

# Bemessung von mit Schilfpflanzen bewachsenen Bodenfilteranlagen

Norbert Könemann (Immenhausen)

## Zusammenfassung

*Es wird ein Berechnungsverfahren für mit Schilfpflanzen bewachsene Bodenfilteranlagen vorgestellt. Mithilfe der Reaktionskonstanten für die Schmutzparameter CSB, BBS<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub>-N, N<sub>ges</sub> kann das erforderliche Volumen eines Bodenfilters in Abhängigkeit von der gewünschten Reinigungsleistung berechnet werden. Für die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) sowie den Gesamtposphor (P<sub>ges</sub>) wird die prozentuale Eliminationsrate angegeben. Der hydraulische Nachweis wird je nach der Betriebsweise des Bodenfilters (horizontal oder vertikal durchströmt) geführt und der Nachweis erbracht, dass die Jahresmischwassermenge in einem Zeitraum von 100 bis 150 Tagen den Bodenfilter durchströmen kann.*

*Dem Bodenfilter sollte ein Absetzteich vorgeschaltet werden. Beide Bereiche können eingestaut werden, so dass die hydraulische Belastung des Vorfluters minimiert wird.*

*Schlagwörter:* Abwasserreinigung, Biologische Reinigung, Bodenfilter, Phosphor, Chemischer Sauerstoffbedarf, Biologischer Sauerstoffbedarf, Absetzteich, Pflanzenkläranlage, Regenwasser, Mischwasser, Schilf

## Summary

### Design of Reed-Covered Soil Filter Plants

*The paper presents a calculation method for reed-covered soil filter plants. By using the reaction constants of different pollution parameters, like COD, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub>-N, N<sub>total</sub>, the required soil filter volume can be calculated as a function of its desired purification capacity. The percentage removal rates for filterable solids (FS) and total phosphorus are indicated. The hydraulic test method used depends on the mode of operation of the soil filters (horizontal flow or vertical flow) and it has produced evidence that the total annual amount of combined sewerage can pass through the soil filter in 100 to 150 days.*

*A settling pond should be installed upstreams of the soil filter. Both sections can be impounded to reduce hydraulic loads on receiving waters to a minimum.*

*Key words:* wastewater treatment, biological treatment, soil filter, phosphorus, chemical oxygen demand, biological oxygen demand, settling pond, wetlands, stormwater, combined sewerage, reed

## 1. Einleitung

Die Abwasserreinigung durch gezieltes Durchströmen eines Bodenkörpers geht auf Kickuth [5] zurück, der das Zusammenwirken zwischen den Wurzeln, den Pflanzen und den dort angesiedelten Mikroorganismen des Bodens erkannte. Dabei zeigte sich, dass im Ökosystem des bepflanzten und überfluteten Bodenkörpers Mikroorganismen die biologisch abbaubaren Abwasserinhaltsstoffe entfernen und sich die Schwermetalle im Boden und teilweise in den Wurzeln der Pflanzen ablagern.

Die beanspruchte Fläche ist eine Funktion der hydraulischen Belastung sowie der gewünschten Reinigungsleistung und kann berechnet werden. Der Boden muss bestimmte Kriterien erfüllen, damit eine langfristige Durchlässigkeit gewährleistet bleibt, die ausgewählten Pflanzen wachsen können und Schwermetalle abgelagert werden.

Nach der Entwicklung von Pflanzenkläranlagen zur Behandlung von häuslichem Abwasser war die logische Folge, dieses Verfahren auch für die Reinigung von Mischwasser einzusetzen.

Die vom Verfasser geplanten und gebauten Bodenfilteranlagen wurden immer mit einem vorgeschalteten Absetzteich kombiniert. Sie wurden aufgrund ihrer Struktur und der vielfältigen Aufgaben als Mischwasserbiotope bezeichnet. Die wesentliche Aufgabe des Biotops ist zum einen die Aufnahme und Speicherung des abgeschlagenen Mischwassers. Dabei kann je nach zur Verfügung stehender Fläche ein 10- oder 20-jähriges Niederschlagsereignis zurückgehalten werden, ohne dass es zu einer zusätzlichen hydraulischen Belastung des Vorfluters kommt. Zum anderen wird das gesamte Mischwasser in der Bodenfilteranlage biologisch behandelt; eine Belastung der Kläranlage durch die Entleerung eines konventionellen Regenbeckens über mehrere Stunden ist nicht gegeben.

