



Retentionsbodenfilter

Handbuch für Planung, Bau und Betrieb

Retentionsbodenfilter

Handbuch für Planung, Bau und Betrieb



Die Bearbeitung erfolgte durch ein Projektteam bestehend aus:

Dr.-Ing. Dieter Grotehusmann,
Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH, Hannover

Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl
Institut für Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU)
Fachhochschule Münster

Dr.-Ing. Stephan Fuchs,
Karlsruher Institut für Technologie, Universität Karlsruhe

Dipl.-Ing. Benedikt Lambert,
Bioplan Landeskulturgesellschaft, Sinsheim

Die Erstellung des Handbuches wurde inhaltlich begleitet durch:

Dr.-Ing. Viktor Mertsch, MKULNV

Dipl.-Ing. Andrea Kaste, MKULNV

mgr inz. Agnieszka Speicher, LANUV

M.Sc. Timo Kaup, BR Münster

Dipl.-Ing. Arnold Schmidt, BR Köln

Dipl.-Ing. Thomas Sürder, BR Detmold

Dipl.-Ing. Stephan Tenkamp, BR Düsseldorf

Dipl.-Ing. Markus Winter, BR Arnberg

Vorwort des Ministers



Die Notwendigkeit einer ökologischen und nachhaltigen Niederschlagswasserbehandlung ist heute unumstritten. Zielsetzung muss es sein, die Auswirkungen der mit der Siedlungstätigkeit des Menschen verbundenen Entwässerungsmaßnahmen auf den natürlichen Wasserhaushalt zu minimieren. Angesichts des hohen Versiegelungsgrades in Nordrhein-Westfalen kommt einer nachhaltigen Niederschlagsentwässerung eine erhebliche Bedeutung zu. 22 % der Fläche Nordrhein-Westfalens werden als Siedlungs- und Verkehrsfläche genutzt. Der weiteren ständigen Ausweitung der Versiegelung muss entgegengewirkt werden. Gleichzeitig muss die Praxis der schellen undifferenzierten Ableitung des Niederschlagswassers in Frage gestellt werden. Maßnahmen zur Entsiegelung, zur Versickerung und zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung müssen in der Stadtplanung ein größeres Gewicht bekommen.

Niederschlagswassereinleitungen stellen Eingriffe in den Wasser- und Stoffhaushalt der Gewässer dar. Sie wirken sich im Abflussregime, in der Gewässergüte, der Morphologie und der Gewässerökologie in unterschiedlichem Maße aus.

Zum Schutz der Gewässer ist es deshalb notwendig, eine dem Stand der Technik entsprechende Behandlung der Niederschlagswässer vorzunehmen. In den vergangenen Jahren wurden in Nordrhein-Westfalen erhebliche Aufwendungen getroffen, um aus Gründen des Gewässerschutzes die Anlagen zur Ableitung und Behandlung der Abwässer auszubauen. Für die notwendigen Anlagen zur Behandlung bzw. Speicherung des Niederschlagswassers besteht weiterhin Handlungsbedarf. Dies zeigt auch das Maßnahmenprogramm zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie; ein Maßnahmenswerpunkt des Maßnahmenprogramms NRW sind Maßnahmen der Niederschlagswasserbehandlung.

Ein naturnahes Verfahren mit einer großen Leistungsfähigkeit stellen Retentionsbodenfilter dar. Retentionsbodenfilter dienen der Behandlung von Niederschlagsabflüssen aus Misch- und Trennsystemen sowie von Straßenabflüssen. Sie haben sich als leistungsfähige Anlagen erwiesen und eignen sich zur physikalisch-biologischen Behandlung von gelösten und partikulär gebundenen Stoffen bei akuten, verzögerten und langfristigen Gewässerbelastungen. Mit Retentionsbodenfilteranlagen können emissions- und immissionsorientierte Anforderungen des Gewässerschutzes an die Einleitung von Regenabflüssen in Oberflächengewässer erfüllt werden.

