

Hydraulisches Verhalten von Bodenfilteranlagen zur weitergehenden Misch- und Regenwasserbehandlung

Ulrich Kasting (Hannover)

Zusammenfassung

Für ein Modellgebiet wird der Einsatz von Bodenfiltern zur weitergehenden Misch- und Regenwasserbehandlung im Einsatz sowohl im Misch- als auch im Trennsystem untersucht. Dabei werden die Parameter Versickerungsrate des Filterbodens, spezifische Filterfläche und Einstauhöhe variiert und die Auswirkungen auf den hydraulischen Wirkungsgrad, die Stapelhöhe und die Einstaudauern untersucht. Beim Einsatz von Bodenfiltern im Mischsystem ist die Drosselabflussspende und bei Bodenfiltern im Trennsystem zusätzlich die Stapelhöhe die entscheidende Randbedingung für die Bemessung. Die Einstauhöhe hat einen geringen Einfluss auf die behandelte Wassermenge. Beim Trennsystem ist bei geringen Drosselabflussspenden mit langen Einstauzeiten zu rechnen. Es wird Forschungsbedarf hinsichtlich der Optimierung zwischen hydraulischer Belastung, Reinigungsleistung und Langzeitverhalten aufgezeigt.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, Regenwasser, Mischsystem, Trennsystem, Bodenfilter, Anlage, hydraulische Versickerung, Bewertung, Kosten

Summary

Hydraulic Behaviour of Soil Filter Plants for the Advanced Treatment of Combined Water and Rainwater

The use of soil filters for the advanced treatment of combined water and rainwater under practical conditions in both combined systems and separate systems is studied in one model area. Three parameters, i.e. percolation rate of the filter bottom, specific filter surface, and standing height, were altered and the impact of these variations on the hydraulic efficiency, the storage height, and the standing times were studied. When using soil filters in combined systems, the flow restrictor rate is the decisive dimensioning criterion; for soil filters in separate systems the storage height is a second important criterion. The standing height has hardly any influence on the amount of water that is treated. In separate systems with low flow restrictor rates, long standing times must be allowed for. The paper points out the need for further research into the

optimization of the interactions between hydraulic load, purification rate, and long-term behaviour.

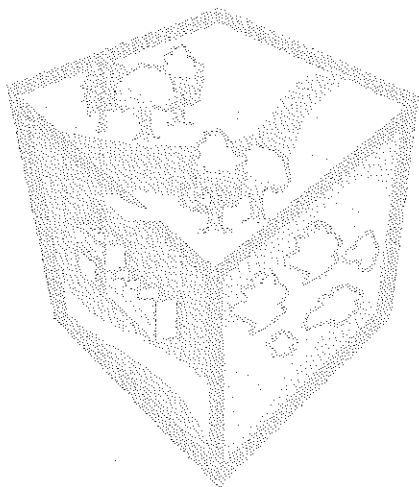
Key words: wastewater treatment, rainwater, combined system, separate system, soil filter, plant, hydraulic, percolation, assessment, costs

1. Einleitung

In den letzten Jahren werden Bodenfilter zur weitergehenden Misch- und Regenwasserbehandlung eingesetzt. Neben der Reinigungswirkung besitzen Bodenfilter durch ihre Speichermöglichkeit und die gedrosselte Ableitung auch eine Retentionsfunktion. Bodenfilter werden sowohl in Mischsystemen [1], [2] als auch in Trennsystemen [3] eingesetzt. Bei Mischsystemen können Bodenfilter zur Erfüllung weitergehender Anforderungen nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 128 [4] eingesetzt werden. Bei Trennsystemen kann ein Einsatz der Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung erfolgen, wenn aufgrund stärkerer Belastung der Niederschlagsabflüsse und erhöhtem Schutzbedarf des Vorfluters eine Reinigung erforderlich wird. Hinweise zur Behandlungsbedürftigkeit gibt Merkblatt ATV-DVWK-M 153 [5].

Für Bodenfilteranlagen gibt es derzeit noch kein abgesichertes Vorgehen zur Bemessung, bei dem die Ziele Reinigungsleistung, Wirtschaftlichkeit und Langzeitverhalten optimiert sind. Ursache sind die noch recht kurzen Standzeiten der bisherigen Anlagen, der geringe Messdatenumfang über die erzielte Reinigungswirkung und die Unsicherheiten bei der Übertragung dieser Daten auf andere Anlagen. Seit 1998 wird von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg [6] für Bodenfilter ein Bemessungsverfahren empfohlen, das im Wesentlichen durch die Einhaltung einer Drosselabflussspende, der Stapelhöhe und der Einstauhöhe die Dimensionen der Bodenfilteranlage bei vorgegebener behandelter Wassermenge bestimmt. Bodenfilter werden heute üblicherweise nach diesem Vorgehen bemessen.

ATV-DVWK Gewässergütemodell



PC-Programm und Einführungskurs

7. – 9. November 2000, Cottbus

Anwendungsgebiete

- Weitergehende Anforderungen an Abwassereinleitungen
- Umweltverträglichkeitsprüfungen
- Flußgebietspläne (EU-Rahmenrichtlinie)
- Gewässerentwicklungspläne
- Standortplanungen
- Alarmpläne
- Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen
- Systemanalysen

Zielgruppe

Behörden, Ingenieurbüros, Verbände, Universitäten, Kommunen und Industriebetriebe

Teilnahmegebühr

ATV-Mitglieder DM 5.500,- / € 2.812,11
Nicht-Mitglieder DM 6.400,- / € 3.272,27
einschließlich PC-Programm mit Handbuch

Bitte fordern Sie unverbindlich Informationsmaterial an.

ATV-DVWK • Vereinigung für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e.V. • Rosemarie Ullmann
Theodor-Heuss-Allee 17 • D-53773 Hennef
Telefon: 0 22 42/ 8 72-1 19
Telefax: 0 22 42/ 8 72-1 35
E-Mail: ulm@atv.de
Internet: www.atv.de

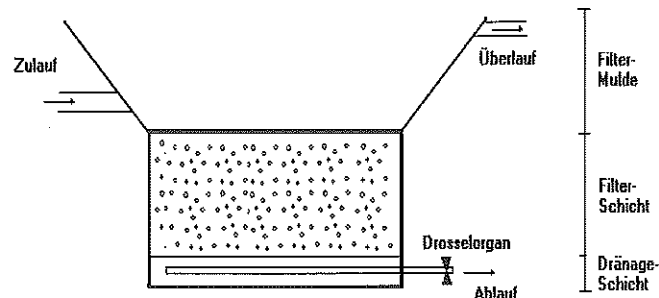


Abb. 1: schematische Darstellung Bodenfilteranlage

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse von Simulationsrechnungen quantifizieren den Einfluss der Drosselabflussspende, der spezifischen Bodenfilterfläche und der maximale Einstauhöhe auf den erzielten hydraulischen Wirkungsgrad. Dabei stellt die spezifische Bodenfilterfläche als Maß für die Anlagengröße eine Bewertungsgrundlage für den Flächenverbrauch und die Investitionskosten für den Bau von Bodenfilteranlagen dar.