Alternativ wurde das Mischwasserbiotop auch zur Speicherung und Behandlung von Regenwasser aus Trenngebieten eingesetzt, in denen eine Belastung mit Schadstoffen gegeben war (Gewerbe- und Industriegebiete).

Neben den wasserwirtschaftlichen Vorteilen ist der positive Einfluss der Mischwasserbiotope auf das Landschaftsbild, auf das Kleinklima sowie auf Fauna und Flora bemerkenswert.

Die Erfahrungen zeigen außerdem, dass Mischwasserbiotope in der Regel kostengünstiger sind als konventionelle Regenbecken. Man kann also mit weniger Geld mehr für das Gewässer und die Landschaft tun.

In den vergangenen Jahren wurden in zahlreichen Veröffentlichungen Bemessungskriterien vorgestellt, die jedoch im Hinblick auf die hydraulischen Verhältnisse und die Reinigungsleistung der Anlagen keine befriedigende Antwort gaben.

Aufgrund der langjährigen Erfahrungen bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb von Wurzelraumkläranlagen und Mischwasserbiotopen konnte ein Bemessungsverfahren entwickelt werden, das im Folgenden erläutert wird.

## 2. Bemessung von Bodenfilteranlagen

Dem Bodenfilter sollte grundsätzlich ein Absetzteich vorgeschaltet werden. Auf ein konventionelles Regenbecken oder einen Staukanal kann dann gegebenenfalls verzichtet werden. Der Überlauf in den Absetzteich sollte über eine Rechen-einrichtung verfügen. Im Absetzteich sollte eine Tauchwand angeordnet werden.

### 2.1 Bauarten der Bodenfilter

Je nach Durchströmung des Bodenfilters wird nach zwei Bauarten unterschieden.

#### 2.1.1 – horizontal durchströmter Bodenfilter

Eine Prinzipsskizze dieser Bauart zeigt Abbildung 1.

Der Abfluss aus dem Absetzteich wird durch einen schwimmenden Überfall begrenzt. Das Mischwasser fließt in der Regel horizontal durch den Bodenkörper. Das Druckgefälle wird durch die Längsneigung der Sohle und der Wasserspiegeldifferenz zwischen Ein- und Auslauf bestimmt. Die Oberfläche sollte horizontal ausgeführt werden. Die Stärke des Bodens kann zwischen 0,8 und 1,0 m liegen.

Bei Erreichen des Stauziels im Absetzteich wird das Mischwasser über eine Überlaufschwelle auf den Bodenfilter gegeben. Der Bodenfilter wird dann ebenfalls bis zu einer Wassertiefe von maximal 1,5 m eingestaut. Das Wasser dringt überwiegend horizontal in den Bodenkörper ein.

Der Ablauf aus dem Bodenfilter wird mit einem schwimmenden Überfall (bei ausreichenden geodätischen Verhältnissen) oder einer Pumpe gedrosselt abgegeben. Diese Menge muss kleiner als die hydraulische Leistungsfähigkeit des Bodenfilters sein.

#### 2.1.2 – vertikal durchströmter Bodenfilter

Das Prinzip zeigt Abbildung 2.

Der Abfluss aus dem Absetzteich erfolgt in Höhe des Ruhewasserspiegels in den Bodenfilter. Das eingestaute Mischwasser fließt vertikal durch den Bodenkörper und wird von einer Drainageschicht aufgenommen und abgeleitet. Das Druckgefälle wird durch die Wasserspiegeldifferenz zwischen Ein- und Auslauf bestimmt. Die Oberfläche sollte horizontal ausgeführt werden. Die Stärke der Bodenschicht sollte mindestens 0,8 m betragen.