Das vorliegende Handbuch für Planung, Bau und Betrieb beinhaltet die derzeitigen Erkenntnisse und stellt somit den „Stand der Technik“ dar. Es ist die Grundlage für die Genehmigung und die Förderung dieser Anlagen. Im Rahmen des Förderprogramms „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung in NRW“ werden die Investitionskosten des Baus von Retentionsbodenfiltern mit 50 % bezuschusst.

Dies sollte Anreiz sein, bestehende sanierungsbedürftige Niederschlagswasserbehandlungsanlagen durch den Bau von Retentionsbodenfilter zu ersetzen oder zu ergänzen. Zielsetzung ist die Erreichung eines guten ökologischen Zustands der Fließgewässer.

Johannes Remmel
Minister für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW



Inhalt

1	Einleitung	8
	1.1 Geltungsbereich	8
	1.2 Wasserwirtschaftlicher Rahmen	8
	1.3 Anforderungen an Niederschlagswassereinleitungen	9
	1.4 Niederschlagswasserbehandlung	9
2	Komponenten, Funktionen und Konfigurationen	11
	2.1 Bauwerkskomponenten von Retentionsbodenfiltern	11
	2.2 Konfigurationen von Retentionsbodenfilteranlagen	14
	2.2.1 Mischsystem	14
	2.2.2 Trennsystem	14
	2.2.3 Straßenabflüsse	16
	2.2.4 Zusätzliche Regenrückhaltelamelle	16
3	Planung	18
	3.1 Ziel der Niederschlagswasserbehandlung	18
	3.2 Planungsgrundlagen	19
	3.3 Dimensionierung	20
	3.3.1 Grundlagen	20
	3.3.2 Mischsystem	21
	3.3.3 Trennsystem	22
	3.3.4 Straßenabflüsse	23
	3.3.5 Regenrückhaltanlagen	24
	3.3.6 Hochwassersicherheit und hydraulischer Nachweis	24
4	Filtermaterial	26
	4.1 Grundanforderungen an Filtersubstrate	26
	4.2 Besondere Anforderungen an Filtersubstrate	28
5	Konstruktion und Bau	29
	5.1 Baukomponenten	29
	5.2 Zulauf- und Verteilerbauwerk	30
	5.3 Abdichtung	33
	5.4 Dränsystem	34
	5.5 Filteraufbau	37
	5.6 Retentionsraum	38
	5.7 Filterablaufbauwerk	39
	5.8 Filterbeckenüberlauf	41
	5.9 Filtervegetation	42
	5.10 Bauausführung	43
	5.11 Probetrieb des Filters	43
	5.12 Investitionen	43
6	Betrieb	46
	6.1 Etablierung des Schilfbewuchses	46
	6.2 Betrieb und Unterhaltung von Retentionsbodenfiltern	47
	6.3 Selbstüberwachung von Retentionsbodenfiltern	50
A	Anhang	54
	Anhang 1	55
	Anhang 2	59
	A 2.1 Grundsätze	60
	A 2.2 Eingangsdaten der Sensitivitätsuntersuchung	60
	A 2.3 Ergebnisse	63
	2.3.1 Mischsystem	63
	2.3.2 Trennsystem/Straße	70
	Literatur	76
	Abkürzungsverzeichniss	78
	Fachbegriffe	79
	Abbildungsverzeichnis	80
	Tabellenverzeichnis	83
	Impressum	84

1 Einleitung



Verteilerrinne im RBF Fliesteden

1.1 Geltungsbereich

Das Handbuch enthält Hinweise, Empfehlungen und Anforderungen zur Planung, Dimensionierung, Konstruktion und Bau sowie Betrieb von Retentionsbodenfilteranlagen. Die Anlagen dienen der Behandlung von Niederschlagsabflüssen aus Misch- und Trennsystemen und von Straßenflächen vor deren Einleitung in Oberflächengewässer. Mit ihnen können emissions- und immissionsbezogene Anforderungen des Gewässerschutzes erfüllt werden. Das Handbuch wendet sich an Planer, Wasserbehörden und Abwasserbeseitigungspflichtige. Es handelt sich hierbei um die zweite überarbeitete Auflage. Die Neuerungen basieren auf aktuellen Erhebungsuntersuchungen, Messungen und langjährigen Betriebserfahrungen.

