

Bodenfilteranlagen zur Reinigung von Abflüssen stark verschmutzter Verkehrsflächen

Auswahl geeigneter Bodensubstrate

Ulrich Kasting, Omar Gameh und Dieter Grotehusmann (Hannover)

Zusammenfassung

In der letzten Zeit werden vermehrt Bodenfilteranlagen zur Reinigung von Abflüssen stark verschmutzter Verkehrsflächen eingesetzt. Bei der Reinigung in Bodenfilteranlagen stehen gegenüber den straßenspezifischen Schmutzstoffen die Filtration für die partikulären und die Adsorption für die gelösten Stoffe im Vordergrund. In einem Forschungsvorhaben werden verschiedene Substrate auf ihre Adsorptionsleistung mit Schüttelversuchen untersucht. Dabei werden deutliche Unterschiede festgestellt. Vor dem Einbau in halbtechnische Bodenfilteranlagen werden die Substrate auf unerwünschte Inhaltsstoffe untersucht. Für die Bewertung werden die Mitteilungen Nr. 20 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall und die Bundes-Bodenschutzverordnung herangezogen.

Schlagwörter: Boden; Bodenfilter; Abwasserreinigung; Verkehrsfläche; Reinigungsleistung; Schadstoffe; Adsorption; Adsorptionsmittel

Summary

Soil Filtration Plants for the Treatment of Effluents from Severely Polluted Traffic Areas

Lately, more and more soil filtration plants are used for the treatment of effluents from severely polluted traffic areas. During cleaning in soil filtration plants, the emphasis is on the filtration of particular matter and the adsorption of dissolved matter, as opposed to street-specific pollutants. In a research project, shaking tests are used to study the adsorption capacity of different substrates. Clear differences were established. Before introducing them into semi-scale soil filtration plants, the substrates are tested for undesired ingredients. Assessment is done on the basis of Notification No. 20 of the Laender Working Group on Waste and the Federal Soil Protection ordinance.

Key words: soil, soil filter, wastewater treatment, traffic area, cleaning capacity, pollutants, adsorption, adsorbent

1. Einleitung

Neben dem Einsatz zur weitergehenden Mischwasserbehandlung werden Bodenfilteranlagen in letzter Zeit häufiger auch zur Behandlung von Abflüssen stark belasteter Verkehrsflächen eingesetzt, wenn aufgrund erhöhten Schutzbedarfes des Vorfluters hohe Anforderungen an die Reinigung gestellt werden. Ein häufiger Einsatzbereich ist die Reinigung von Abflüssen von Autobahnen in Trinkwasserschutzgebieten.

Die Behandlung der Abflüsse erfolgt in Bodenfilteranlagen durch die Passage einer Bodenschicht in einem zentralen Bauwerk. Neben der Reinigungswirkung besitzen Bodenfilter durch ihre Speichermöglichkeit und die gedrosselte Ableitung auch eine Retentionsfunktion. Die Reinigungsmechanismen beim Bodenfilter beruhen auf den wesentlichen Mechanismen der Filtration, der Sorption und des Abbaus. Dem eingesetzten Filtersubstrat kommt bei der Erfüllung dieser Aufgaben eine große Bedeutung zu. Allerdings gibt es bislang wenig Hinweise zu Anforderungen, die an Filtersubstrate zu stellen sind.

Ziel eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsprojektes ist es, verschiedene Bodenfiltersubstrate auf ihr Reinigungsverhalten hin zu untersuchen. Dazu werden verschiedene Substrate in Schüttelversuchen auf ihr Adsorptionsverhalten gegenüber Schwermetallen und Phosphat untersucht und bewertet. In halbtechnischen Bodenfilteranlagen werden die ausgewählten Substrate dann auf ihre Reinigungsleistung getestet. Die ersten Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens werden in diesem Artikel dargestellt und Folgerungen für die Zukunft abgeleitet.

2. Umgang mit Straßenabflüssen

2.1 Belastung von Abflüssen stark verschmutzter Verkehrsflächen

In Tabelle 1 sind als Anhaltswerte für die Belastung von Straßenabflüssen die frachtgewogenen Mittelwerte gemessener Stoffkonzentrationen von verschiedenen Messprogrammen aufgeführt.

Gegenübergestellt werden diese Werte den Zielvorgaben für die maximale Stoffkonzentration von Einleitungen in Fließgewässer der Güteklasse II nach der UVP-VwV [2]. Deutlich wird, dass bei den Parametern Kupfer, Blei und $\text{NH}_4\text{-N}$ der Mittelwert über den Vorgaben der UVP-VwV liegt. Eine Behandlung der Abflüsse ist somit erforderlich. Weiterhin sind zur Bewertung die „Allgemeinen Güteanforderungen für Fließgewässer“ mit angegeben, die in Nordrhein-Westfalen für Gewässer der Güteklasse II gelten. Zu beachten ist, dass es sich bei den Güteanforderungen um Konzentrationen im Gewässer handelt. Liegen die Konzentrationen im Straßenabfluss über den Güteanforderungen, wie z. B. beim CSB und Zink, so kann dies ein Hinweis darauf sein, dass diese Stoffe ein Problem im Gewässer darstellen könnten, wenn die Einleitmenge gegenüber dem Abfluss im Gewässer groß ist. Bei Vergleich mit den Zielvorgaben der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für aquatische Lebensgemeinschaften, die sich ebenfalls auf das Gewässer beziehen und bei deren Einhaltung eine Beeinträchtigung der aquatischen Ökosysteme in der Regel nicht zu besorgen ist, werden die um teilweise mehrere Größenordnungen höher liegenden Konzentrationen der Abflüsse von Straßen deutlich.

2.2 Behandlungsanlagen für Straßenabflüsse

Die Planung der Entwässerung von Straßen erfolgt in Deutschland nach den „Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung“ [3]. Straßen entwässern dabei hauptsächlich durch eine Versickerung über die Böschung bzw. über gesammelte Ableitung mit Anschluss an ein Sickerbecken, Rückhaltebecken oder direkt an eine Vorflut. Sind aufgrund qualitativer Gesichtspunkte besondere Anforderungen an die Regenwasserbehandlung zu stellen, so kommen Leichtflüssigkeitsabscheider nach DIN 1999 infrage. In Wassergewinnungsgebieten sind die Richtlinien der RiStWag [4] „Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten“ zu beachten.