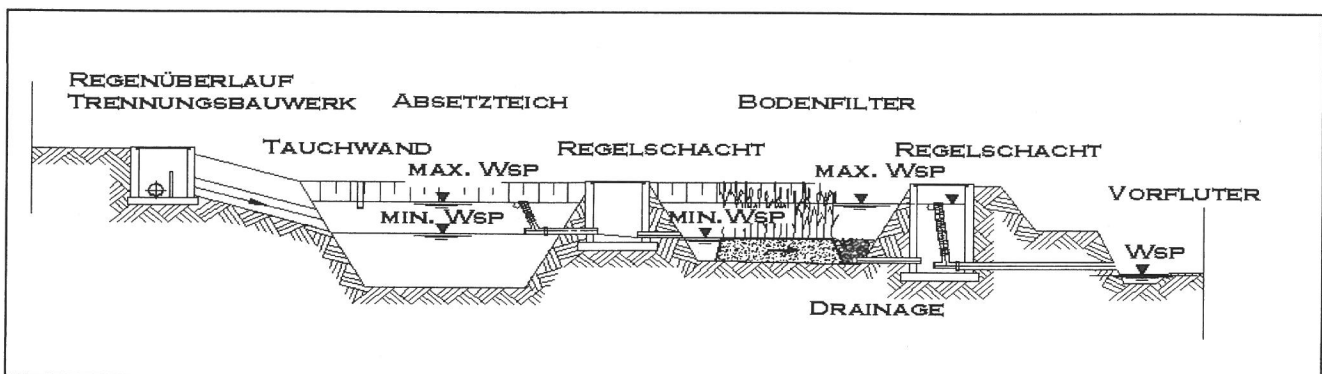


Abb. 1: Systemskizze eines horizontal durchströmten Bodenfilters

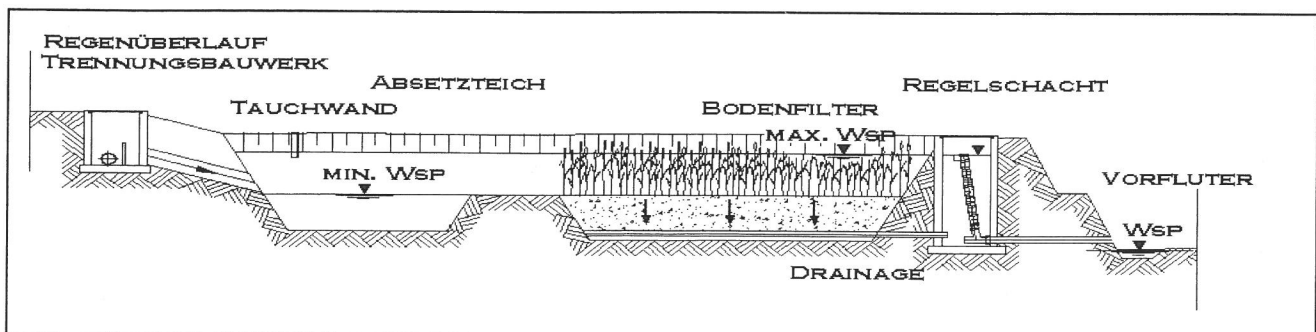


Abb. 2: Systemskizze eines vertikal durchströmten Bodenfilters

Der Ablauf aus dem Bodenfilter wird mit einem schwimmenden Überfall (bei ausreichenden geodätischen Verhältnissen) oder einer Pumpe gedrosselt abgegeben. Diese Menge muss kleiner als die hydraulische Leistungsfähigkeit des Bodenfilters sein.

## 2.1.3 Bodensubstrat

Das Bodensubstrat sollte aus einer Mischung von humosem Oberboden mit bindigen Anteilen und Kies/Sand bestehen. Zur Unterstützung der Denitrifikation kann Rindenmulch zugegeben werden. Es wird empfohlen, einen erfahrenen Bodengutachter in die Planung der Anlage einzubinden.

## 2.1.4 Bepflanzung

Die Anlage wird ausschließlich mit Schilf (*Phragmites spec.*) bepflanzt, da die Wurzeln dieser Pflanzen bis 1,0 m tief in den Boden vordringen.

## 2.2 Reinigungsleistung von Bodenfiltern

Die Betriebsergebnisse von folgenden Bodenfilteranlagen wurden ausgewertet und ein Nachweisverfahren entwickelt:

### Hattingen Ost [1]

Der Kläranlage Hattingen Ost wurde ein horizontal durchströmter Bodenfilter nachgeschaltet. Der Ablauf aus dem Nachklärbecken eines Tropfkörpers wurde in bepflanzte Filterbeete geleitet, die horizontal durchströmt wurden. Es wurden die Betriebsdaten des dritten Beetes ausgewertet.