2. Grundlagen

2.1 Funktionsweise von Bodenfiltern

Die Reinigungswirkung der im Wasser transportierten gelösten und partikulären Stoffe erfolgt im Bodenfilter bei der Durchsickerung der Filtersubstratschicht der Anlage. Die Eliminierung von Inhaltsstoffen erfolgt dabei durch Filtrations-, Adsorptions- und biologische Abbauprozesse. Als Filtersubstrate kommen sowohl sandige als auch bindige Substrate zum Einsatz. Bei Volleinstau des Bodenfilters springt der Überlauf des Filters an. Das überlaufende Wasser wird nicht durch die Bodenpassage gereinigt. Beim Durchströmen des Einstaubereiches kommt es durch Sedimentationsprozesse zu einer Verringerung der absetzbaren Stoffe im Überlauf. Abb. 1 zeigt einen schematischen Schnitt durch eine Bodenfilteranlage.

2.2 Übersicht bisheriger Anlagen und Messergebnisse

In verschiedenen Forschungsprojekten ist die Reinigungsleistung von Bodenfiltern untersucht worden. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Kenndaten dieser Anlagen. Die untersuchten Bodenfilter unterscheiden sich im Wesentlichen in Hinblick auf die Art der Vorbehandlung, den Einsatz im Mischsystem bzw. für Straßenabflüsse, die Anlagengröße, die hydraulische Belastung und die eingesetzten Filtersubstrate.

Die ermittelten Wirkungsgrade der verschiedenen Bodenfilteranlagen nach Tabelle 2 weisen deutliche Unterschiede auf. Insgesamt liegen die Wirkungsgrade bei den Anlagen in Fulda und Waldangeloch deutlich höhere als bei der Anlage in Alsdorf. Als Ursachen werden derzeit hauptsächlich die unterschiedlichen Filtersubstrate und die unterschiedliche Wirksamkeit der Vorbehandlung gesehen. Die halbtechnische Versuchsanlage an der Derchinger Straße wird nur mit Abflüssen der Straße belastet. Bei der Frage, welchen Einfluss die unterschiedlichen Durchlässigkeiten des Filterbodens und die unterschiedlichen Drosselabflussspenden auf die Wirkungsgrade haben, besteht noch Forschungsbedarf.

Anlage	Einheit	Waldangeloch	Fulda Feltenweg	Alsdorf	Derchinger Straße
Literatur		[1]	[7], [12]	[8]	[9]
Zuflußart		Mischwasser	Mischwasser	Misch- und Schmutzwasser	Straßenabfluß
befestigte Fläche A_{bed}	[ha]	18,7	14,5	39	0,0017 ¹⁾
Vorbehandlung	[-]	SKU	RÜ	SKU, Absetzbecken	nein
BF-Grundfläche	[m ²] / [m ² /ha A_{bed}]	1675 / 90	550 / 38	1206 ²⁾ / 30	1,8 - 7,2 ²⁾
max. Einstaubhöhe	[m]	1	0,98	1	0 - 0,3
Höhe Gesamtfilterschicht	[m]	1,2	1,2	1	1,1
Hauptfilterschicht	[-]	0,8 m bindiger Boden	0,8 m bindiger Boden	0,8 m Sand; teilweise mit Oberboden	hauptsächlich 0,1 - 0,3 m Oberboden über Kies
Bepflanzung	[-]	Schilf (phragmites communis)	Schilf (phragmites communis)	2 BF mit Rollrasen / 4 BF ohne gezielte Ansaat	hauptsächlich Landschaftsrasen RSM 7.1.1
Abdichtung zum Untergrund	[-]	2 mm HDPE-Folie	2mm HDPE-Folie, Zlagig	Bentonitabdichtung	Edelstahl- bzw. PVC-Wanne
Versickerungsleistung	[m/s]	3·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁴ - 3·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁴ - 7·10 ⁻⁵	5·10 ⁻⁴
Steuerung BF-Ablauf	[-]	Pumpe	E-Schieber	freier Auslauf	freier Auslauf
max. Drosselabfluß	[l/s]	10 - 12,5	12 - 15	-	-
Drosselabflußspende bez. auf BF-Grundfläche	[m/s]	6·10 ⁻⁶ - 8·10 ⁻⁶	2·10 ⁻⁵ - 3·10 ⁻⁵	-	-
Drosselabflußspende bez. auf BF-Grundfläche	V/(s·m ²)	0,006-0,008	0,022-0,027	-	-
Hydraulische Belastung	[m/a]	14 - 25	14 - 17,5 ³⁾	11 - 37	0,8 - 3,8 ⁴⁾

- 1) Angaben beziehen sich jeweils auf eine der Versuchsanlagen
- 2) Summe aller Becken
- 3) 1994/95 wurde die Anlage mit Stapelhöhen von 3-4,5 m/a gefahren
- 4) Inklusive Überregnung; Ergebnisse für das 2. Untersuchungsjahr (Werte abgeleitet aus Sickerwassermenge)

SKU: Stauraum mit untenliegender Entlastung
RÜ: Regenüberlauf

Tabelle 1: Kenndaten bisheriger Messprojekte von Bodenfiltern (BF)

Anlage	Waldangeloch	Fulda Feltenweg	Alsdorf	Alsdorf	Derchinger Straße ³⁾
Untersuchungszeitraum	1989 - 1994	1994 - 1998	9/1997-12/1998 Schmutzwasser	1997 Mischwasser	10/1997-9/1998
Wirkungsgrade [%]					
CSB	75	94	55-73	26-49	n.b.
HSR ₅	87	n.b.	60-81	36-55	42-57
AFS	94	98	38-84	66-79	56-91
NH ₄ -N	91	92	54-81	52-79	n.b.
NO ₃ -N	-395	n.b.	-404 - -3219	-79-3	n.b.
P	78	91 ¹⁾	58-80	21-47	n.b.
Blei	64	n.b.	n.b.	n.b.	49-94
Zink	88	n.b.	n.b.	n.b.	87-96
Gesamtkeime	50 ²⁾	n.b.	61-77	n.b.	n.b.
E. Coli	57 ²⁾ 4)	n.b.	48-84	n.b.	n.b.