Das 2000 erschienene Merkblatt ATV-DVWK-M 153 „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“ [5] gibt inzwischen Hinweise zur Behandlungsbedürftigkeit für Straßenabflüsse und zu geeigneten Behandlungsmaßnahmen. Neben Sedimentationsanlagen und der Reinigung in der Bodenpassage von Versickerungsanlagen kommen bewachsene Filterbecken (Bodenfilteranlagen) als Elemente der Regenwasserbehandlung infrage. Das Merkblatt weist bei der Versickerung von Abflüssen in den Grundwasserleiter Gebieten in Wasserschutzzonen und in Karstgebieten besondere Schutzbedürfnisse zu und stellt daher hohe Anforderungen an die Regenwasserbehandlung. Der Einsatz von Bodenfilteranlagen wird vornehmlich in diesen o. ä. Fällen erfolgen, bei denen hohe Anforderungen an die Reinigungsleistung gestellt werden.

Bodenfilteranlagen werden derzeit hauptsächlich im Bereich von stark befahrenen Straßen (zumeist Autobahnen und Bundesstraßen) eingesetzt. Nach einer Zusammenstellung des Landes Nordrhein-Westfalen [6] sind im Bereich des Rheinischen Autobahnamtes und Straßenbauamtes bereits mindestens neun Bodenfilteranlagen mit Filterflächengrößen zwischen 50 und 3 300 m^2 und einer spezifischen Filterfläche von 53–245 $\text{m}^2/\text{ha A}_u$ gebaut worden. Im Bereich des Landesbetrieb Straßenbau NRW – Niederlassung Köln sind bereits fünf Bodenfilteranlagen gebaut, und sechs Anlagen sind in

Parameter		Minimum	Maximum	Median	allgem. Anford. Fließgew. ¹⁾	UVP-VwV ²⁾	LAWA-Zielvorgabe ³⁾
AFS	[mg/l]	84	564	158	k. A.		
ASS	[ml/l]	1,8	2,4	2,1	k. A.		
CSB	[mg/l]	36	141	88	< 20		
Chlorid	[mg/l]	4	357	88	k. A.		
P ges	[mg/l]	0,25	0,49	0,31	< 0,3		
$\text{NH}_4\text{-N}$	[mg/l]	0,20	2,31	0,56	< 1	< 0,3	
Blei	[mg/l]	0,08	0,34	0,18	< 0,02	< 0,05	0,0034
Cadmium	[$\mu\text{g/l}$]	1,4	6,4	3,1	< 1	< 5	0,072
Chrom	[$\mu\text{g/l}$]	5,2	24,2	11,0	< 30	< 50	10
Kupfer	[mg/l]	0,04	0,14	0,10	< 0,04	< 0,05	0,004
Zink	[mg/l]	0,16	0,62	0,30	< 0,3		0,014
Nickel	[mg/l]	0,008	0,057	0,020	< 0,03		0,0044
Quecksilber	[$\mu\text{g/l}$]	–	–	0,403	< 0,5	< 1	0,04
Leitfähigkeit	[$\mu\text{S/cm}$]	386	962	442	k. A.		
PAK	[$\mu\text{g/l}$]	0,24	2,97	2,51	k. A.		
Kohlenwasserstoffe	[mg/l]	–	–	4,5	k. A.		

- 1) Runderlass des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen vom 14. Mai 1991 für die Gewässergüteklasse II
- 2) nach UVP-VwV Anhang 1, Pkt. 1.2.2 und 1.2.3 für Güteklasse II [2]
- 3) Zielvorgaben für das Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“, bezogen auf Gewässer mit Schwebstoffkonzentrationen von 25 mg/l (bei Fehlen von Schwebstoffdaten) [17]

Tabelle 1: Mittlere frachtgewogene Konzentrationen im Straßenabfluss verschiedener Messprogramme (ergänzt nach [1])

Planung. Von den gebauten Anlagen befinden sich zwei direkt in Wasserschutzgebieten. Die übrigen Anlagen befinden sich in der weiteren Umgebung von Wasserschutzgebieten.

3. Bodenfilteranlagen zur Reinigung von Straßenabflüssen

Für Bodenfilteranlagen zum Einsatz bei der Reinigung von Straßenabflüssen gibt es derzeit noch kein abgesichertes Vorgehen zur Bemessung, bei dem die Ziele Reinigungsleistung, Wirtschaftlichkeit und Langzeitverhalten optimiert sind. Die Bemessung sollte üblicherweise über eine Langzeitsimulation mit langjährigen Niederschlagsdaten erfolgen. In [7] sind Empfehlungen für die Bemessung von Bodenfiltern im Trennsystem gegeben. In [8] sind Hinweise auf eine Optimierung der Anlagen aufgeführt. Auf die Bemessung soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

Nachfolgend wird auf die prinzipiellen Reinigungsmechanismen bei der Bodenfiltration eingegangen, und bisherige Empfehlungen zur Wahl des Filtersubstrates werden aufgeführt.

3.1 Prinzipielle Reinigungsmechanismen

Der Transport und der Verbleib von Stoffen im Regenwasser bei der Bodenpassage wird von physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren bestimmt, die sich zum Teil gegen-

seitig beeinflussen. Nach ihrem Verhalten lassen sich Stoffe in

- perseverante Stoffe, die weder chemischen noch biologischen Reaktionen ausgesetzt sind und keinerlei Eliminationsmechanismen unterliegen (z. B. Chloride),
- persistente oder refraktäre Stoffe, die nicht chemisch oder biologisch abgebaut, aber an der Bodenmatrix durch physiko-chemische Vorgänge angelagert werden (z. B. Schwermetalle),
- abbaubare Stoffe, die durch biologische oder chemische Prozesse umgewandelt und abgebaut werden,

einteilen. Ein Teil der in den Boden eingetragenen Stoffe wird durch unterschiedliche Rückhalte- und Reinigungsprozesse im Bodensubstrat festgelegt. Von besonderer Bedeutung sind hier die Filtration, die Sorption sowie für organische Stoffe der Abbau.