1.2 Wasserwirtschaftlicher Rahmen

Bei Niederschlag werden Abflüsse aus den Entwässerungssystemen der Siedlungsgebiete und Verkehrsflächen in Oberflächengewässer eingeleitet. Als Niederschlagsabflüsse werden die durch Niederschlag bedingten Abflüsse der Regenwasserkanalisation des Trennsystems und der

Straßenentwässerung sowie die Entlastungsabflüsse des Mischsystems bezeichnet. Sie stellen Belastungen des Wasser- und Stoffhaushaltes der Gewässer dar, die sich erheblich von anderen anthropogenen Gewässerbelastungen wie Kläranlagenabläufen und diffusen Quellen unterscheiden.

Niederschlagsabflüsse treten als schnelle Abflusswellen mit variablen Schmutzkonzentrationen auf. Sie wirken sich im Abflussregime, in der Gewässergüte, der Morphologie und der Biozönose von Fließgewässern in unterschiedlichem Maße aus. Ihre Wirkungen können von lokaler, regionaler und überregionaler Bedeutung sein. Abhängig von Abfluss und Stoffgruppe (sauerstoffzehrende Stoffe, Nährstoffe, Schadstoffe) sind akute und verzögerte Wirkungen sowie Langzeitwirkungen zu beobachten. Komplexe Wirkmechanismen bestimmen die Signifikanz der Einleitungen im Gewässer. Neben den Emissionen aus den Kanalisationssystemen müssen vor allem auch die Eigenschaften des Gewässers (Typ, Abflusscharakteristik, Morphologie, Eutrophierungsgrad und Vorbelastung) sowie die Nutzung des Einzugsgebietes berücksichtigt werden.

1.3 Anforderungen an Niederschlagswassereinleitungen

Wasserrechtliche Erlaubnisse zur Einleitung aus innerörtlichen Misch- und Trennsystemen und der Entwässerung außerörtlicher Straßen können nur unter den Zielvorgaben der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL, 2000) erteilt werden. Bei diesen Einleitungen in Oberflächengewässer sind im Sinne eines kombinierten Ansatzes emissions- und immissionsorientierte Anforderungen zu erfüllen (vgl. WHG, § 57 Abs. 1,2). Hierzu dienen Maßnahmen zur Rückhaltung und Behandlung der Niederschlagsabflüsse. Zunächst werden Maßnahmen nach emissionsorientierten Anforderungen gewählt und dimensioniert. Anschließend wird geprüft, ob sie den immissionsorientierten Anforderungen genügen oder ergänzend spezifische Maßnahmen zur Minderung der hydraulischen und stofflichen Belastung erforderlich sind.

Emissionsorientierte Anforderungen sehen unabhängig von der örtlichen Gewässersituation obligatorisch Maßnahmen zur Emissionsbeschränkung vor. Vorrangig wird die Beschränkung der langfristig in Gewässer eingeleiteten Stofffrachten betrachtet. In Nordrhein-Westfalen sind folgende Anforderungen und technische Regeln zu berücksichtigen:

RdErl. IVB6-031 001 2102/IVB5-673/4/2-32602 des MURL NRW vom 3.1.1995: Anforderungen an die öffentliche Niederschlagsentwässerung im Mischverfahren

RdErl. IV-9 031 001 2104 des MUNLV NRW vom 26.05.2004: Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren

RdErl. IV B 5 - 673/2-29010 / IV B 6 - 031 002 0901 des MURL NRW vom 18. Mai 1998: Niederschlagswasserbeseitigung gemäß § 51a des Landeswassergesetzes

Gem. RdErl. III.1 – 30-05/123/124 des MBV und des MUNLV NRW vom 31.03.2010: Entwässerungstechnische Maßnahmen an Bundesfern- und Landstraßen

