsmuster, die stärker durch die Abflussverhältnisse der umgebenden Fläche, der kleinräumigen Gefälleverteilung u.a. Faktoren zu erklären sind. In anderen Fällen sind die z.T. sehr hohen Gehalte durch einen unsachgemäßen Einbau oder nicht ordnungsgemäß erfolgtem Abraum von vorbelasteten Bodensubstraten zu erklären. Das Vorfinden von technologischen Materialien (wie z.B. Holzkohle, Ziegel, Mörtel, Schlacke) lässt häufig auf eine eindeutige Vorbelastung vor Inbetriebnahme schließen.

3.5 Übertragung der Ergebnisse auf verschiedenen Nutzungstypen

Für die Übertragung der Ergebnisse auf verschiedene Nutzungskategorien, bzw. abflussliefernde Flächen wurden die Versickerungsanlagen verschiedenen Kategorien zugeordnet. Diese sind Niederschlagsabläufe von Gewerbeflächen (Handel und Dienstleistung, Gewerbe); Verkehrsflächen (Wohnstraßen, Hauptstraßen) und Wohnflächen (Gehwege, Dächer mit Regenrinnen und Fallrohren aus Zink).

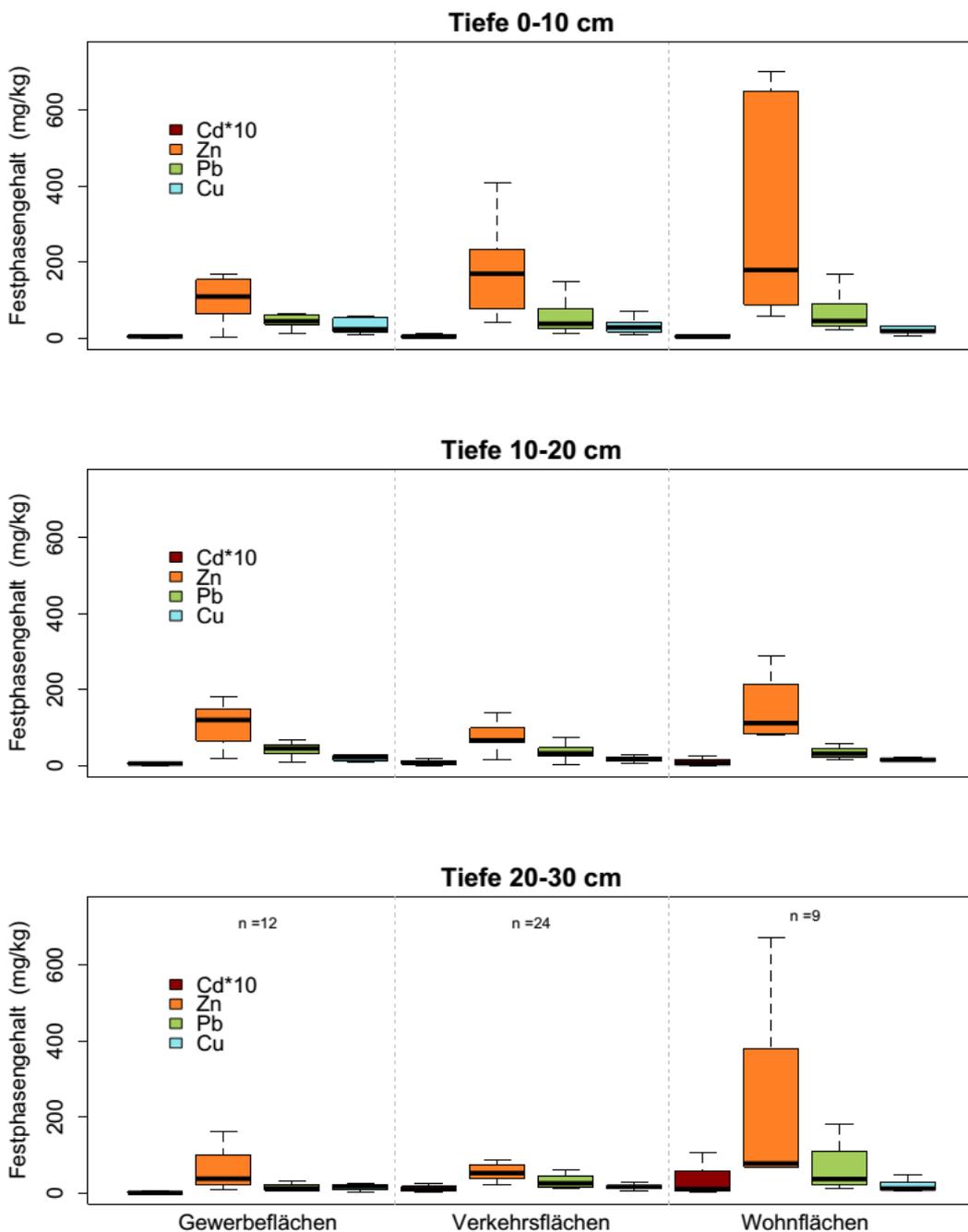


Abbildung 11: Statistische Auswertung der Metallkonzentrationen im Bodenfeststoff der untersuchten Muldenproben nach Tiefenstufen und Nutzungskategorien.

Vergleicht man die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellten Schwermetallgehalte, zeigt sich das bei den Kategorien der Abflüsse von Verkehrs- und Dachflächen die Gehalte von Zn und Pb in allen aufgenommenen Bodentiefen, vor allem aber im Oberboden (0-10 cm), die höchsten Werte aufweisen. In der Tiefenstufe 20-30 cm wurden bei den Wohnflächen (Kategorie 3) höhere Konzentrationen von Zn, Pb und Cd als bei den anderen Nutzungskategorien 1 und 2 festgestellt. Die Konzentrationen von Cd und Cu liegen in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-20 cm bei allen Nutzungskategorien in einer sehr ähnlichen Größenordnung.