Der Filtration unterliegen nur ungelöste Stoffe bzw. Stofffraktionen. In Niederschlagsabflüssen von Straßenabflüssen liegen z. B. die hydrophoben PAK und etliche Schwermetalle zu großen Anteilen in der an mitgeführten Feinstpartikeln adsorbierten Form vor.

Die Sorption an festen Bodenbestandteilen wird allgemein als der wichtigste Prozess bei der Immobilisierung von Schwermetallen und vielen organischen Spurenstoffen im Boden betrachtet. Aber auch der Rückhalt von Phosphat und die vorübergehende Festlegung von Ammonium bis zur Oxidation zu Nitrat wird durch die Sorption bedingt. Als Sorbenten fungieren vor allem Tonminerale, Sesquioxide und organische Substanz innerhalb der festen Bodensubstanz. Auf die Sorption von Schwermetallen übt der pH-Wert großen Einfluss aus.

Der Abbau von organischen Stoffen erfolgt durch Mikroorganismen, die das Bodenmaterial besiedeln. Der Boden selbst fungiert hier in der Hauptsache als Trägermaterial. Da alle biologischen Abbauvorgänge Zeit benötigen, ist zunächst eine vorübergehende Festlegung der Stoffe an der Bodenmatrix notwendig. Der Abbau wird vor allem durch die Temperatur und den Wasser- und Lufthaushalt der Böden bestimmt. Wesentlich ist vor allem eine gute Belüftung des Bodenkörpers, da die im Niederschlagsabfluss enthaltenen Stoffe vor allem dem aeroben Abbau unterliegen. Im Sommer laufen die Abbauprozesse durch die höheren Luft- und Bodentemperaturen deutlich schneller als im Winter ab. In der kalten Jahreszeit sind daher z. B. häufiger Ölschlieren im Straßenseitenbereich und in Entwässerungsanlagen zu beobachten.

3.2 Anforderungen an Bodenfiltersubstrate

Anforderungen an die Qualität der einzusetzenden Bodenfiltersubstrate liegen bislang kaum vor. Häufiger wurde daher auf folgende Angaben zurückgegriffen:

In [4] wird für Versickerungsbecken bei besonderen Fällen eine 20–40 cm mächtige Bodenschicht mit folgender Zusammensetzung vorgeschlagen. Zwar gelten diese Empfehlungen nicht für Bodenfilteranlagen, jedoch wird diese Empfehlung von der Straßenbauverwaltung teilweise auf Bodenfilteranlagen übertragen.

- Kies/Sand mit 5 cm Oberbodenabdeckung und Magerrasen

- Mischung aus 10 % Oberboden, 35 % Lava 4/11, 35 % Bims 0/1–0/30, 20 % offenerporiger Harzschaum
- Mischung aus 40 % Lava 4/11, 40 % Bims 0/1–0/30, 20 % offenerporiger Harzschaum.

In [7] werden für Bodenfilter im Trennsystem Hinweise gegeben. Dabei wird ein Sand 0/2 mit einem Anteil der Ton- und Schlufffraktion unter 5 % und einem Anteil der Feinkiesfraktion von 2–4 mm von maximal 5 % empfohlen. Für den Einsatz von Lehm Bögen hat sich in der Praxis herausgestellt, dass sehr hohe Anforderungen an die Einbauqualität zu richten sind, um eine ausreichende hydraulische Leistungsfähigkeit sicherzustellen.

In [6] werden speziell Hinweise für die Bodenfiltersubstrate gegeben:

- Einschichtiger Filteraufbau wird empfohlen,
- Bindige Filterböden sollten wegen der Gefahr der Kolmation und des Gröbstporenflusses bei Trockenheit, bei der die Reinigung stark herabgesetzt sein kann, vermieden werden. Sandböden werden somit empfohlen.
- Carbonatgehalt > 10 %
- Zumischung von Kompost oder Torf wird nicht empfohlen, da mit einer hohen Mineralisierung und somit CSB-Freisetzung zu rechnen ist.

Weitere Hinweise sind in [11] zu finden, die sich auf den Rückhalt von Schadstoffen in Versickerungsanlagen beziehen. Bei Herstellung einer Oberbodenschicht für Versickerungsanlagen soll der Tonanteil durch Bentonitzugabe auf < 10 % begrenzt werden, die Erhöhung der organischen Substanz durch Humus oder Kompostzugabe nur bis 1–3 Masse-% erfolgen und der pH-Wert des Bodens bei 6–8 liegen. Bei gegebenenfalls erforderlicher Aufkalkung des Bodens soll kein leicht löslicher Kalk verwendet werden.

Neben den qualitativen Anforderungen müssen die Substrate zur Bodenfiltration frostbeständig und stabil gegen Abrieb sein. Der Einbau muss filterstabil erfolgen. In Abhängigkeit von der erforderlichen Durchlässigkeit ist eine Körnungslinie bzw. ein Körnungslinienbereich vorzugeben.

4. Auswahl von Bodenfiltersubstraten

In einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsvorhaben soll ein semizentraler Bodenfilter entwickelt werden, der mit geringem Flächenbedarf eine bestmögliche Reinigung stark verschmutzter Regenabflüsse von Verkehrsflächen leistet. Mithilfe von Schüttelversuchen werden in einem ersten Teil dieses Vorhabens verschiedene Bodenfiltersubstrate ausgesucht. Die Ergebnisse dieses Teils werden nachfolgend aufgeführt. In halbtechnischen Versuchen werden die so ausgesuchten Substrate auf ihr Reinigungsverhalten überprüft. Diese Untersuchungen laufen derzeit noch.

4.1 Untersuchte Substrate

Es werden verschiedene Substrate ausgewählt, die in ausreichender Menge zur Verfügung stehen und aufgrund ihres Körnungsbereiches und somit der hydraulischen Leistungsfähigkeit prinzipiell für den Einsatz in Bodenfilteranlagen geeignet sind. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die untersuchten Substrate. Auswahlkriterium ist der bisherige Einsatz bzw.