Die DWA erarbeitet z. Zt. das DWA-A 102 (Niederschlagsbedingte Siedlungsabflüsse – Grundsätze und Anforderungen zum Umgang mit Regenwasser), das emissionsbezogene Anforderungen an die Regenwasserbehandlung über den Parameter AFS_{fein} (Fraktion der Feststoffe < 0,063 mm) definiert. Dieser Feinanteil der Feststoffe weist nach etlichen Untersuchungen den größten Teil der partikulär im Niederschlagsabfluss transportierten Schadstoffe (Schwermetalle und organische Schadstoffe) auf. Ausgehend von einem AFS_{fein} -Frachtpotential von unterschiedlichen Flächenkategorien wird ein zulässiger AFS_{fein} -Eintrag in die Gewässer festgelegt. Die Flächenkategorien sind dabei weitgehend mit denen des RdErl. IV-9 031 001 2104 („Trennerlass“) identisch.

Immissionsorientierte Anforderungen führen zu Maßnahmen, die gewässerspezifische Belastungen durch Misch- und Niederschlagswassereinleitungen weiter mindern. Im Rahmen einer Immissionsbetrachtung werden die Auswirkungen der Einleitungen für die örtliche Gewässersituation abgeschätzt und beurteilt sowie problem-spezifische Maßnahmen erarbeitet. In vielen Fällen stehen die akuten Auswirkungen durch die hydraulische und stoffliche Belastung im Vordergrund. Im Einzelfall können sich jedoch auch besondere Anforderungen aufgrund gewässerspezifischer Nutzungen oder Zuordnungen ergeben. So sind z. B. im Einzugsbereich von Trinkwassertalsperren die Keimelimination und bei Stillgewässern der Phosphorrückhalt besonders zu berücksichtigen. Weitreichende Anforderungen sind z. B. im Leitfaden zur wasserwirtschaftlich-ökologischen Sanierung von Salmonidaichgewässern in NRW (MUNLV, 2006) dargestellt. Hier sind für unterschiedliche Parameter (u.a. AFS, NH_3-N) die Konzentrationen im Gewässer für sogenannte Amplituden-Kennwerte mit bestimmter Wirkdauer und Wiederkehrhäufigkeit einzuhalten (Anhang 1).

1.4 Niederschlagswasserbehandlung

Als häufigste Maßnahmen zur Niederschlagswasserbehandlung bei emissionsorientierten Anforderungen werden in Mischsystemen Regenüberlaufbecken und Stauraumkanäle bzw. in Trennsystemen für Abflüsse von behandlungsbedürftigen Flächen der Kategorie II Regenklärbecken eingesetzt. Dort werden gut absetzbare Stoffe und Schwimmstoffe zurückgehalten. In Mischsystemen wird zudem ein hoher Anteil des jährlichen Niederschlagsabflusses zur Kläranlage geleitet.

Die o. g. standardmäßig vorgeschriebenen Sedimentationsanlagen erweisen sich jedoch oft als nicht ausreichend leistungsfähig, um die immissionsorientierten Anforderungen zu erfüllen. So kann beispielsweise der Sediment- bzw. Schwermetalleintrag von Niederschlagsabflüssen trotz der Behandlung zu schlechtem ökologischen bzw. chemischen Zustand der Gewässer führen. Die Anforderungen der WRRL können dann nur mit leistungsfähigeren Behandlungsanlagen auf Basis der Filtration (wie z. B. Retentionsbodenfilter) statt Sedimentation erreicht werden.

Auch Nährstoffeinträge wie Phosphor und Stickstoff können insbesondere in Mischsystemen ein Grund sein, dass die Retentionsbodenfilter zur Behandlung von verschmutzten Niederschlagsabflüssen notwendig werden. Dies gilt zum Beispiel für Gewässer mit geringer natürlicher Wasserführung, mehr noch für stehende Gewässerabschnitte in Fließgewässern.