- 1) gemessen als Orthophosphat
 - 2) Median der veröffentlichten Werte
 - 3) Wirkungsgrade für das 2. Untersuchungsjahr
 - 4) als fäkal-coliforme-Keime bestimmt
- n.b.: nicht bestimmt

Tabelle 2: Messergebnisse der Reinigungsleistung

3. Hydraulische Bemessung

3.1. Allgemeine Zielgrößen

Die hydraulische Bemessung von Bodenfilteranlagen kann auf verschiedene Zielgrößen hin erfolgen. Werden von der Seite des aufnehmenden Gewässers besondere Anforderungen bezüglich der hydraulischen Belastung gestellt, so hat der Bodenfilter neben der Frachtreduktion auch die Funktion der Retention zu übernehmen. In Anlehnung an die Bemessung für Rückhaltebecken wird der Bodenfilter so bemessen, dass auch die Anforderungen an den maximalen Drosselab-

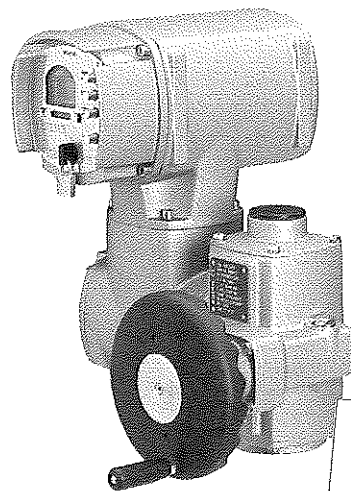
ZUKUNFT SERIENMÄSSIG INTEGRIERT!

Ständig wachsende Anforderungen an prozesstechnische Anlagen setzen eine gleichermaßen steigende Präzision der erforderlichen Stellglieder voraus. Feinste Dosierung ist nur dann möglich, wenn die Stellantriebe den Durchfluss in Rohrleitungen exakt regeln.

Mit der neuen Drehantriebsbaureihe ADR hat AUMA ein Produkt entwickelt, das diese Anforderungen ideal erfüllt. Höchste Regelgenauigkeit bei kompakter Bauweise.

Im Zusammenspiel mit der gleichfalls neuen Steuerung AUMATIC kann mit Hilfe einer weiten Palette von Funktionen die optimale Programmierung für die jeweilig Anwendung gewählt werden.

AUMA automatisiert Armaturen.
Flexibel in die Zukunft – mit AUMA.



Besuchen Sie uns auf der
IFW 2000 in Berlin
vom 23. - 27. Oktober,
Halle 22B, Stand S12



auma®

Solutions for a world in motion.

Werner Riester GmbH & Co. KG • Postfach 1362
D-79373 Müllheim
Tel. 07631/809-0 • Fax 07631/13218
e-mail: riester@auma.com
Internet: www.auma.com

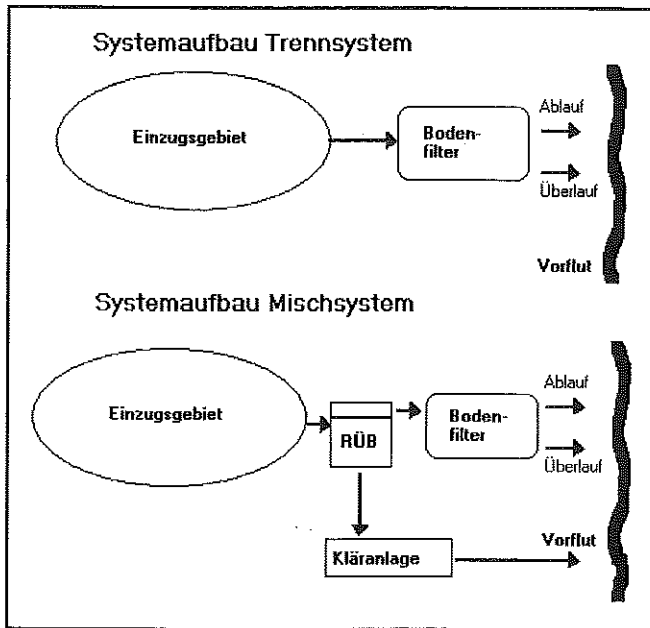


Abb. 2: Systemaufbau für die Modellgebiete

fluss und die zulässige Überlaufhäufigkeit eingehalten werden. Werden keine besonderen Anforderungen bezüglich der hydraulischen Belastung gestellt, bzw. wird die Einhaltung dieser Forderungen durch andere Retentionsbauwerke erfüllt, so besitzt der Bodenfilter die alleinige Funktion der Frachtreduktion.

Die Frachtreduktion wird derzeit üblicherweise über konstante Konzentrationen im Zulauf und konstante Wirkungsgrade des Bodenfilters abgeschätzt. Daher wird bei der Bemessung der Bodenfilteranlagen in der Praxis häufig die behandelte Wassermenge als Zielgröße festgelegt. Die behandelte Wassermenge bzw. der so genannte hydraulische Wirkungsgrad wird wie folgt definiert:

$$\eta_{hydr.} = \frac{Q_{zu} - Q_{ü}}{Q_{zu}} \cdot 100$$

Q_{zu} Zulaufwassermenge zum Bodenfilter [m³]

$Q_{ü}$ Überlaufwassermenge [m³]

$\eta_{hydr.}$ hydraulischer Wirkungsgrad [%]

3.2 Derzeitiger Bemessungsansatz

Wie bereits erwähnt, sind in [6] Zielgrößen zur Bemessung von Bodenfiltern angegeben. Für Bodenfilter im Mischsystem wird die Einhaltung einer mittleren Stapelhöhe von 30 m Wassersäule und eines Drosselabflusses von 0,01 l/(s · m² Filterfläche) empfohlen, was einer Versickerungsrate von 1 · 10⁻⁵ m/s entspricht. Beim Einsatz von Bodenfiltern im Trennsystem wird eine Bemessung auf 40 m Wassersäule und 0,015 l/(s · m² Filterfläche) (1,5 · 10⁻⁵ m/s) empfohlen. Die Begrenzung der Stapelhöhe soll einer zu hohen stofflichen Belastung des Filters und somit einer Kolmation vorbeugen. Bei detaillierterer Stoffbilanz soll die zulaufende Fracht an abfiltrierbaren Stoffen auf 4 kg/(m² · a) beschränkt werden. Die Einstauhöhe wird im Regelfall auf 0,5 bis 1,0 m begrenzt.