Name	Ursprung	Eigenschaften	Einsatzbereiche
Basalt	dunkles Ergussgestein	gebrochene, kantige Kornform, hoher Anteil an Fe- und Al-Verbindungen	Trink- und Betriebswasseraufbereitung
Lavasand	vulkanisches Gestein	Wasserspeichungsvermögen 15%, hoher Anteil an Al (12%) u. Fe (10%)	Straßen-, Garten- und Landschaftsbau
Bims	vulkanisches Gestein	Wasserspeichungsvermögen 25–35%, hoher Anteil an Al (22%) u. Fe (2%)	Trink- und Abwasserreinigung, Garten- und Landschaftsbau
Quarzsand	Sediment	abgerundete Kornform, geringer Anteil von Aluminium und Eisen	Erd-, Straßenbau, Trinkwasseraufbereitung, Pflanzenkläranlagen etc.
Sand	Sediment	mit hohem Eisen- und Carbonatgehalt	Erd-, Straßenbau,
Blähton	Rohton	keramische, luftgefüllte Tonkugeln, gute Wasserspeicherkapazität	Garten- und Landschaftsbau, Wärmedämmung
Zeolith	vulkanisches Gestein bzw. synthetische Herstellung	gute Adsorptionseigenschaften durch negative Gitterladungen	Abwasserreinigung, Garten- und Landschaftsbau
Dolomitsteinmehl	Rohdolomit	Bestandteile: hauptsächlich Calcium- und Magnesiumcarbonat	in Substratfiltern als Zuschlagsstoff, Bodenverbesserung
Ferrosorp®Plus	künstlich hergestellt	hohe spezifische Oberfläche (300 m ² /g), hoher Anteil an Eisenhydroxiden	Festbett- und Wirbelschichtadsorber
Braunkohlenkoks	Braunkohle	schwammähnliche Porenstruktur mit großer aktiver Oberfläche	unter anderem in der Rauchgas- und Abwasserreinigung
Anthrazit	Produkt aus Steinkohle	hartes und scharfkantiges Material mit splittiger Kornform	Trink-, Brauch- und Abwasserbereich
Rindenhumus	Fichten- und Kiefernrinde	güteüberwacht RAL-GZ 250 pH-Wert 5,3–5,8, Körnungen 0/6 und 6/18	Garten- und Landschaftsbau, Luftfilter
Fertigkompost	Grünschnitt und Bioabfall	güteüberwacht RAL-GZ 251	Garten- und Landschaftsbau

Tabelle 2: Eingesetzte Substrate für die Schüttelversuche

die chemischen Eigenschaften, die eine gute Adsorptionsleistung vermuten lassen. So wird z. B. ein hoher Anteil an Eisen-, Aluminium- und Manganoxiden (Sesquioxide) als Hinweis auf ein hohes Adsorptionsvermögen angesehen [10].

Weiterhin werden Substrate mit einem hohen Anteil an organischer Substanz ausgewählt. Organische Substanz führt nach [9] und [10] zu einer Steigerung des Adsorptionsvermögens. Um eine gute Reproduzierbarkeit bei den organischen Substraten zu erreichen, werden nur gütegesicherte Substrate eingesetzt. Bei den durchgeführten Versuchen stellte sich heraus, dass der Blähton als Substrat für Bodenfilteranlagen eher nicht geeignet ist, da er durch seine geringe Dichte zum Aufschwimmen neigt und die mechanische Belastbarkeit begrenzt ist.

4.2 Schüttelversuche

Ziel der Schüttelversuche ist es, ein adsorptionsstarkes Bodenfiltersubstrat zu ermitteln, das gegenüber den gelösten Anteilen der Schwermetalle, Phosphor und Kohlenwasserstoffe eine hohe Reinigungsleistung aufweist.

Versuchsdurchführung

Die Schüttelversuche wurden in Kooperation mit der Fachhochschule Nordostniedersachsen in Suderburg durchgeführt. In einem ersten Screening wurden die Versuche in Anlehnung an DIN 38414 Teil 4 [12] durchgeführt, bei dem die Trennung der Probe von der Gleichgewichtslösung über Membranfilter (Porenweite 0,45 µm) erfolgt. Bei diesem Vorgehen sind für die Schwermetalle in der Ausgangslösung die Konzentrationen relativ gering zu halten, da es sonst am Filter zu unerwünschten Adsorptionserscheinungen kommt. Das Ver-

hältnis zwischen Schüttellösung und Substrat betrug 10 : 1; die Substratmenge betrug 30 g; die Schüttelzeit lag bei 24 Stunden. Für die Schwermetalle wird über Nitratsalze eine Lösung hergestellt, in der die Schwermetalle in etwa in den Verhältnissen im Regenabfluss nach Tabelle 1 vorkommen. Damit wird die Konkurrenzsituation der Metalle bei der Adsorption berücksichtigt.

In einem zweiten Screening werden für ausgewählte Substrate Adsorptionsisothermen nach [13] und [14] aufgenommen. Bei diesem Vorgehen erfolgt die Trennung über Zentrifugation. Das Verhältnis zwischen Schüttellösung und Substrat beträgt 5 : 1; die Substratmenge beträgt 20 g; die Schüttelzeit liegt bei 16 Stunden. Bei diesem Vorgehen konnten höhere Ausgangskonzentrationen eingesetzt werden. Die Ergebnisse des ersten Screenings konnten damit bestätigt werden.

Ergebnisse

Für den Vergleich der Adsorptionsleistung der Substrate werden die sich bei den Schüttelversuchen einstellenden Gleichgewichtskonzentrationen ermittelt. Es zeigt sich, dass deutliche Unterschiede beim Adsorptionsverhalten gegenüber den Schwermetallen und Phosphat bestehen.

Adsorption Schwermetalle

Folgende Substrate schneiden überwiegend gut ab: Bims, Sande mit relativ hohem Eisen- und Carbonatgehalt und Ferrosorp®Plus. Auch recht gut sind Basalt, Zeolith, Blähton und Feinsand. Deutlich ungünstiger sind die übrigen Substrate.

Auffällig ist, dass bei den unterschiedlichen Proben an Basalt und Bims mit jeweils zwei verschiedenen Proben die

Bewertung nicht einheitlich ausfällt und sowohl eine Probe mit hohem bzw. geringen Adsorptionsvermögen vorliegt. Einheitlich dagegen sind die beiden Proben des Lavasandes mit geringer Adsorptionsstärke. Dieses Ergebnis überrascht etwas, da der Gesamtgehalt an Eisen und Aluminium bei den Lavasanden recht hoch ist. Dies deutet darauf hin, dass der Gesamtgehalt an Eisen und Aluminium nicht ausschlaggebend für gute Adsorptionseigenschaften ist. Erwartungsgemäß wurde aufgrund der chemischen Zusammensetzung für den Quarzsand und aufgrund der glasigen Oberfläche des Anthrazits ein relativ geringes Adsorptionsvermögen nachgewiesen.