Die Ergebnisse zeigen eine Belastungstendenz, die sich vornehmlich durch die Passage des Niederschlagswassers über Regenrinnen und Fallrohren aus Zinkblech erklären lässt. Vor allem bei geringen Niederschlägen versickert der größte Teil des Dachablaufes im direkten Einlaufbereich, wodurch es hier zu einer verstärkten Akkumulation und Verlagerung von Metallen kommen kann. Untersuchungen von Niederschlagsabflüssen stützen die aufgeführten Ergebnisse. Die Niederschlagsabflusskonzentrationen von Häusern mit verzinkten Dächern und von Dächern mit verzinkten Regenrinnen und Fallrohren weisen häufig höhere Werte auf, als Straßenabflüsse von stark befahrenen Straßen und Autobahnen. Dies gilt vor allem für die Konzentrationen von Zink und Kupfer.

3.6 Elutionsverhalten

Zur Abschätzung der mobilen Anteile der Schwermetalle in den Muldensubstraten wurden Elutionsversuche nach DIN 38414-S4 durchgeführt [10]. Die Ergebnisse zeigen, dass große Anteile der Schwermetalle, trotz zum Teil sehr hoher Festphasengehalte, nur wenig mobil, bzw. wasserlöslich sind (Abbildung 12). Vergleicht man die Konzentrationen mit den Prüfwerten der BBodSchV für den Pfad Boden-Grundwasser (Übergang ungesättigte/ gesättigte Zone) so lassen sich bislang bei den untersuchten Anlagen keine Überschreitungen feststellen [4]. Da die Elutionsversuche nach DIN 38414-S4 im Labor aber nur eine Annäherung an In-Situ Verhältnisse darstellen, sollten die Daten im Feld mit geeigneten Verfahren zur Sickerwasserbeprobung überprüft werden [10].