4. Simulationsrechnungen

Modellgebiet

Das hydraulische Verhalten der Bodenfilter wird für ein Modellgebiet sowohl für den Einsatz in Misch- und Trennsystem simuliert. Zum Einsatz kommt das hydrologische Programm zur Regenwasserbewirtschaftung R·win [10]. Das Modellgebiet wird mit einer elfjährigen Regenreihe der im südwestlichen Niedersachsen gelegenen Station Rolfshagen (1976 – 1986) des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie nach dem Vorgehen der Langzeitsimulation belastet. Die verwendete Niederschlagsstation weist einen mittleren Jahresniederschlag von 659 mm auf. Die Abflussbildung erfolgt nach dem Ansatz der Grenzwertmethode. Die Abflusskonzentration wird über eine Speicherkaskade berechnet. Für die Modellierung des Mischsystems wird von einem nicht vorentlasteten Kanalnetz ausgegangen. An der Entlastungsstelle zum Bodenfilter ist ein nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 128 [4] bemessenes Regenüberlaufbecken angeordnet. Das Becken weist ein spezifisches Gesamtspeichervolumen von 28 m³/ha A_{red} auf. Der Mischwasserzufluss zur Kläranlage beträgt 60,3 l/s. In Abb. 2 sind die beiden Modellgebiete dargestellt.

Simulationsansatz Bodenfilter

In Anlehnung an die Simulation von Mulden-Rigolen-Systemen wird der Bodenfilter durch drei Systemelemente beschrieben (siehe dazu Abb. 1). Das Muldenelement simuliert über Kennlinien das Einstauverhalten des Filters oberhalb der Filterschicht. Bei Überstau des Filters erfolgt eine Entlastung. Die Entleerung erfolgt über die angesetzte Versickerungsrate für den Filterboden. Das Bodenspeicherelement simuliert den Wassertransport in der Filterschicht. Dabei wird der Filterboden durch die Bodenparameter nutzbare Feldkapazität und Grobporenanteil beschrieben. Der vereinfachte Simulationsansatz sieht bei Überschreitung der nutzbaren Feldkapazität des Bodenkörpers eine Durchsickerung des Filterbodens entsprechend der angesetzten Versickerungsrate vor. In Trockenzeiten wird der Bodenspeicher durch Verdunstung wieder entleert. Die Dränageschicht simuliert das Ablaufverhalten aus dem Bodenfilter. Über eine Drosselkennlinie wird der Drosselabfluss in Abhängigkeit vom Wasserstand eingegeben. Der Bodenfilter ist gegenüber dem Untergrund gedichtet.

Das System aus Einzugsgebiet und Bodenfilter wird durch die Parameter nach Tabelle 3 definiert, die für die untersuchten Varianten gleich bleiben.

Bei den hier durchgeführten Simulationen ist es für die Erfassung der Systemeigenschaften ausreichend, von einer Drosselung durch den Filterboden auszugehen. Bei den Berechnungen wird die Versickerungsrate des Filterbodens in (m/s)

Parameter Einzugsgebiet				Parameter Bodenfilter	
versiegelte Fläche	A _{red}	50	[ha]	Böschungsnöigung	1 : 3
Benetzungsverlust	V _b	0,5	[mm]	Bodenfilterschicht	0,8 [m]
Muldenverlust	V _m	1,8	[mm]	nutzbare Feldkapazität	15 [mm/Øm]
Endabflußbeiwert	Ψ _e	0,85	[-]	Grobporenanteil	20 [Vol %]
Schwerpunktlaufzeit	n · k	20	[min]	Dränageschicht	0,2 [m]

Tabelle 3: Simulationsparameter

angegeben und kann direkt in die Drosselabflusspende $l/(s \cdot m^2 \text{ Filterfläche})$ umgerechnet werden.

5. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

5.1. Einfluss Drosselabflusspende


Zur Untersuchung des Einflusses auf den hydraulischen Wirkungsgrad und die spezifische Bodenfilterfläche werden Versickerungsraten von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, $3 \cdot 10^{-5}$ m/s und $1 \cdot 10^{-5}$ m/s angesetzt. Die maximale Einstauhöhe beträgt 1 m. Die angesetzten Versickerungsraten entsprechen damit in etwa dem Bereich der untersuchten Bodenfilter nach Tabelle 1. Die Belastung der Filteroberfläche wird üblicherweise als Stapelhöhe [m/a] angegeben und ist mit aufgeführt. Die Stapelhöhe folgt unmittelbar aus der behandelten Wassermenge und der Bodenfilterfläche.

Bodenfilter im Trennsystem

Abb. 3 zeigt die Ergebnisse für das Trennsystem. Folgendes wird deutlich:

- Bezogen auf den hydraulischen Wirkungsgrad ist eine starke Abhängigkeit der Bodenfilterfläche von der Versickerungsrate gegeben. Ein hydraulischer Wirkungsgrad von z. B. 80% kann bei einer Versickerungsrate von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s mit einer spezifischen Bodenfilterfläche von $22,5 \text{ m}^2/\text{ha } A_{\text{red}}$ erreicht werden. Bei $1 \cdot 10^{-5}$ m/s steigt die erforderliche Bodenfilterfläche auf $67,5 \text{ m}^2/\text{ha } A_{\text{red}}$.