Adsorption Phosphat

Bei Phosphat sind sehr starke Unterschiede im Adsorptionsverhalten vorhanden. Nur Ferrosorp®Plus und der Braunkohlkoks weisen eine sehr hohe Adsorption ($> 1000 \text{ mg P}_{\text{ges}}/\text{kg Bodensubstrat}$) auf. Die besten Sande adsorbieren etwa $10\text{--}50 \text{ mg P}_{\text{ges}}/\text{kg Bodensubstrat}$ bei einer Konzentration von $0,3 \text{ mg/l P}$ in der Gleichgewichtslösung. Bei manchen Substraten (Komposte, Rindenumus) erfolgt eine Desorption von P_{ges} , d. h. dass bei diesen Substraten gespeichertes P_{ges} freigesetzt wird. Angemerkt sei an dieser Stelle, dass Braunkohlkoks und Ferrosorp®Plus die teuersten Substrate mit Kosten von 600 bzw. 2 000 DM/m³ sind.

Adsorption von mineralischen Kohlenwasserstoffen

Die organischen Substrate (Kompost und Rindenumus) wurden zusätzlich auf eine Adsorption von mineralischen Kohlenwasserstoffen (min. KW DIN 38409-H18) hin untersucht. Bei diesen Untersuchungen wurde bei allen Substraten bereits im untersten Konzentrationsbereich eine Desorption von min. KW festgestellt. Auch bei den Eluatbestimmungen mit destilliertem Wasser nach Abschnitt 5 wurde Desorption festgestellt. Daher wurden die Versuche abgebrochen. Eine Adsorption von min. KW an die organische Substanz konnte somit hier mit diesem Versuchsaufbau nicht festgestellt werden. Eine Freisetzung von min. KW ist bei Einsatz der organischen Substrate zu erwarten.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse aus dem zweiten Screening aufgeführt, bei dem der bislang gut abgeschnittene Sand mit den schlechter abgeschnittenen Lavasand und Quarzsand verglichen werden. Es ist zu erkennen, dass auch beim zweiten Screening der Sand ein deutlich höheres Adsorptionsvermögen aufweist als die beiden anderen Substrate. So liegt z. B. beim Parameter Zink für eine Konzentration in der Gleichgewichtslösung von $0,2 \text{ mg/l}$ die adsorbierte Stoffmenge für den Sand bei 70 mg/kg gegenüber 10 mg/kg beim Lavasand und $< 1 \text{ mg/kg}$ beim Quarzsand.

4.3 Bodenkennwerte ausgewählter Substrate

Für einige Substrate wird untersucht, inwieweit relativ einfach zu erhebende chemische Bodenkennwerte einen Aufschluss über die Adsorptionsstärke geben. Nach [10] erfolgt die spezifische Adsorption durch hydroxilierte Oberflächen der Fe-, Al- und Mn-Oxide (Sesquioxide). Nach [15] lassen sich die leicht mobilisierbaren pedogenen Oxide (Fe-, Mn-, Al- und Si-Oxide bzw. Hydroxide und Oxidhydrate) durch Extraktion mit Oxalat (aktive Oxide z. B. Fe_2O_3) und die besser kristallisierten

Prüfen und Sanieren mit Vetter.

Wir sprachen mit Manfred Vetter über die neue europäische Prüf-Norm.



Herr Vetter, Sie haben Ihre Messgeräte technisch für die neue europäische Prüf-Norm EN 1610 für Abwasserkanäle und Leitungen ausgerichtet?

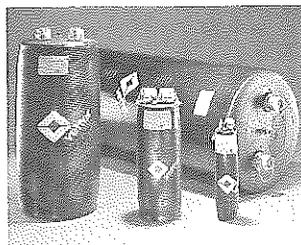
Vetter: Der Linienschreiber und Drucktransmitter in Verbindung mit unseren bewährten Vetter Prüf-Dichtkissen erfüllt jetzt schon alle Wünsche professioneller Anwender für Dichtheitsprüfungen nach EN und DIN mit Luft oder Wasser.

Und wie präzise arbeitet dieses Meßgerät?

Vetter: Es arbeitet mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5\%$

Sie bieten ja auch ein umfangreiches Sortiment von Prüf-Dichtkissen mit Zubehör an?

Vetter: Wir liefern Standard-Rohr-Dichtkissen für Rohre von 10 bis 140 cm Durchmesser und in Sondergrößen bis 200 cm.

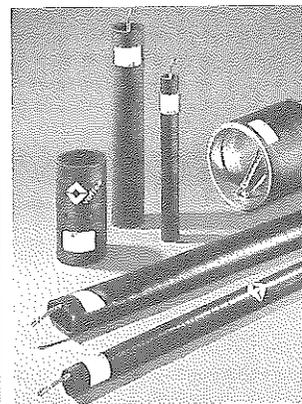


Produzieren Sie auch Sonderformen?

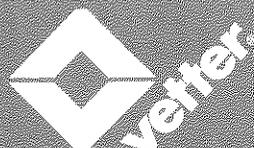
Vetter: Für nicht runde Kanalsysteme stellen wir auch speziell geformte Dicht- und Prüf-kissen her, z.B. in Eiform.

Und für die Reparatur von Kanälen bieten Sie auch geeignete Hilfsgeräte an?

Vetter: Ja, hierfür stehen unsere Packer zur Verfügung. Diese Packer werden für die Sanierung von Rohrleitungen erfolgreich eingesetzt.



Also Vetter-Komplettlösungen von Profis für Profis, was Rohrdichtprüfung und Kanal-Sanierung angeht. Wir danken Ihnen für das Gespräch.