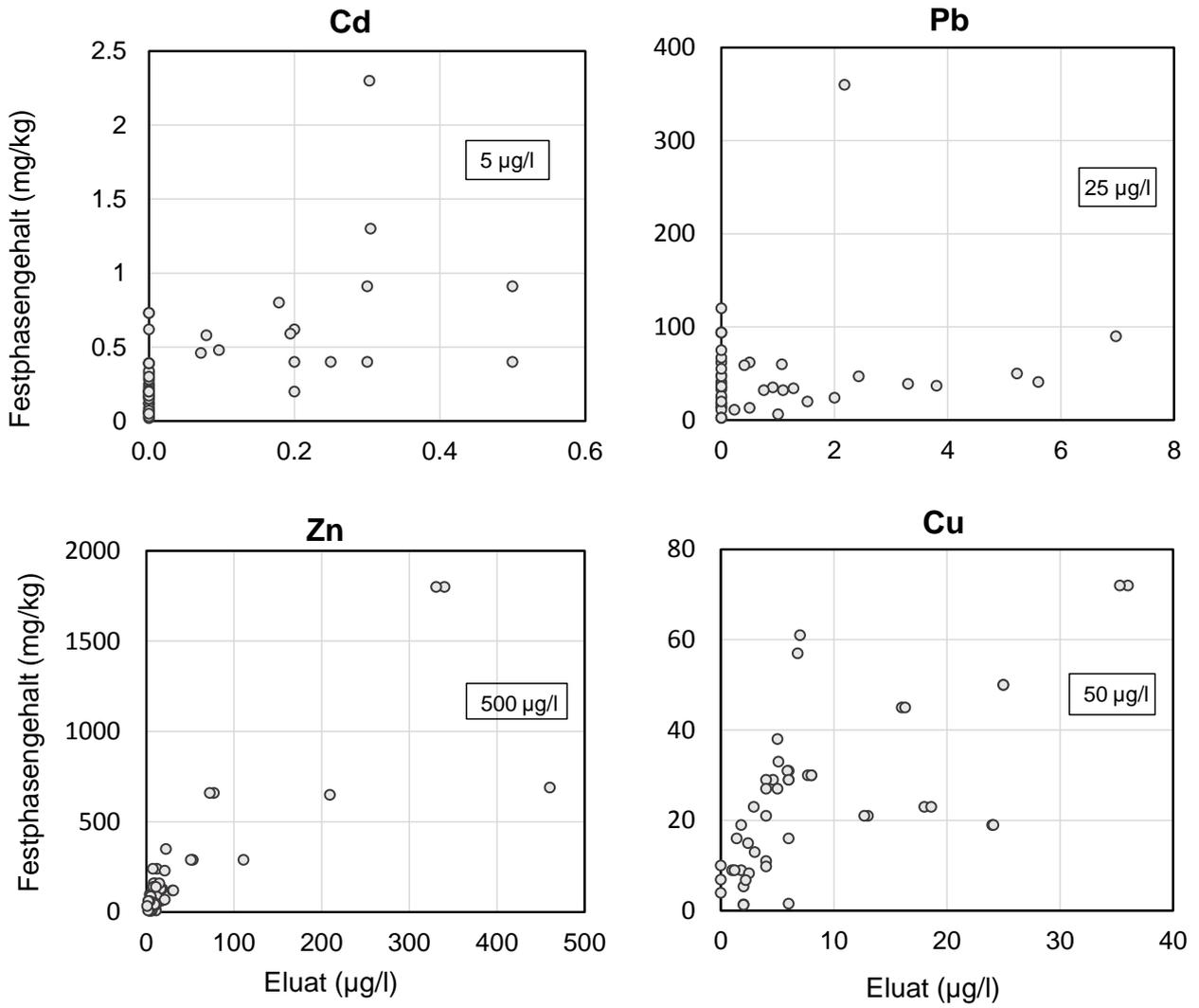


Abbildung 12: Festphasengehalte und Konzentrationen der Schwermetalle im S4 Eluat verschiedener Muldensubstrate (n=48). Werte in der Textbox= Prüfwerte der BBodSchV.

Zusammenfassung

Im Zuge der Umsetzung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen wurden in den letzten Jahren statt konventioneller Rückhaltung und Ableitung des Regenwassers in vielen Fällen Anlagen mit einer dezentralen Rückhaltung durch Versickerung gebaut. Im Projekt LEIREV wurden diese langjährig betriebenen Anlagen nun erstmalig nach 10 bis 20 Jahren Standzeit untersucht.