- Der Zusammenhang zwischen spezifischer Bodenfilterfläche und hydraulischem Wirkungsgrad ist nicht linear. Wird z. B. die Versickerungsrate von $3 \cdot 10^{-5}$ m/s betrachtet, so zeigt sich, dass mit einer spezifischen Bodenfilterfläche von $44 \text{ m}^2/\text{ha } A_{\text{red}}$ ein hydraulischer Wirkungsgrad von 80% erzielt wird. Um den Wirkungsgrad um 10% auf 90% zu steigern, wäre die spezifische Bodenfilterfläche immerhin um 36% auf $60 \text{ m}^2/\text{ha } A_{\text{red}}$ zu erhöhen.
- Eine Vergrößerung der spezifischen Filterfläche führt erwartungsgemäß zu einer Verringerung der Stapelhöhe. Für die erwähnte Zielgröße von 40 m Stapelhöhe liegt die erforderliche Filtergröße bei den hier durchgeführten Simulationen in einem Bereich, wo ein ungünstiges Verhältnis zwischen hydraulischem Wirkungsgrad und spez. Bodenfilterfläche gegeben ist.
- Mit den eingangs erwähnten Zielgrößen mit einer Begrenzung der Stapelhöhe auf 40 m und einer Versickerungsrate von $1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s ergibt sich bei der hier gewählten Einstauhöhe von 1 m eine spez. Filterfläche von ca. $95 \text{ m}^2/\text{ha } A_{\text{red}}$ bei einem hydraulischen Wirkungsgrad von 90%. Die Ablesung dieser Werte ist in Abb. 3 mit Pfeilen gekennzeichnet.
- Bei Dimensionierung des Bodenfilters auf eine Versickerungsrate von $3 \cdot 10^{-5}$ m/s, wie sie z. B. bei der Anlage in Fulda mit sehr guter Reinigungswirkung gegeben ist, ergibt sich bei gleichem hydraulischen Wirkungsgrad von 90% eine um 30% geringere erforderliche spez. Filterfläche von




AQUA-JeT
Tauch-Umwälz-Belüfter®


Optimale Betriebsergebnisse,
höchste Prozesssicherheit:
Belüften, umwälzen, mischen,
rühren und aufbereiten.

- selbstansaugender Lufteintrag
- kein Verstopfen, Verstopfen Blockieren
- für jedes Becken
- auch zum Nachrüsten
- langlebig und wartungsarm
- polumschaltbar


Rohstoff Abwasser

zu neuem Leben erweckt





AQUA-JeT
Tauch-Umwälz-Belüfter®



Abwassertechnik Kersting • Königswall 8 • D-48249 Dülmen
Tel. + 49 (0)25 94 - 944 410 • Fax + 49 (0)25 94 - 944 444 • E-mail: Abwt.Kersting@t-online.de

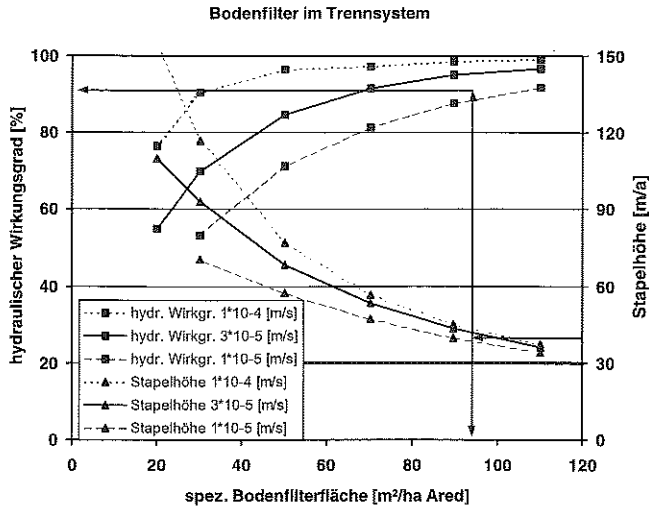


Abb. 3: Einfluss der Versickerungsrate auf den hydraulischen Wirkungsgrad und die spez. Bodenfilterfläche bei einem Bodenfilter im Trennsystem bei einer Einstauhöhe von 1 m.

67 m²/ha A_{red}. Allerdings würde bei diesem Fall die Stapelhöhe bei 53 m liegen.

- Die Begrenzung der Stapelhöhe stellt somit eine entscheidende Einflussgröße bei der Dimensionierung von Bodenfilteranlagen in Trennsystemen dar. Inwieweit eine Begrenzung der Stapelhöhe auf 40 m im Jahr tatsächlich zu einem Schutz des Filters vor Kolmation führt, ist derzeit nicht klar; es besteht weiterhin Forschungsbedarf.

Bodenfilter im Mischsystem

Beim Einsatz der Bodenfilter als weitergehende Reinigungsstufe im Mischsystem ist eine andere hydraulische Belastung gegeben als beim Einsatz im Trennsystem. Bedingt durch das vorgelagerte Regenüberlaufbecken werden kleine Ereignisse komplett zur Kläranlage geleitet. Erst bei Regenereignissen, die das RÜB zum Überlaufen bringen, kommt es zu einer Beaufschlagung des Bodenfilters. Die Belastungssituation für den Bodenfilter im Modellgebiet Mischsystem zeigt Abb. 4. Bei Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass der angegebene hydraulische Wirkungsgrad sich auf die aus dem RÜB abgeschlagene Wassermenge bezieht. Gegenüber

Von der Aufbereitung bis zur Verwertung bieten wir Komplettlösungen für

Klärschlamm – Kompost
Sandfanggut – Straßenkehrriech
Kanalspülsand – Rechengut

Unsere Kompetenz – Erfahrung seit 1980

EDER GmbH
 Verwertung von Sekundärrohstoffen
 Stummer 4, 84579 Unterneukirchen
 Tel. 0 86 33/89 79-0, Fax 0 86 33/89 79 11

dem Trennsystem mit einer Zuflusssumme zum Bodenfilter von 205 000 m³/a liegt bei dem Modellgebiet Mischsystem bedingt durch den Ablauf aus dem RÜB zur Kläranlage die Zulaufwassermenge bei nur 52 000 m³/a. Folgende Ergebnisse lassen sich ableiten:

- Bedingt durch die geringere Belastung des Bodenfilters beim Einsatz im Mischsystem liegt die Stapelhöhe im Vergleich zum Trennsystem deutlich geringer. Die eingangs aufgeführte Zielgröße bei der Bemessung mit einer Stapelhöhe von 30 m [6] kann leicht eingehalten werden.
- Die entscheidende Zielgröße, die die Dimensionen der Anlage und damit deren Kosten bestimmt, ist die zulässige Drosselabflussspende.
- Wie beim Trennsystem wird die zusätzlich behandelte Wassermenge mit zunehmender spez. Filterfläche immer geringer.
- Bei Bemessung eines Bodenfilters nach [6] ist mit einer Versickerungsrate von 1·10⁻⁵ m/s und einer gewählten Zielgröße von 80% für die behandelte Wassermenge eine spezifische Filterfläche von 76,5 m²/ha A_{red} erforderlich.
- Bei gleicher behandelter Wassermenge von 80% verringert sich die erforderliche spez. Filterfläche um 24% auf 58 m²/ha A_{red} für eine Versickerungsrate von 3·10⁻⁵ m/s, wie sie bei der Anlage in Fulda vorhanden ist. Bei einer Versickerungsrate von 1·10⁻⁴ m/s, wie sie in etwa der Bodenfilteranlage in Alsdorf nach Tabelle 1 entspricht, würde sich die erforderliche Fläche sogar auf 37 m²/ha A_{red} verringern.
- Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass systematische Untersuchungen zum Einfluss der Versickerungsrate auf die Reinigungsleistung derzeit noch fehlen.