Vetter ist DIN EN ISO 9001 zertifiziert – auch zu Ihrer Sicherheit

Manfred Vetter GmbH & Comp.
Postfach 1355 / Abt. KA
53905 Zülpich
Telefon 0 22 52 / 30 08 60
Telefax 0 22 52 / 30 08 70
<http://www.vetter.de>
info@vetter.de

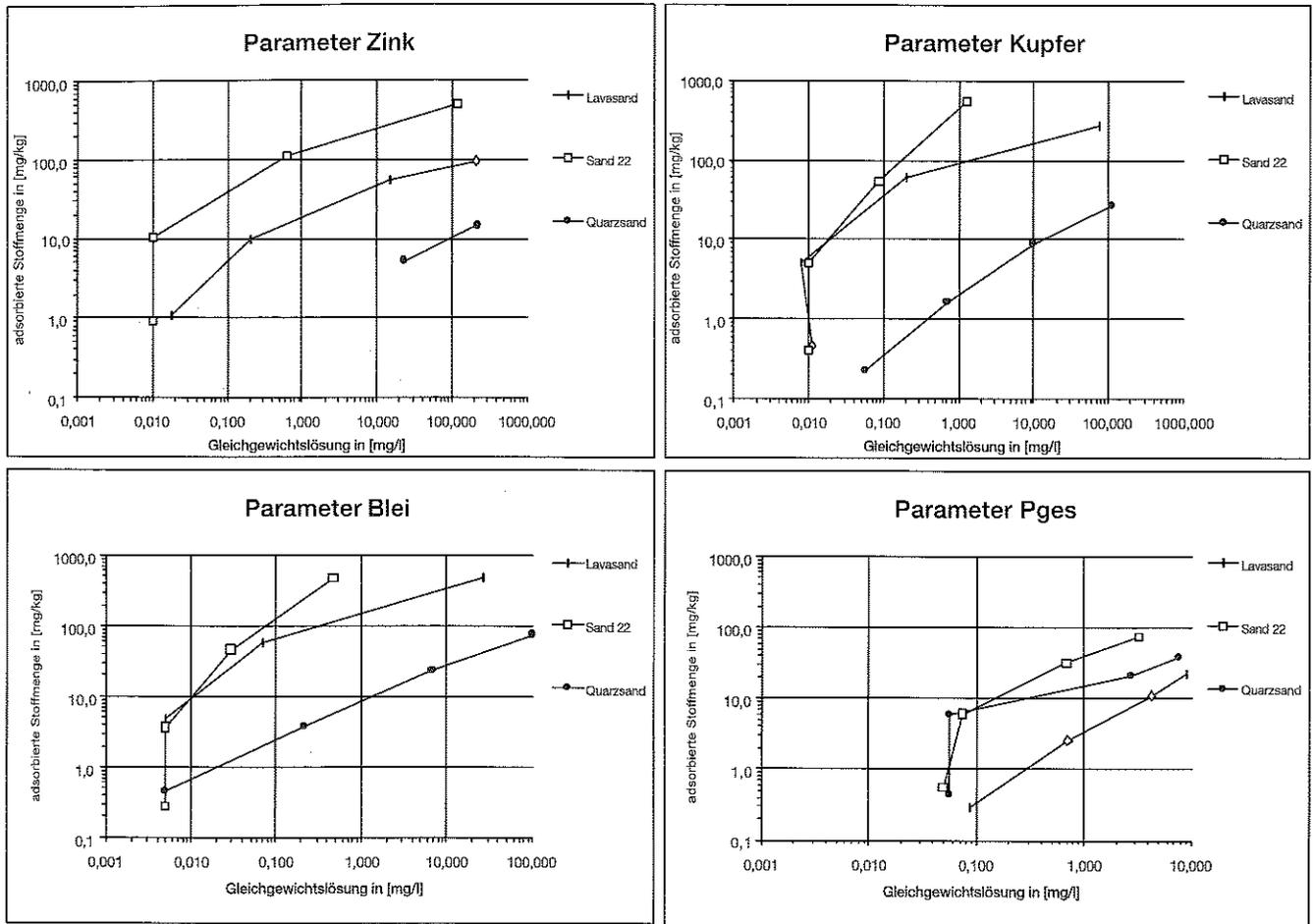


Abb. 1: Adsorptionsisothermen für die Substrate Sand, Lavasand und Quarzsand nach dem zweiten Screening

Verbindungen durch Extraktion mit Dithionit (z. B. Fe_d) nachweisen. Weiterhin wird die Kationenaustauschkapazität ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Beim Lavasand wird der bereits genannte Unterschied zwischen Gesamtgehalt und dem extrahierbaren Anteil (Oxalat und Dithionit) deutlich. Trotz der höchsten Gehalte an Eisen (74 900 mg/kg) und Aluminium (70 760 mg/kg) besitzt der Lavasand einen sehr geringen Anteil an Fe_o von 105 mg/kg bzw. Fe_d von 343 mg/kg. Der Sand mit einer deutlich besseren Adsorptionsleistung weist gegenüber dem Lavasand zwar geringere Gesamtgehalte an Eisen auf, besitzt dagegen aber einen höheren Anteil an Fe_o mit 123 mg/kg und einen deutlich höheren Anteil an Fe_d mit 3 784 mg/kg.

	Lavasand	Bims	Quarzsand	Sand
$CaCO_3$ [%]	0,39	0,00	0,00	13,92
Fe_o [mg/kg]	105	214	79	123
Fe_d [mg/kg]	343	1 412	145	3 784
Fe_{gesamt}^1 [mg/kg]	74 900	34 060	2 008	20 730
Al_{gesamt}^1 [mg/kg]	70 760	88 010	11 440	25 130
Mn_{gesamt}^1 [mg/kg]	1 031	1 391	48	555
KAK_{pot} [cmol _c /kg]	0,88	4,39	0,31	4,24

1) Nachweis mit Röntgenfluoreszenzanalyse

Tabelle 3: Kennwerte der untersuchten Substrate

Nach [9] erfolgt die Adsorption des Anions Phosphat hauptsächlich durch eine spezifische Adsorption an Eisen- bzw. Aluminiumhydroxide. Zwar wurden bei den Untersuchungen Al_d und Al_o nicht extra nachgewiesen. Die früher festgestellte Rangfolge der Adsorptionsleistung der untersuchten Substrate gegenüber Phosphat wird bei den hier untersuchten Substraten aber gut durch den Fe_d -Gehalt wiedergegeben. Der Fe_o -Gehalt spiegelt in diesem Fall die festgestellte Adsorptionsleistung gegenüber Phosphat nicht wieder. Sehr deutlich wird aber, dass die alleinige Angabe der Gesamtgehalte an Fe, Al und Mn für die Einschätzung der Adsorptionsleistung ungeeignet ist.