Die Anlagen befinden sich in der Regel in betrieblich gutem Zustand. Dies konnte bei Umfragen von Betreibern und eigener Inaugenscheinnahme bestätigt werden. Wenn vereinzelt betriebliche Defizite aufgefunden wurden, haben diese ihre Ursache entweder in einer fehlerhaften bzw. einer nicht ausreichend differenzierten Planung oder einer von der Planung abweichenden Ausführung beim Bau. Im Gewerbe kommt es durch bauliche Erweiterungen immer wieder zu einer Vergrößerung der befestigten Flächen und vereinzelt auch zu einem Wegfall von Teilen der Versickerungsanlagen. In Einfamilienhausgebieten ist eine Erhöhung des Anteils befestigter Flächen durch die Anordnung zusätzlicher privater Stellplätze in Vorgärten zu beobachten.

Auch Schäden in Folge von Nutzungskonflikten (Trittschäden bei schmalen Banketten, ruhender Verkehr, etc.) wurden beobachtet. Defizite bei der Entwässerung großer privater Grundstücke und Wulstbildung im Bankettbereich bei linearer Ableitung über das Bankett ziehen die Gefahr einer unzureichenden flächenhaften Zuleitung und einer Überlastung von Mulden in Kreuzungsbereichen und Tiefpunkten nach sich.

Die oberirdischen Anlagen werden von den Betreibern oft als Grünflächen gepflegt und betrieben. Einzelne Anlagen weisen wegen der Defizite bei Pflege und Betrieb Schwachstellen im Bewuchs auf, die mittelfristig zu Einschränkungen der Leistungsfähigkeit führen können. Insofern ist es wichtig Anforderungen an einen ordnungsgemäßen Betrieb über die weitergehende Auswertung der untersuchten Anlagen abzuleiten und für die Praxis zu definieren. Unterirdische Anlagenteile werden in der Regel vom Entwässerungsbetrieb betreut.

Bei der Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit konnte in der Regel eine gute Versickerungsleistung der Sickermulden festgestellt werden. Nur bei sehr wenigen Mulden wurden geringe Versickerungsleistungen festgestellt, die zu einer Überlastung führen können. In einem Fall ist dies auf erhöhte Feinstoffeinträge in einem kreuzungsnahen Tiefpunkt, und dadurch bedingter hydraulischer Überlastung, zurückzuführen.

Die stofflichen Untersuchungen zeigen, dass die Belastung der Mulden sehr differenziert ausfällt. Aufgrund der hohen Heterogenität der verwendeten Muldensubstrate und der Unklarheit über die Schwermetallgehalte des Ausgangsmaterials, ist es oft nicht möglich auf eine betriebsbedingte Anreicherung von Schwermetallen in den Versickerungsanlagen zu schließen. Die Schwermetallgehalte der Mulden mit dem Ausgangssubstrat Lehm/Schluff (vornehmlich Anlagen in NRW) legen jedoch nahe, dass es zu einer Anreicherung der Schwermetalle Zn, Cu und Pb in den Oberböden (0-10cm) der Anlagen gekommen ist, da diese sogar zum größten Teil über den Hintergrundwerten für Böden in NRW (Gebietstyp Ballungskern) liegen. Im Einzelnen bedeutet dies, dass ~75% der Zn, ~70% Cu- und der ~45% der Pb-Gehalte im Oberboden (0-10cm) der Mulden höherer Werte als die Hintergrundgehalte der Böden in den Ballungskernen in NRW aufweisen. Die Mediangehalte der Metalle liegen mit Ausnahme von Zink (Bodenart Lehm/Schluff und Sand) und Kupfer (Bodenart Sand) unterhalb der in der BBodSchV (1999) angegebenen Vorsorgewerte.

Die Abnahme der Metalle mit der Tiefe lassen darauf schließen, dass das Oberbodensubstrat (i.d.R. 0-10 cm) und die darunter liegenden Bodensubstrate (-schichten) offenbar eine wirksame Filter- und Schutzfunktion gegenüber eingetragenen Schadstoffen durch das Oberflächenabflusswasser besitzen. Die Dauerhaftigkeit der Retentionsleistung, d.h. die stoffliche Belastbarkeit von dezentralen Regenwasserversickerungsanlagen ist bisher allerdings noch nicht ausreichend untersucht. Zu einer Überschreitung der Maßnahmenwerte nach BBodSchV (1999) in den jeweiligen Kategorien Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen und Industrie- und Gewerbegrundstücke kommt es bei keiner der untersuchten Versickerungsanlagen.