5.2 Einfluss Einstauhöhe

Als weiterer Einfluss auf den hydraulischen Wirkungsgrad wird die maximale Einstauhöhe im Bodenfilter untersucht, die

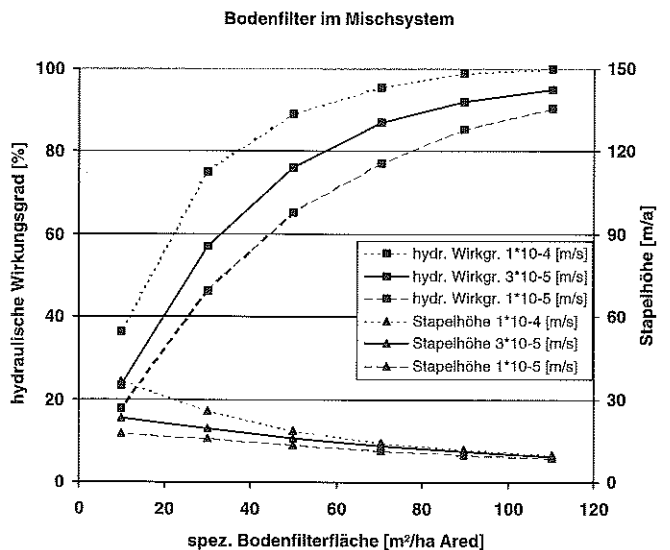


Abb. 4: Einfluss der Versickerungsrate auf den hydraulischen Wirkungsgrad und die spez. Bodenfilterfläche bei einem Bodenfilter im Mischsystem bei einer Einstauhöhe von 1 m.

System	spez. Filterfläche: [m ² /ha A _{red}]	Versickerungsrate [m/s]	hydraulischer Wirkungsgrad [%]			Abweichung gegenüber Einstauhöhe 1m	
			Einstauhöhe [m]				
			0,5	1	2		
Mischsystem	36,5	1·10 ⁻⁴	73	81	88	-8	-7
	58,0	3·10 ⁻⁵	69	81	91	-12	-10
	76,5	1·10 ⁻⁵	65	80	91	-15	-11
Trennsystem	22,5	1·10 ⁻⁴	74	80	84	-6	-4
	44,0	3·10 ⁻⁵	73	82	88	-9	-6
	67,5	1·10 ⁻⁵	70	80	89	-10	-9

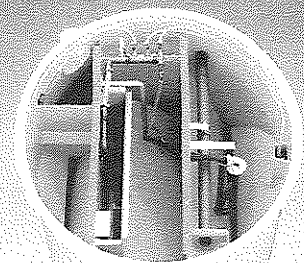
Tabelle 4: Einfluss der Einstauhöhe auf den hydraulischen Wirkungsgrad


als Abstand zwischen Oberkante Filteraufbau und Höhe des Überlaufes definiert wird. Die Variation der Einstauhöhen und damit der Einstauvolumina erfolgt in einem Bereich von 0,5 m – 2 m. Damit erfolgt eine Halbierung bzw. Verdoppelung der häufig angesetzten Einstauhöhe von 1 m. Der hydrologische Effekt ist somit eine Veränderung des Einstauvolumens bei gleicher Drosselung. Bei der Simulation wird aus Gründen der Vergleichbarkeit die spezifische Filterfläche so gewählt, dass bei einer Einstauhöhe von 1 m ein hydraulischer Wirkungsgrad von ca. 80% gegeben ist. Die spez. Filterfläche für einen Wirkungsgrad von 80% sind aus den Abb. 3 und 4 abgegriffen und in Tabelle 3 aufgeführt. Tabelle 3 zeigt das Ergebnis dieser Berechnung.

Deutlich wird die Tendenz, dass mit abnehmender Versickerungsrate der Einfluss der Einstauhöhe steigt. So liegt z. B. beim Mischsystem bei einer Versickerungsrate von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s und einer Einstauhöhe von 0,5 m der hydraulische Wirkungsgrad mit 65% um 15% unter dem, der bei sonst gleichen Verhältnissen bei einer Einstauhöhe von 1 m mit 80% erzielt wird. Bei einer Versickerungsrate von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s verringert sich diese Differenz und der Wirkungsgrad liegt bei einer Einstauhöhe von 0,5 m mit 73% nur um 8% unter dem bei einer Einstauhöhe von 1 m mit 81%. Die geschilderte Tendenz ist bei Misch- und Trennsystem gleich.


Bio Compact

Die biologische Kleinkläranlage
mit Abwasserbelüftung
Typ KSP-A in Größen von 4 - 100 Pers.






Hersteller:
Apparatebau Salzkotten
Ferdinand-Henz-Str. 15
33154 Salzkotten
Telefon: (0 52 58) 93 57-0
Telefax: (0 52 58) 93 57-57



Vertretung Raum Bayern:
Humpf Klärtechnik
Bahnweg 9
86609 Donauwörth
Telefon (09 06) 13 75
Telefax (09 06) 9 99 84 77



Z-55.3-9

Insgesamt ist festzustellen, dass der Einfluss der Einstauhöhe auf den hydraulischen Wirkungsgrad eher gering sind. So bringt eine Verdoppelung des Einstauvolumens bei den hier untersuchten System nur eine Erhöhung der hydraulischen Wirkungsgrade von 4 – 11%.