5. Anforderungen an die Einbauqualität

Vor dem Einbau in Bodenfilteranlagen sind die Substrate hinsichtlich ihrer Ausgangsbelastung zu untersuchen. Es ist darauf zu achten, dass durch Desorption von eventuell vorhandenen Schadstoffen der eingebauten Substrate es nicht zu einer Belastung der Vorfluter kommt. Für die Bewertung der Bodenanalysen werden die Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) und die „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen“ (LAGA 20) [16] herangezogen.

Per Definition sollte die LAGA 20 bei der Beurteilung der Einbausubstrate in den Bodenfilter angewendet werden. Damit kann sichergestellt werden, dass keine Altlasten als Filtermaterial eingesetzt werden. Für die Beurteilung werden die Zo-

Parameter	Substrat	Substrate						Prüfwert BBodSchV ¹⁾	LAGA Z0
		Lavasand	Bims	Ferrosorp®Plus	Quarzsand	Braunkohlenkoks	Sand		
Arsen 193	[µg/l]	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	k. A.	k. A.
Arsen 188	[µg/l]	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	10	10
Antimon	[µg/l]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10	k. A.
Blei	[µg/l]	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	25	20
Cadmium	[µg/l]	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	5	2
Chrom	[µg/l]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	50	15
Molybdän	[µg/l]	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	50	k. A.
Kobalt	[µg/l]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	50	k. A.
Kupfer	[µg/l]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	50	50
Nickel	[µg/l]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	50	40
Quecksilber	[µg/l]	< 0,1	< 0,1	0,7	< 0,1	1,3	< 0,1	1	0,2
Selen	[µg/l]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10	k. A.
Zinn	[µg/l]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	40	k. A.
Zink	[µg/l]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	500	100
Cyanid ges.	[µg/l]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	50	< 10
Cyanid leicht freisetzbar	[µg/l]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10	k. A.
Fluorid	[µg/l]	120	280	52 000	< 50	790	100	750	k. A.

1) Wirkungspfad Boden – Grundwasser

Tabelle 4: Bestimmung der Eluatkonzentrationen [mg/l] für die ausgewählten Substrate – Vergleich mit Grenzwerten nach BBodSchV und LAGA Z0

Werte (für uneingeschränkten Einbau) zugrunde gelegt. Da Zo-Werte sowohl für Feststoffgehalte als auch für Eluatwerte vorgegeben sind, werden die Eluatwerte für die Bewertung verwendet, da bei Bodenfiltern durch die hohe hydraulische Belastung die Eluation von Schadstoffen die größte Gefahr darstellt.

Neben den Zo-Werten der LAGA werden auch die Prüfwerte der BBodSchV für den Wirkungsgrad Boden-Grundwasser überprüft. Allerdings ist bei diesen Prüfwerten zu berücksichtigen, dass sie für den „Ort der Beurteilung“ gelten, d. h. direkt im Übergang von der ungesättigten in die gesättigte Zone. Werden Abflüsse aus einem Bodenfilter anschließend versickert, so kommt es beim Durchsickern zu einer weiteren Reinigung der Abflüsse. Somit müsste dieser Reinigungseffekt bei der Beurteilung der Zulässigkeit der Versickerung von Bodenfilterabflüssen mitberücksichtigt werden. In diesem Fall sollen die Prüfwerte nur als Vergleichswert für die Eluatkonzentrationen der untersuchten Substrate dienen. Beim Vergleich der Vorgaben nach LAGA Z0 und der BBodSchV zeigt sich, dass die LAGA Z0 die schärferen Anforderungen stellt, wobei bei der BBodSchV das Parameterspektrum etwas größer ist.

In Tabelle 4 sind die Eluatkonzentrationen für die untersuchten Substrate aufgeführt. Eine Überschreitung der Grenzwerte tritt für die Substrate Ferrosorp®Plus und Braunkohlenkoks bei Quecksilber auf. Werden außerdem die Prüfwerte der BBodSchV berücksichtigt, so kommt es bei den beiden genannten Substraten auch zu einer Überschreitung für den Parameter Fluorid, die bei Ferrosorp®Plus sehr stark ausfällt

(Faktor 65). Da bei den untersuchten Substraten kein Verdacht auf Altlasten vorliegt, werden die Parameter BTEX, LHKW, PAK, PCB, EOX und KW nach LAGA Z0 nicht untersucht.

Für den Oberboden der Filtersubstrate soll weiterhin untersucht werden, ob der Einsatz von organischen Substraten sinnvoll ist, die nach Literaturangaben ein gutes Adsorptionsvermögen gegenüber z. B. min KW und PAK aufweisen. Unter dem Gesichtspunkt der besseren Reproduzierbarkeit des Ausgangsmaterials wird der Rindenumus o/6 ausgewählt, von dem gegenüber einem Bio- oder Grünschnittkompost eine gleichbleibendere Qualität erwartet wird, da im Ausgangsmaterial potenziell weniger Störstoffe enthalten sind. Die Analyseergebnisse (Feststoffgehalt) für die Untersuchung des Rindenumus zeigen, dass für die Parameter EOX, min. KW, PAK, Chlorid, Arsen, Blei und Zink Überschreitungen der Grenzwerte festzustellen sind. Insbesondere für die mineralischen Kohlenwasserstoffe liegt die Konzentration mit 793 mg/kg deutlich über dem Zo-Wert von 100 mg/kg. Die Ursache für diese Überschreitung konnte nicht geklärt werden.

Aufgrund der erzielten Ergebnisse wird für den zweiten Teil des Forschungsvorhabens beim Aufbau der halbtechnischen Bodenfilteranlagen der relativ adsorptionsstarke Sand detaillierter untersucht. Dabei wird eine Verbesserung der P-Adsorption durch Zumischung von Braunkohlenkoks berücksichtigt. Weiterhin werden auch Lavasand, Bims und Quarzsand als günstige und gut verfügbare, aber eher adsorptionschwache Substrate getestet. Auf den Einsatz von Rindenumus wird verzichtet.