### Waldangelloch [2]

In Waldangelloch ist ein vertikal durchströmter Bodenfilter einem Staukanal mit untenliegender Entlastung nachgeschaltet. Das Wasser wird über die Schwelle eines Trennbauwerkes in den Bodenfilter abgeschlagen. Der Ablauf wird mit einer Pumpe geregelt.

### Lahstedt – Gadenstedt [3]

In Lahstedt – Gadenstedt wird an einem Regenüberlauf Mischwasser abgeschlagen und in einen Absetzteich geleitet. Der Ablauf aus dem Teich wird mit einem schwimmenden Überfall in den horizontal durchströmten Bodenfilter gegeben.

Eine genaue Beschreibung der aufgeführten Anlagen ist in den entsprechenden Literaturangaben zu finden. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Daten der Anlagen zusammengestellt.

Für den Nachweis von Bodenfilteranlagen ist der chemische Sauerstoffbedarf maßgebend. Der Abbau im Bodenfilter kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$S_{ab} = S_{zu} \cdot e^{-k \cdot t} \quad (\text{mg/l}) \quad (1)$$

In dieser Gleichung bedeuten :

- $S_{zu}$  = Laststoffkonzentration im Zulauf
- $S_{ab}$  = Laststoffkonzentration im Ablauf
- $t$  = Reaktionszeit
- $k$  = Reaktionskonstante
- $e$  = Basis der natürlichen Logarithmen

Anlage			Wald- angelloch	Hattin- gen-Ost	Lahstedt
Oberfläche	A	qm	1 513	60	180
Einlauffläche	Ae	qm	1 513	2,8	126
Einbaustärke	h	m	1,2	0,7	0,7
max. Bodenvolumen	V	cbm	1 815	42	850
Porenvolumen	p	%	20	20	20
wirksames Bodenvolumen	Vwirk	cbm	363	8,4	170
Durchlässigkeitsbeiwert	kf	m/s	3,10E-05	1,00E-02	2,00E-04
Druckgefälle	J	%	100	0,60	24,8
mittlere Fließgeschwindigkeit	vm	m/s	3,10E-05	6,00E-05	4,96E-05
max. Durchsatzmenge	QBF	cbm/d	4 051	14,5	540,0
		cbm/h	168,8	0,6	22,5
		l/s	46,9	0,2	6,2
Durchfluss durch den Bodenfilter	Qm	l/s	10	0,2	6,2
		cbm/h	36,0	0,6	22,3
Aufenthaltszeit	ta	h	10,1	13,9	7,6

Tabelle 1: Daten der Bodenfilteranlagen

Die Umstellung der Gleichung erlaubt die Berechnung der Reaktionskonstante wie folgt:

$$k_{CSB} = 1/t \cdot \ln (S_{ab}/S_{zu}) \quad (1/h) \quad (2)$$

In dieser Gleichung bedeutet

$\ln$  = natürlicher Logarithmus

Die Auswertung der Betriebsdaten der Bodenfilteranlagen ergab folgende Reaktionskonstanten bezüglich des chemischen Sauerstoffbedarfs CSB (Abbildung 3).

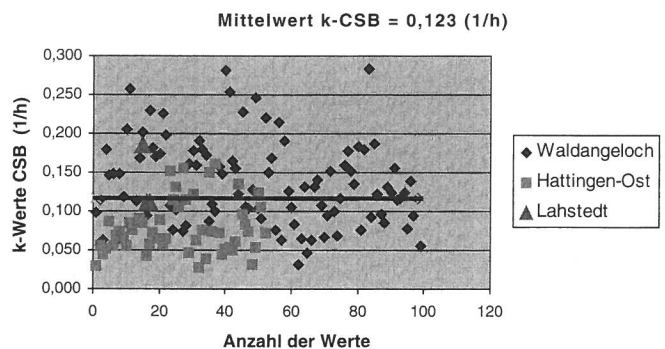


Abb. 3: Reaktionskonstante für den biologischen Abbau von CSB

Obwohl die Anlagen völlig unterschiedlich im Hinblick auf den Bau und den Betrieb sind, ergibt sich ein übereinstimmender Wertebereich der Reaktionskonstanten, der zwischen  $k_{CSB} = 0,05$  und  $0,25 \text{ (1/h)}$  liegt.