In vielen Fällen unverzichtbar sind Retentionsbodenfilter für Trinkwasserschutzgebiete bei Talsperren oder karstgeprägter Grundwassergewinnung, falls sich dort die Einleitungen nicht vermeiden lassen. In Kombination mit

einer UV-Bestrahlung des Bodenfilterablaufes sind sie nach dem aktuellen Erfahrungs- und Wissensstand die Anlagen der Wahl, wenn Keime zurückgehalten werden müssen.

Für stark verschmutzte Niederschlagsabflüsse von Flächen der Kategorie III (Trennerlass) stellen Retentionsbodenfilter eine Alternative zur Ableitung und Behandlung in einer Kläranlage dar.

Mit Retentionsbodenfilteranlagen lassen sich folgende Ablaufkonzentrationen (Dränablauf) erzielen:

Tabelle 1.1 Erzielbare Ablaufkonzentrationen (Dränablauf) von Retentionsbodenfiltern

		Mischsystem	Trennsystem/Straße
AFS _{fein}	mg/l	< 5	< 5
TOC	mg/l	8	5
NH ₄ -N	mg/l	< 0,1	< 0,1
P _{ges}	mg/l	1,0 / 0,03 ¹⁾	0,3 / 0,03 ¹⁾
Zink	µg/l	20	20
Cadmium	µg/l	0,02	0,02
Kupfer	µg/l	10	10

¹⁾ Nur bei speziell für P melioriertem Substrat

Für Keime sind ohne zusätzliche UV-Bestrahlung Eliminationsraten von 90 - 99,9 % (IWW, 2010) möglich. Ein gesicherter Keimrückhalt lässt sich mit einer UV-Bestrahlung des Dränablaufes erzielen.

Die Wasserbehörden prüfen und legen aus Gewässersicht Ziele der Misch- und Regenwasserbehandlung fest, die je nach Behandlungsziel den Einsatz von Retentionsbodenfiltern bedingen können.

Retentionsbodenfilter haben sich seit über 25 Jahren als leistungsfähige Anlagen zur chemisch-physikalisch und biologischen Behandlung von partikulären, partikulär gebundenen und gelösten Stoffen bei akuten, verzögerten und langfristigen Gewässerbelastungen aus Regenwasserabflüssen aus Misch- und Trennsystemen bewährt.

2 Komponenten, Funktionen und Konfigurationen



RBF Broichweiden

2.1 Bauwerkskomponenten von Retentionsbodenfiltern

Retentionsbodenfilter sind vertikal durchströmte Filteranlagen, die gegen den Untergrund gedichtet sind. Über dem Filter befindet sich der Retentionsraum. Der Zufluss wird dort gespeichert, durchfließt die Filterschicht langsam vertikal und wird durch das Dränagesystem dem Ablaufbauwerk zugeleitet. Dort befindet sich eine Drossel-einrichtung, die den Abfluss der Anlage begrenzt. Die Filteroberfläche ist mit Schilf bepflanzt, das als konkurrenzstarke Pflanze Fremdbewuchs unterdrückt und dessen Streu zur Ausbildung einer strukturreichen Filteroberfläche und damit zum Kolmationsschutz beiträgt. Bild 2.1 zeigt einen typischen Filteraufbau eines Retentionsbodenfilters.

Auf und in der Filterschicht finden die chemisch-physikalisch und biologischen Reinigungsprozesse statt. Der primäre Prozess ist die Filtration, die einen fast vollständigen Rückhalt grob- und feinputikulärer Stoffe und an ihnen gebundener Stoffe bewirkt. Die Prozesse Sorption und Umsetzung finden an den Biofilmen der Sedimente

auf der Filteroberfläche sowie des Filtermaterials der oberen Filterschicht statt. Dort werden gelöste Inhaltsstoffe zurückgehalten und umgewandelt.