6. Fazit und Ausblick

Bei der Behandlung von Abflüssen stark belasteter Straßen in Bodenfilteranlagen kommt dem eingesetzten Bodenfiltersubstrat eine hohe Bedeutung zu, da die Reinigungsleistung gegenüber den im Abfluss enthaltenen Schwermetallen neben der Filtration hauptsächlich durch die Adsorption erfolgt. Im Rahmen eines durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsvorhabens werden verschiedene Substrate auf ihr Adsorptionsvermögen hin untersucht. In Schüttelversuchen lassen sich deutliche Unterschiede im Adsorptionsverhalten gegenüber den eingesetzten Schwermetallen Zink, Blei, Cadmium und Kupfer feststellen.

Bei der Adsorption gegenüber Phosphat weisen die technisch aufbereiteten Substrate Ferrosorp®Plus und Braunkohlkoks mit über 1 000 mg/kg Boden bei einer Konzentration in der Bodenlösung von 0,3 mgP/l eine wesentlich höhere Adsorptionsleistung auf als die besten Sande mit 10–50 mg/kg Boden. Allerdings sind die Kosten mit etwa 600 DM/m³ Braunkohlkoks bzw. 2 000 DM/m³ für Ferrosorp®Plus um Größenordnungen teurer als bei Sanden (< 20 DM/m³).

Die Bodenkennwerte Fe_d und Fe_o geben die festgestellten Ergebnisse bei den Schüttelversuchen teilweise recht gut wieder. Um allgemein gültige Aussagen machen zu können, die bei der Ausschreibung von Substraten als Anforderung formuliert werden können, sollten die Ergebnisse aber auf eine breitere Basis gestellt werden.

Vor dem Einbau in Bodenfilteranlagen sollten die Substrate auf ihre Ausgangsbelastung hin getestet werden. Zur Beurteilung werden die Zo-Werte der LAGA 20 angesetzt, wobei so weit möglich die Eluatkonzentrationen verwendet werden sollten. Für die Ausschreibung wird die Einhaltung dieser Werte als zu forderndes Kriterium für die Substrate empfohlen.

In dem zweiten Teil des Forschungsvorhabens werden in halbertechnischen Bodenfilteranlagen derzeit ausgewählte Substrate auf ihre Reinigungsleistung hin untersucht, um die Ergebnisse der Schüttelversuche im Anlagenbetrieb zu überprüfen. Die Ergebnisse werden Ende 2001 vorliegen.

Literatur

- [1] Wirksamkeit von Entwässerungsbecken im Bereich von Bundesfernstraßen, Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie im Auftrag Ingenieurdienst Nord, November 2000, unveröffentlicht
- [2] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausführung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP-VwV), vom 18. September 1995 (GMBL S. 671)
- [3] Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1987
- [4] Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1982
- [5] Merkblatt ATV-DVWK-M 153: „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“, Hennef 2000
- [6] Bodenfilteranlagen in Nordrhein-Westfalen – Stand der Technik, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, 2001, unveröffentlicht
- [7] Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Handbuch Wasser 4, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1998

- [8] Kasting, U.: Hydraulisches Verhalten von Bodenfilteranlagen zur weitergehenden Misch- und Regenwasserbehandlung, KA 10/2000, S. 14/81
- [9] Scheffer, Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, 13. Aufl., Enke-Verlag, 1992
- [10] Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen, DVWK-Merkblätter 212/1988, Verlag Paul Parey
- [11] Überarbeitung des Arbeitsblatt ATV-A 138 „Planung, Bau und Betrieb zur Versickerung von Niederschlagswasser“, Entwurf April 2001
- [12] DIN 38414 Teil 4: Schlamm und Sediment, Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser, 1984
- [13] OECD Guideline for testing of Chemicals, 106 „Adsorption/Desorption“ 1981
- [14] Kukowski, H.: Untersuchungen zur Ad- und Desorption ausgewählter Chemikalien in Böden, Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel, Nr. 7, 1989
- [15] Schlichting, E., H.-P. Blume, K. Stahr: Bodenkundliches Praktikum, 2. Aufl., Pareys Studentexte 81, 1995
- [16] Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen, 6. November 1997
- [17] Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer, Band II, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 1988

Autoren

Dipl.-Ing. Ulrich Kasting, Dr.-Ing. Dieter Grotehusmann,
Dipl.-Ing. Omar Gameh
Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH
Stiftstraße 12, 30159 Hannover



Korrektur

Im Beitrag „Untersuchung der Probenvorbehandlung durch Sedimentation für Online-Analysatoren“ von R. J. Vestner, F. W. Günthert und N. Kittl (KA 8/2001, Seite 1098) wurde Abbildung 8 auf Seite 1104 unvollständig wiedergegeben. Hier Abbildung 8 in richtiger Darstellung. Wir bitten um Nachsicht.

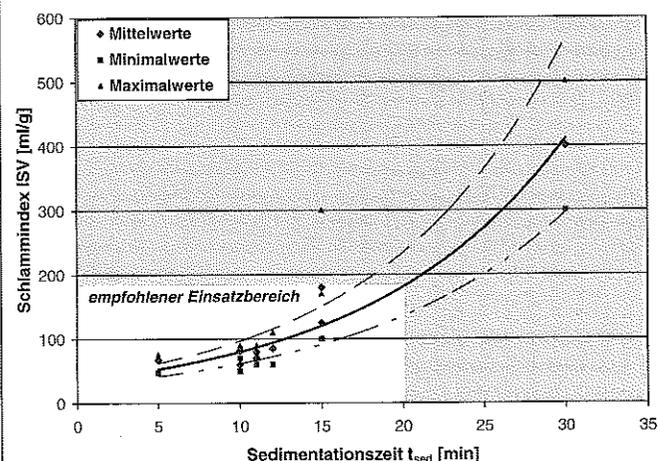


Abb. 8: Mittelwerte und Schwankungsbreite der Schlammindizes im Vergleich zur eingestellten Sedimentationszeit bei kommunalen Kläranlagen (eigene Werte und Ergebnisse der Umfrage). Vielfach liegen Werte übereinander