Die Schwankungsbreite um den Faktor fünf unterschreitet die bei der Bemessung von Tropfkörpern (7,7) und Belebungsanlagen (7,4) vergleichbaren Werte. Als Mittelwert ergibt sich

$$k_{CSB} = 0,123 \quad (1/h)$$

Mit diesem Wert lässt sich die Abbaurrate des chemischen Sauerstoffbedarfs CSB in Bodenfilteranlagen berechnen.

Für die anderen Parameter wurden die Reaktionskonstanten ebenfalls bestimmt (Abbildungen 4 bis 6).

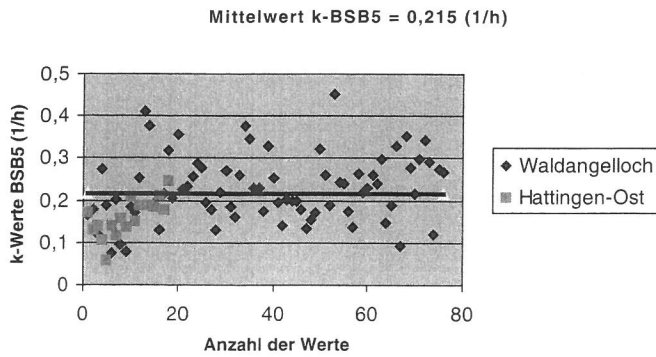


Abb. 4: Reaktionskonstanten für den biologischen Abbau von  $\text{BSB}_5$

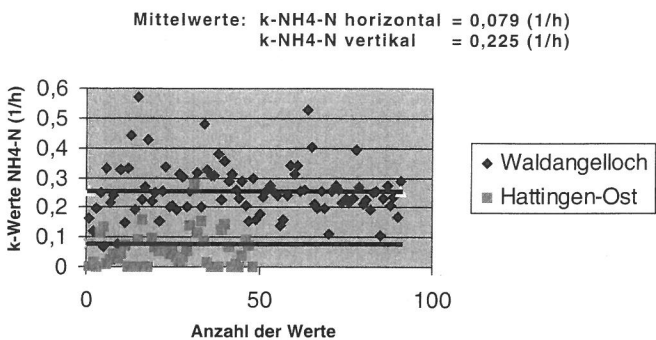


Abb. 5: Reaktionskonstanten für den biologischen Abbau von  $\text{NH}_4\text{-N}$

In dieser Abbildung erkennt man den Vorteil der vertikal durchströmten Bodenfilter im Hinblick auf den Abbau von Ammoniumstickstoff, was auf eine bessere Sauerstoffversorgung zurückzuführen ist.

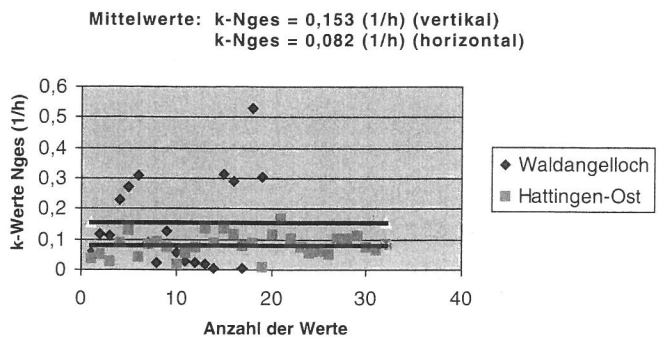


Abb. 6: Reaktionskonstanten für den biologischen Abbau von  $\text{N}_{\text{ges}}$

Hier ergeben sich ebenfalls unterschiedliche Reaktionskonstanten je nach Betrieb des Bodenfilters.

Die Elimination der abfiltrierbaren Stoffe AFS und des Phosphats  $\text{P}_{\text{ges}}$  beruht auf Filtrations- und Adsorptionseigenschaften des Bodenfilters und lässt sich als prozentualer Wert berechnen. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt.