5.3 Einstaudauern

Bei der Festlegung des Drosselabflusses aus einer Bodenfilteranlage sollte in Abhängigkeit von dem Einsatzbereich im Misch- bzw. Trennsystem die Auswirkungen auf die Einstaudauer der Anlage berücksichtigt werden. Bei langen Einstauzeiten ist mit einer verminderten Sauerstoffversorgung der ungesättigten Bodenzone zu rechnen. Die eingesetzten Pflanzen für den Bewuchs des Bodenfilters sollten den Feuchteverhältnissen angepasst sein. Zur Berechnung der Einstaudauern werden pro Rechenlauf die 300 größten Ereignisse bilanziert und deren Einstaudauern ermittelt. Als Einstaudauer wird rechenstechnisch die Zeit erfasst, in der der oberirdische Retentionsraum des Bodenfilters eingestaut ist. Das Leerlaufverhalten des Filterbodens wird nicht erfasst. Die Einstaudauern werden der Größe nach geordnet und mithilfe der nachfolgenden Plottingformel [12] wird die Wiederkehrzeit berechnet.

$$T_n = \frac{L + 0,2 \cdot M}{k - 0,4} \cdot \frac{M}{L}$$

mit: T_n Wiederkehrintervall [a]

L Stichprobenumfang

M Anzahl der zugrunde liegenden Jahre

k Laufindex der Stichprobenwerte

(der Größe nach geordnet: k = 1 größter Wert, k = L kleinster Wert)

Tabelle 5 zeigt für die beiden Modellgebiete die Einstaudauern in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit und der Versickerungsrate. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird die spezifische Filterfläche wieder so gewählt, dass bei einer Einstauhöhe von 1 m ein hydraulischer Wirkungsgrad von ca. 80% gegeben ist.

Interessant ist der Vergleich zwischen dem Einsatz der Bodenfilter im Misch- und Trennsystem. Durch das vorgelagerte Regenüberlaufbecken beim Mischsystem wird, wie oben bereits erwähnt, der Bodenfilter mit weniger Ereignissen belastet. Die Beaufschlagungsmenge verringert sich durch den Drosselabfluss des Regenüberlaufbeckens zur Kläranlage. Somit ist die Überlagerung von Entlastungsereignissen im Mischsystem seltener und die Einstaudauern liegen generell deutlich niedriger als beim Trennsystem. Bei einer Versickerungsrate von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s ist für das Modellgebiet im Mischsystem bei einer Wiederkehrzeit von im Mittel 1 Monat mit einer Einstaudauer von acht Stunden zu rechnen. Beim Trennsystem kommt es bei sonst gleichen Randbedingungen zu einer deut-

System	spez. Filterfläche [m ² /ha A _{red}]	Versickerungsrate [m/s]	Einstaudauer [h]		
			Wiederkehrzeit [Monat]		
			0,5	1	6
Mischsystem Einstauhöhe 1 m	36,5	1·10 ⁻⁴	< 1	1,5	8
	57,5	3·10 ⁻⁵	< 1	3	18
	76,5	1·10 ⁻⁵	< 1	8	37
Trennsystem Einstauhöhe 1 m	22,5	1·10 ⁻⁴	2,5	4,5	10
	44,0	3·10 ⁻⁵	12	16	28
	67,5	1·10 ⁻⁵	35	45	86

Tabelle 5: Einstaudauern und ihre Wiederkehrzeiten

lichen Erhöhung der Einstaudauern auf 45 Stunden. Weiterhin ist in Tabelle 5 der bekannte Zusammenhang zwischen wachsender Einstaudauer bei geringerer Versickerungsrate zu erkennen. So ist beim Trennsystem für eine Wiederkehrzeit von sechs Monaten bei einer Versickerungsrate von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s mit 10 Stunden bzw. bei $1 \cdot 10^{-5}$ m/s mit 86 Stunden zu rechnen.

6. Ausblick

Bei den aufgeführten Ergebnissen ist zu beachten, dass die absoluten Werte der spezifischen Bodenfilterfläche bedingt durch den Einfluss der Regenreihe, den Annahmen für die Abflusskonzentration und die Dimensionierung des Mischwassernetzes nicht auf andere Einzugsgebiete übertragbar sind. Wichtig ist der Vergleich der variierten Parameter untereinander, der Rückschlüsse auf den Einfluss dieser Parameter auf die Bodenfiltergröße erlaubt.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass in Bezug auf die erforderliche Bodenfiltergröße und damit auf die Kosten für die Behandlungsanlage die Drosselabflussspende und die Stapelhöhe den größten Einfluss haben. Dabei muss allerdings der Einsatzbereich der Bodenfilter im Trenn- bzw. im Mischsystem berücksichtigt werden.

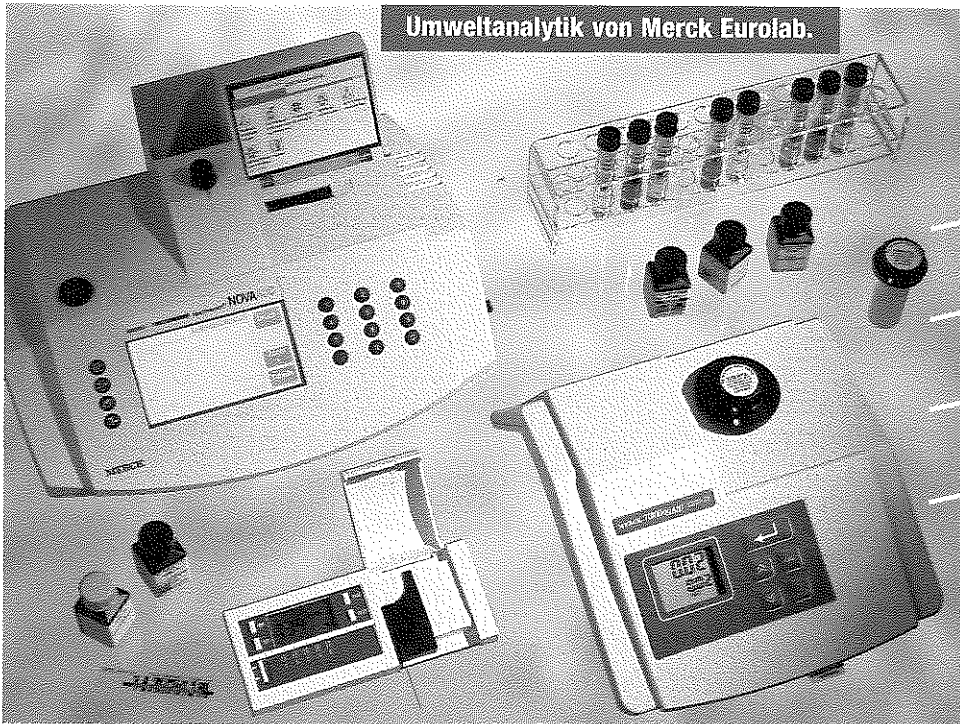
Für das Trennsystem ist die Begrenzung der Stapelhöhe auf 40 m nach dem bisherigen Bemessungsansatz der entscheidende Faktor für die Dimensionen der Anlage. Bei Einhaltung einer Stapelhöhe von 40 m besteht ein ungünstiges Verhält-

nis zwischen spezifischer Stapelhöhe und behandelter Wassermenge. Anlagen mit fast gleicher behandelter Wassermenge und höherer zulässiger Stapelhöhe und Drosselabflussspende könnten mit ca. 30 – 50% weniger Flächenbedarf auskommen.