An einigen Anlagen werden die Vorsorgewerte der Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe überschritten. Da die Gehalte von PAK und Benzo(a)pyren in den verschiedenen Tiefen sehr ähnliche Werte aufweisen und im Bereich der Hintergrundgehalte Benzo(a)pyren liegen, wird von Vorbelastung des Substrates beim Einbau ausgegangen.

Die Gehalte der Polychlorierte Biphenyle (PCB) liegen bei den untersuchten Anlagen immer unterhalb der methodischen Nachweisgrenze. Zu einer Überschreitung der Maßnahmenwerte nach BBodSchV (1999) in den jeweiligen Kategorien Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen und Industrie- und Gewerbegrundstücke kommt es bei keiner der untersuchten Versickerungsanlagen.

Anlagen, an denen intensiv genutzte Betriebsflächen konzentriert abgeleitet und über einen Punkteinlass in die Mulde geleitet werden oder an denen unbeschichtete Eindeckungen oder Regenrinnen und Fallrohre aus Zinkblech zur Dachentwässerung angeschlossen sind, zeigen deutliche Schwermetallakkumulationen in den direkten Einlassbereichen. Es ist bekannt, dass unbeschichtete Dachmaterialien stark korrodieren und hohe Mengen an gelösten und partikulären Schwermetallen freisetzen. Besonders problematisch ist dies, wenn bei entsprechenden Anschlussverhältnissen durch hohe Frachten mit einer Anreicherung im Boden oder Auswaschungen zu rechnen ist.

Eine Anreicherung der von der Regenrinne gelösten Schwermetalle findet jedoch hauptsächlich in dem obersten, stark humosen Horizont statt. Die Gehalte von Kupfer und Zink übersteigen besonders in diesen Bereichen der Mulde die Vorsorgewerte der BBodSchV deutlich. Bei punktuellen Einleitungen von Oberflächenabflüssen von Gewerbegebieten mit hohem Fahrzeugwechsel und/oder Rangierbetrieb zu einer starken Akkumulation von belasteten Sedimenten im Einlassbereich kommen. Diese weisen häufig Schwermetallkonzentrationen auf, die ebenfalls deutlich über den Vorsorgewerte der BBodSchV liegen. Die Ableitung großer Wassermengen bürgt auch hier die Gefahr der Verlagerung v.a. gelöster Schadstoffe mit dem Infiltrationswasser im direkten Einlassbereich.

Die eluierbaren Anteile mit Wasser (S4 Elution) der Muldensubstrate überschreiten die Prüfwerte der BBodSchV für den Pfad Boden-Grundwasser bisher nicht, auch wenn z.T. hohe Feststoffgehalte vorliegen.

Literatur

[1] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) (2009). Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 320 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist.

[2] WG-BW - Wassergesetz für Baden-Württemberg (2015): GBl.Nr. 17, S. 389 zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 16. Dezember 2014 (GBl. Nr. 24, S. 777) in Kraft getreten am 1. Januar 2015.

[3] DWA Arbeitsblatt A 138 (2008): Bemessung und Bau von Versickerungsanlagen, DWA, Hennef, ISBN 3-937758-66-6.

[4] BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Bundesgesetzblatt I, 12.7.1999.

[5] DWA-Arbeitsgruppe ES-3.1(2011): Erkenntnisse und Erfahrungen bei der Anwendung des Arbeitsblatts DWA-A 138 : Teil 1: Qualitative Hinweise : Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-3.1 „Versickerung von Niederschlagswasser“. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall Nr. 4; 335-341.

[6] LAWA- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser - Bericht Grund- und Trinkwasser. Kulturbuch-Verlag, Berlin.

[7] Eckelmann, W., Sponagel, H., Grottenthaler, W. (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte-Auflage.

[8] DIN 19682-7 (2015): Bodenbeschaffenheit- Felduntersuchungen- Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelring-Infiltrimeter.

[9] DIN 19683-9 (2012): Bodenbeschaffenheit – Physikalische Laboruntersuchungen- Teil 9: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in wassergesättigten Stechzylinderbodenproben.

[10] DIN 38414-S4 (1984): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4).