# Feinste Maßkonfektion



HP-Kanalrohr  
Abwassertransport-  
system

prEN 13476-1

Funktionell  
Langlebig  
Wirtschaftlich  
Flexibel  
Umweltfreundlich



Halle 6.2a  
Stand 136

Für weitere Informationen bitte Prospekt anfordern.

hp

HEGLER PLASTIK GMBH • 97714 Oerlenbach/Unterfranken  
Telefon +49 9725 66-0 • Telefax +49 9725 66-115

**HEGLER**

Well- und Verbundrohre  
aus Kunststoff

Innovative, zukunfts-  
weisende Systemtechnik

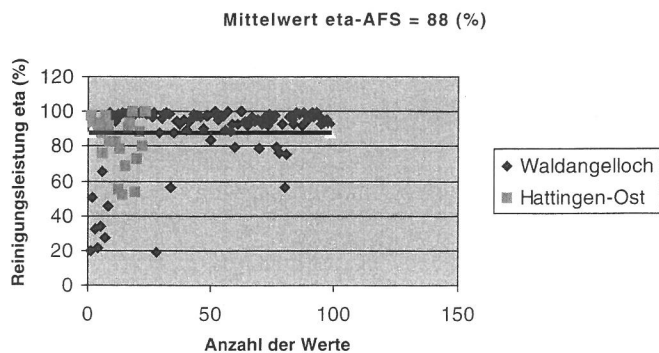


Abb. 7: Eliminationsrate für abfiltrierbare Stoffe AFS

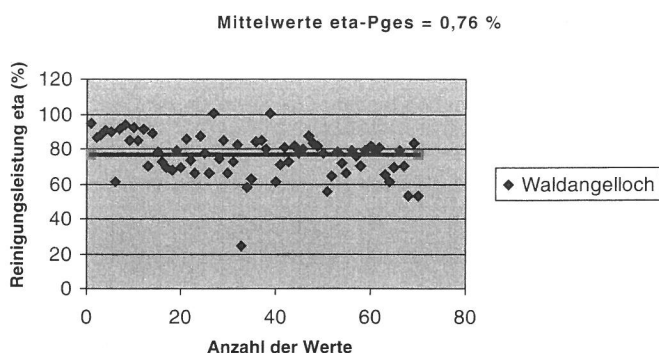


Abb. 8: Eliminationsrate für Phosphate  $P_{ges}$

## 3. Berechnungsbeispiel

### 3.1 Belastungsdaten

Als Beispiel wurde eine Gemeinde mit 2 000 Einwohnern gewählt. Die Entwässerung erfolgt im Mischsystem, das bisher am Ortsausgang mit einem Regenüberlauf entlastet wird.

Der Nachweis der Mischwasserbehandlung erfolgte mit einem Schmutzfrachtsimulationsmodell (MOMENT 5.2 oder SMUSI 4.0). Für den Zeitraum März bis November wurde eine Mischwassermenge von 96 484 m<sup>3</sup> ausgewiesen. Hochgerechnet auf das gesamte Jahr ergibt sich ein Zufluss zum Mischwasserbiotop von

$$Q_m = 128\,645 \text{ m}^3/\text{a}$$

Als mittlere Schmutzkonzentrationen im Mischwasser wurde berechnet:

abfiltrierbare Stoffe	AFS	= 107 mg/l
biologischer Sauerstoffbedarf	BSB <sub>5</sub>	= 13 mg/l
chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	= 91 mg/l
Ammoniumstickstoff	NH <sub>4</sub> -N	= 1,5 mg/l
Phosphat	P <sub>ges</sub>	= 1,0 mg/l

Der Abfluss aus dem Bodenfilter ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$Q_{ab} = Q_m / dt / 86,4 \quad (\text{l/s}) \quad (3)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

$Q_{ab}$	= Abfluss aus dem Bodenfilter	(l/s)
$Q_m$	= Jahresmischwassermenge	(m <sup>3</sup> /a)
$d_t$	= Entleerungsdauer	(d)

Die Entleerungsdauer sollte zwischen 100 und 150 Tagen liegen. Bei einer gewählten Entleerungsdauer von 125 Tagen muss im vorliegenden Beispiel der Abfluss aus dem Bodenfilter

$$Q_{ab} = 12 \text{ (l/s)}$$

betragen. Dieser Abfluss wird je nach den geodätischen Verhältnissen durch einen schwimmenden Überlauf oder eine Pumpe geregelt.

### 3.2 Volumen des Bodenfilters

Für die Bemessung des Volumens der Bodenfilter ist die erforderliche Reinigungsleistung maßgebend. Entscheidender Parameter ist der chemische Sauerstoffbedarf CSB, der als Belastungsgröße der Gewässer vorgegeben ist. Für den Ablauf aus dem Bodenfilter wird eine Schmutzkonzentration von  $CSB_{ab} = 30 \text{ mg/l}$  gewählt.