Im Mischsystem ist vor einem Retentionsbodenfilter immer ein Regenüberlaufbecken oder ein Stauraumkanal als Vorstufe angeordnet. Dort werden die Bodenfilter nur im Entlastungsfall beaufschlagt. Im Trennsystem sollen die Vorstufen aus betrieblichen Gründen gut absetzbare und Schwimmstoffe vom Filter fern halten. Bislang wurden dazu in der Regel Regenklärbecken angeordnet. Mittlerweile werden hier auch kleinere Vorstufen eingesetzt, die vor allem die Sand- und Kiesfraktion zurückhalten sollen.

Die Kombination aus Vorstufe und Retentionsbodenfilter wird Retentionsbodenfilteranlage genannt.

Die Komponenten einer Retentionsbodenfilteranlage sind in Bild 2.2 beispielhaft dargestellt.

In Tabelle 2.1 sind die Bauwerkskomponenten mit ihren jeweiligen Funktionen zusammengestellt. In Kapitel 5 werden die einzelnen Bauwerkskomponenten näher erläutert.

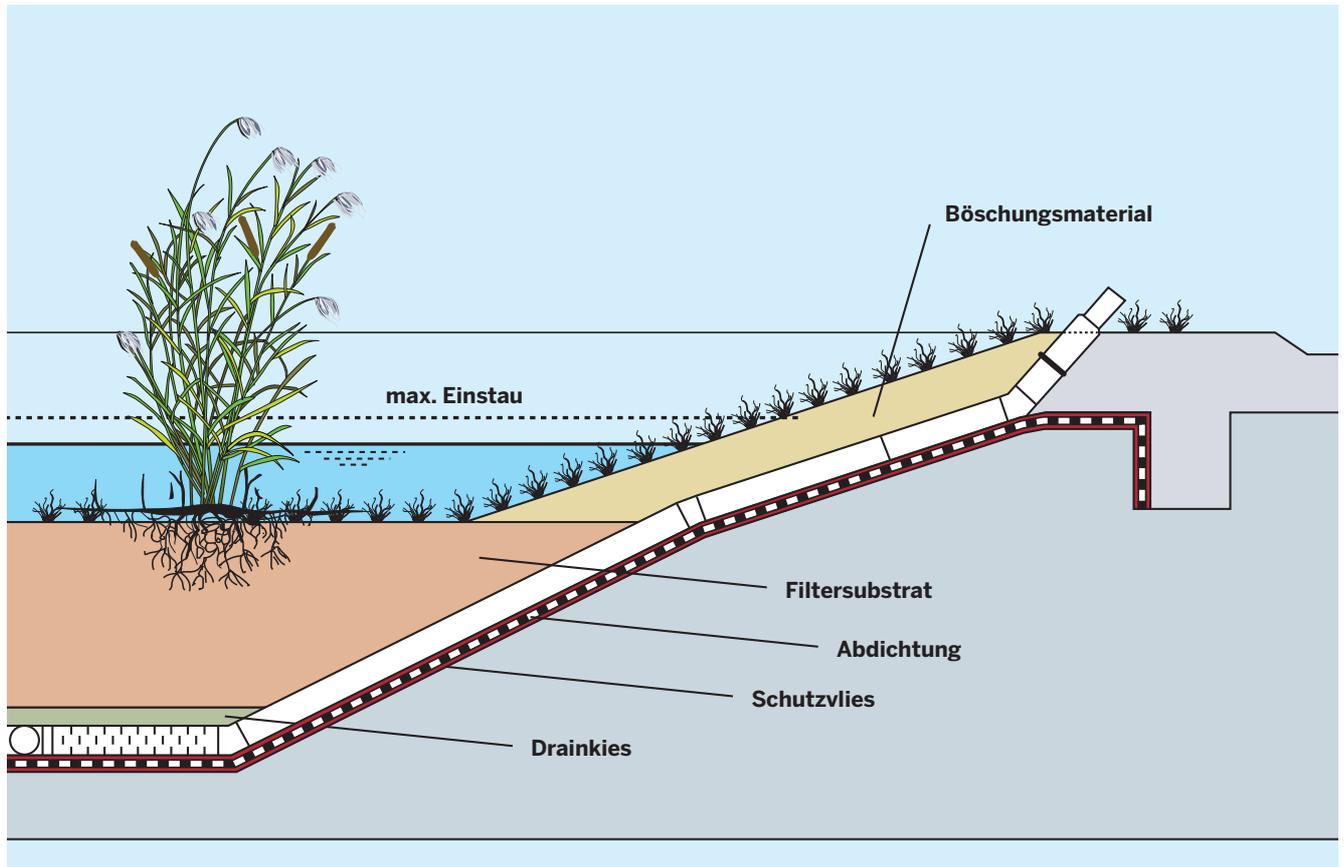
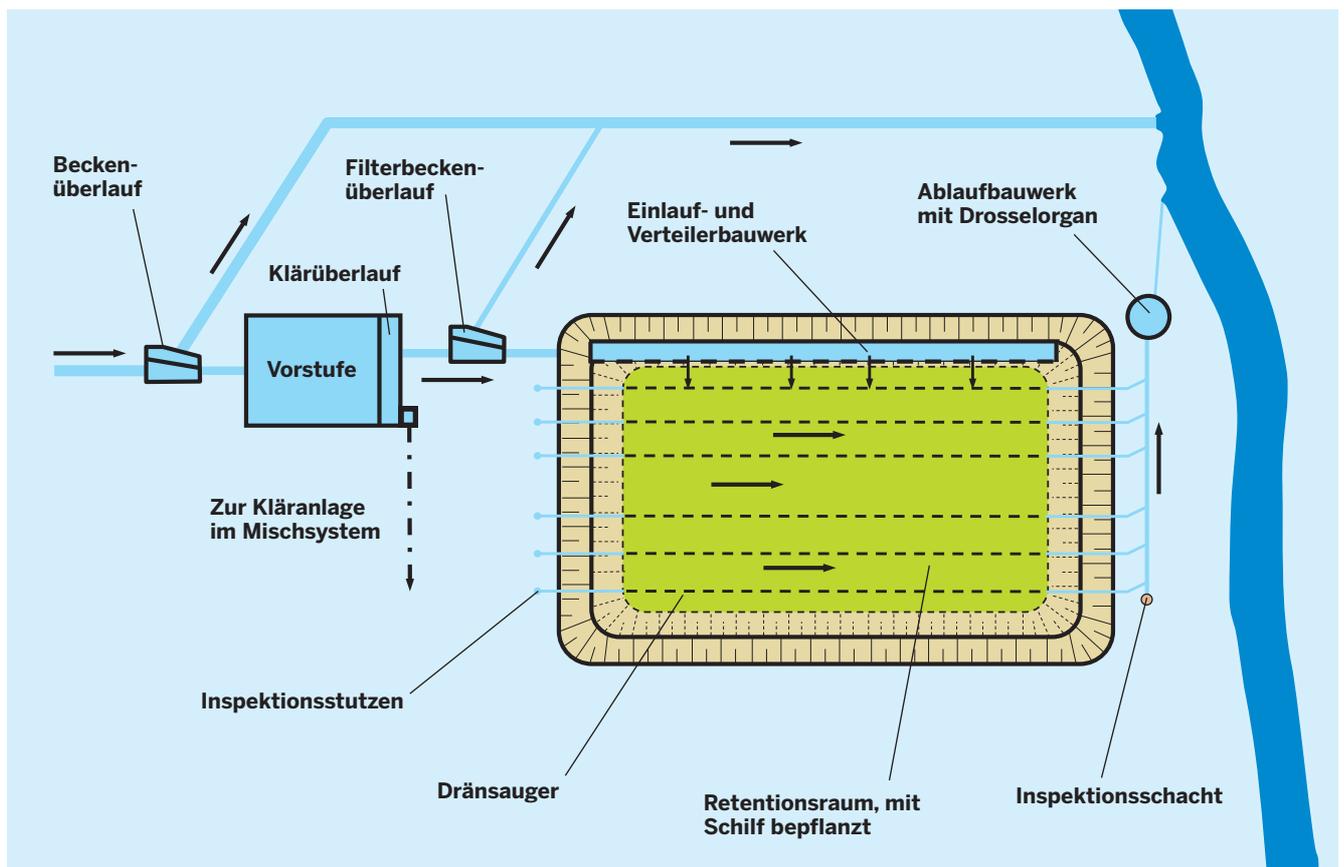
Bild 2.1 Filteraufbau eines Retentionsbodenfilters**Bild 2.2** Bauwerkskomponenten einer Retentionsbodenfilteranlage mit vorgeschaltetem Filterbeckenüberlauf und Regenüberlaufbecken als Vorstufe