Bodenfilter im Mischsystem besitzen eine wesentlich geringere hydraulische Belastung. Eine Stapelhöhe von 30 m kann in dem hier untersuchten Gebiet leicht unterschritten werden. Für die Bemessung ist die zulässige Drosselabflussspende die entscheidende Größe. Bei Erhöhung der zulässigen Drosselabflussspende gegenüber dem bisherigen Bemessungsansatz auf $3 \cdot 10^{-5}$ m/s, wie sie bei der Anlage in Fulda mit sehr guten Reinigungsleistung vorhanden ist, würde sich der erforderliche Flächenbedarf um 24% reduzieren.

Die Einstauhöhe hat im Rahmen der hier gewählten Schwankungsbreite von 0,5 bis 2 m nur einen geringen Einfluss auf den hydraulischen Wirkungsgrad im Vergleich zur Drosselabflussspende. Die Berechnung der Einstaudauern zeigt, dass insbesondere beim Trennsystem bei geringen Versickerungsraten durch die Überschneidung von Ereignissen mit langen Einstaudauern zu rechnen ist.

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen außerdem, welchen entscheidenden Einfluss die Bemessungsgrößen Drosselabflussspende und zulässige Stapelhöhe auf die Dimensionen und somit auf die Kosten der Bodenfilteranlagen besitzen. Forschungsbedarf besteht daher hinsichtlich einer Optimierung zwischen der hydraulischen Belastung der Anlagen, der



Umweltanalytik von Merck Eurolab.

**Aufbruch
in eine
neue
Dimension**

Bundesweiter Bestellservice
Tel. 01 80 / 5 70 20 00
Fax 01 80 / 5 70 22 22
www.merckeurolab.de
www.labshop.de

Merck Eurolab GmbH
64271 Darmstadt
e-Mail: umwelt@merckeurolab.de

MERCK
eurolab

Merck Eurolab GmbH

- Photometer
- Testsätze
- Qualitätssicherung
- Referenzmaterialien
- Ringversuche

- Schnelltests
- Aufschlussysteme
- Elektrochemie
- Titration
- Trübungsmessgeräte

- DIN-Apparaturen
- automatische Probenehmer
- Hilfsmittel
- Laborausstattung

erzielten Reinigungsleistung und dem Langzeitverhalten. Insbesondere sollte untersucht werden, welcher Aufwand aus Vorreinigung und Begrenzung der Stapelhöhe erforderlich ist, um eine Kolmation der Anlagen zu vermeiden. Bei der Bewertung ist das genannte Einsparpotenzial durch geringere Anlagengrößen einem gegebenenfalls kürzeren Wartungsintervall der Anlagen gegenüberzustellen.

Literatur

- [1] Brunner, P., Bioplan Landeskulturgesellschaft: Bodenfilter Waldangeloch, Betriebsüberwachung 1.-5. Betriebsjahr, Juli 1989-Juni 1994, im Auftrag Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, 1994 unveröffentlicht
- [2] Born, W.: Bodenfilterbecken – Eine sinnvolle Ergänzung zur konventionellen Regenwasserbehandlung?, in: Abwasserbehandlung, Gewässerschutz und Wasserwirtschaft an der Schwelle zum 21. Jahrhundert, Schriftenreihe der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft, Band 18, Universität – Gesamthochschule Kassel
- [3] Engel, N.: Anforderungen an die Regenwasserbehandlung in Berlin, Bodenfilter im Trennsystem, Vortrag bei der Technischen Akademie Hannover am 16. 11. 1999
- [4] ATV-A 128: Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, St. Augustin, 1992
- [5] ATV-M 153: Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser (im Gelbdruckverfahren)
- [6] LfU: Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Handbuch Wasser 4, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1998
- [7] Born, W.: Fünf Jahre Betrieb des Bodenfilterbeckens Fulda – Messergebnisse; Vortrag bei der Technischen Akademie Hannover am 26. 11. 1998
- [8] ifs-Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie Hannover: Wissenschaftliche Leitung und Betreuung der Bodenfilteranlage Neuweiler/Alsdorf, Abschlussbericht, 2. Untersuchungszeitraum, im Auftrag des MURL NRW 4/1999, unveröffentlicht
- [9] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: Entwicklungsvorhaben: Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen, Zwischenbericht, 1999
- [10] ifs-Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie Hannover: Programmhdbuch r-win, Version 2.0, 1997
- [11] ATV-A 121: Niederschlag-Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer, Niederschlagsmessungen, Auswertung, St. Augustin, 1985
- [12] Born, W.: Betriebserfahrungen mit dem Bodenfilterbecken Fulda Fellenweg, Vortrag bei der Technischen Akademie Hannover am 16. 11. 1999

Autor

Dipl.-Ing. Ulrich Kasting
Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie Hannover
Stiftstraße 12
30169 Hannover



Abwassertechnik



Abscheider · Kleinkläranlagen · Druckentwässerung Pumpstationen · Regenwassernutzungsanlagen



KORDES ist seit Jahrzehnten bedeutender Entwickler und Produzent von Anlagen für den Gewässerschutz: Kleinkläranlagen und Abscheidersysteme, Druckentwässerungen und Pumpstationen sowie Regenwassernutzungsanlagen. KORDES-Innovationen sind ein aktiver Beitrag für den Umweltschutz. KORDES-Ideen für die Praxis, gedacht und gemacht. 15 mal in Deutschland. Auch in Ihrer Nähe.

WASSER IST UNSER ELEMENT
Kordes 

Info-Material anfordern: Kordes GmbH, Möllberger Str. 18 · 32602 Vlotho · Fon 0 57 33/99 08-0 · Fax 99 08 299 · www.kordes.de · e-mail: kontakt@kordes.de