Die Umstellung der Gleichung (1) liefert die erforderliche Aufenthaltszeit  $t$

$$t = 1/k_{CSB} \cdot \ln(S_{ab}/S_{zu}) \quad (\text{h}) \quad (4)$$

Mit den Belastungsdaten des Abschnitts 3.1 ergibt sich eine erforderliche Aufenthaltszeit von  $t_a = 8,2 \text{ h}$ . Das hydraulisch wirksame Porenvolumen von Bodenfilteranlagen beträgt ca. 20 %. Damit wird ein Volumen des Bodenfilters von 1 668 m<sup>3</sup> erforderlich. Die Stärke des Bodenkörpers wird mit 80 cm gewählt. Die Oberfläche muss demnach  $A = 2\,210 \text{ m}^2$  betragen.

Die tägliche Spitzenbelastung liegt bei 432 mm/d und die jährliche Belastung bei 54 m/a.

### 3.3 hydraulische Dimensionierung des Bodenfilters

Die hydraulische Leistungsfähigkeit des Bodenfilters muss gleich oder größer sein als der Abfluss aus dem Bodenfilter. Sie wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$QBF = k_f \cdot J \cdot A \geq Q_{ab} \quad (\text{l/s}) \quad (5)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

$QBF$	= hydraulische Leistungsfähigkeit des Bodenfilters	(l/s)
$k_f$	= Durchlässigkeitsbeiwert	(m/s)
$J$	= Druckliniengefälle	(-)
$A$	= Strömungsquerschnitt	(m <sup>2</sup> )

Im Folgenden werden die Bodenfilter für die beiden Bauarten dimensioniert.

#### – horizontal durchströmter Bodenfilter

Das Druckgefälle in Bodenfiltern dieser Bauart wird durch die Sohlneigung und die Differenz der Wassertiefen im Einlauf und Auslauf erzeugt.

Die erforderliche Oberfläche muss  $A = 2\,210 \text{ m}^2$  betragen. Bei einer durchströmten Breite des Bodenfilters von  $B = 5,0 \text{ m}$  ergibt sich eine Länge des Bodenfilters von  $L = 440 \text{ m}$ .

Das erforderliche Sohl- und Druckgefälle im Bodenfilter ist abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens  $k_f$  (m/s) sowie der hydraulischen Belastung  $Q$  (l/s). Die Umformung der Gleichung (5) ergibt das erforderliche Druckgefälle:

$$J_D = Q_{ab} / (k_f \cdot A) \quad (-) \quad (6)$$



Der Durchlässigkeitsbeiwert wird in [1] mit  $k_f = 0,01 \text{ m/s}$  angegeben. In [4] und [6] wird für Pflanzenkläranlagen ein Wert von  $k_f = 0,001 \text{ m/s}$  genannt. Es wird empfohlen, die Berechnung der hydraulischen Leistungsfähigkeit mit Werten zwischen  $k_f = 0,01$  und  $0,0005 \text{ m/s}$  zu führen. Für den geringsten Wert ergibt sich ein Druckgefälle von

$$J_D = 6,79 \%$$

Das Längsgefälle des Bodenfilters wird mit  $J_S = 7 \%$  gewählt. Die Wassertiefe im Zu- und Ablauf des Bodenfilters sind unter diesen Bedingungen gleich. Durch ein weiteres Absenken des Wasserstandes im Ablauf kann die hydraulische Leistungsfähigkeit weiter gesteigert werden.

#### – vertikal durchströmter Bodenfilter

Das Druckgefälle in Bodenfiltern dieser Bauart wird durch die Differenz des Wasserspiegels zwischen Ein- und Auslauf erzeugt.

Die Stärke des Bodenfilters beträgt  $0,8 \text{ m}$ . Mit dem Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f = 0,0005 \text{ m/s}$  stellt sich eine Wasserspiegeldifferenz von  $1 \text{ cm}$  ein. Die hydraulische Leistungsfähigkeit kann auch hier durch weiteres Absenken des Wasserspiegels im Auslauf gesteigert werden.

#### 3.4 Retentionsraum

Durch den Aufstau des Absetzteiches und des Bodenfilters wird das Mischwasser zurückgehalten. Bei Überschreitung des Stauziels wird das Mischwasser über einen Notüberlauf abgeschlagen. Mithilfe des Schmutzfrachtsimulationsmodells wird die Höhenkote des Notüberlaufs bestimmt. Es wird zunächst das Wiederkehrintervall für das Anspringen des Notüberlaufs gewählt (10, 15 oder 20 Jahre). Danach wird die Berechnung mit Regenreihen von unterschiedlicher Dauer durchgeführt und der Nachweis erbracht, dass kein Wasser über den Notüberlauf abgeschlagen wird.

Sollte die erforderliche Aufstauhöhe  $1,5 \text{ m}$  überschreiten, ist die Fläche des Absetzteiches entsprechend zu vergrößern.

#### 4. Fazit

Das erforderliche Volumen des Bodenkörpers wird in Abhängigkeit von der gewünschten Reinigungsleistung berechnet. Für den biologischen Abbau von biologischem Sauerstoffbedarf  $BSB_5$ , chemischem Sauerstoffbedarf  $CSB$ , Ammoniumstickstoff  $NH_4\text{-N}$  und Gesamtstickstoff  $N_{ges}$  sind die Reaktionskonstanten bekannt. Für abfiltrierbare Stoffe  $AFS$  und Phosphate  $P_{ges}$  wird ein prozentualer Wert für die Elimination angegeben. Danach ist der Nachweis zu führen, dass das anfallende Mischwasser durch den Bodenkörper geleitet werden kann. Die gewünschte Entlastungshäufigkeit wird durch den Einstau eines vorgeschalteten Absetzteiches und des Bodenfilters nachgewiesen.

#### Literatur

- [1] Dohmann, M.: Leistungsverbesserung von biologischen Kläranlagen durch nachschalten von Filterstrecken, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Hochschule Aachen, September 1994.
- [2] Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg: Bodenfilter Waldangeloch, Dezember 1994.
- [3] Gemeinde Lahstedt, OT Gadenstedt: Sanierung der Mischwasserbehandlung, Entwurf November 1993.
- [4] Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft: Hinweise zu Planung, Dimensionierung, Bau, Betrieb und Wartung von Pflanzenkläranlagen, des Landes Nordrhein-Westfalen 2000.
- [5] Kickuth: Abwasserreinigung in Mosaikmatrizen aus aeroben und anaeroben Teilbezirken, in: Moser, F. (Hg), Grundlagen der Abwasserreinigung, Oldenbourg Verlag 1981, S 639–665.
- [6] Könemann, M.: Hydraulische Probleme von Wurzelraumanlagen zur Abwasserreinigung, in: Technische Berichte über Ingenieurhydrologie u. Hydraulik Bericht Nr. 40, TH Darmstadt 1988, S. 217–245.

#### Autor

Dr.-Ing. Norbert Könemann  
Ingenieurbüro DSP  
Gredensteiner Straße 12, 34376 Immenhausen



### Dicht oder nicht? Die Antwort hat Ullrich!



benzinfeste Blase



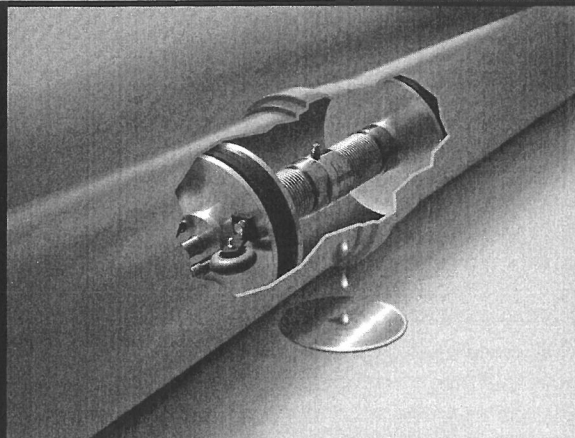
pneum. Verschluss  
125 - 175 mm



pneum. Prüfverschluss  
125 - 175 mm



Schachtprüfgerät



Absperr-, Prüf- und  
Reinigungsgeräte für Gas-  
und Kanalleitungen.

Fordern Sie unsere aus-  
führlichen Unterlagen an.

**ULLRICH**

K. Ullrich GmbH & Co KG  
Brunckstraße 6 · 67346 Speyer  
Telefon: 0 62 32/6 41 40  
Telefax: 0 62 32/64 14 44  
WEB: gas-ullrich.com

Bitte besuchen Sie uns auf der Gas/Wasser in Berlin, Halle 2.2, Stand 130.