Tabelle 2.1 Bauwerkskomponenten von Retentionsbodenfiltern und ihre Funktion

Komponenten	Funktion
Retentionsraum	Speicherung des zu behandelnden Zuflusses
Abdichtung	Grundwasser- und Bodenschutz Gewährleistung eines kontrollierten Filterbetriebes Möglichkeit zum Einstau
Einlauf- und Verteilungsbauwerk	gleichmäßige Verteilung des Zuflusses auf der Filterfläche Vermeidung von Erosion des Filtermaterials Reduzierung der hydraulischen Beanspruchung der Vegetation
Filterbeckenüberlauf	kontrollierte Entlastung nach Vollenfüllung des Retentionsraumes gleichmäßige Durchströmung des Retentionsraums von Durchlaufbecken
Filtervegetation	Kolmationsschutz i.d.R. Verwendung von Schilf Unterdrückung von Fremdbewuchs Ausbildung einer Sekundärfilterschicht in der Halmbruchzone oberhalb der Filterschicht Bereitstellung zusätzlicher Fläche zur Sedimentation feinstpartikulärer Feststoffe durch die Blattoberflächen
Deckschicht	Schutz der Filteroberfläche vor Erosion und äußerer Kolmation besonders in der Schilfetablierungsphase
Filterschicht	Bereitstellung der physikalischen, chemisch-physikalischen und biologischen Voraussetzungen für die Behandlung der Zuflüsse
Dränsystem	Fassung und Ableitung des filtrierte Misch- oder Regenwassers Entlüftung des Filters zu Beginn der Beschickung dränseitige Belüftung des Filtersubstrates
Inspektionsstutzen, -schächte	Zugang des Dränsystems für Inspektion und Wartung
Ablaufbauwerk und Drosselorgan	Abflusssdrosselung zur Sicherstellung der erforderlichen Filtergeschwindigkeit und Aufenthaltszeit Verschluss zwecks temporärem Filtereinstau (z.B. zur Bewässerung der Filtervegetation) Kontrolle von Menge und Güte des Filterablaufes
Notumlauf	Umleitung des Zuflusses zwecks Außerbetriebnahme des Filters bei besonderen Betriebsumständen (z. B. Etablierung des Schilfbewuchses, Regeneration des Filters nach Überlastung oder Kolmation, Bausanierung) Filterschutz bei hohem Fremdwasseranfall
Notentleerung	Filterentleerung bei Betriebsproblemen (z. B. zur Filterregeneration nach Kolmation)

2.2 Konfigurationen von Retentionsbodenfilteranlagen

Vor einer Planung einer Retentionsbodenfilteranlage ist zu prüfen, ob diese die vorgegebenen Gewässerschutzziele erreichen kann und ob die örtlichen Randbedingungen einen sicheren Betrieb erlauben. Diese Prüfung kann im Rahmen der Vorstudie stattfinden, die im Kapitel 3.2 weiter ausgeführt wird. Im Zuge der weiteren Planung ist dann die geeignete Konfiguration von Vorstufe und Bodenfilter in Abhängigkeit vom Gewässerschutzziel und den örtlichen Verhältnissen festzulegen.

2.2.1 Mischsystem

Die Vorstufe bei Retentionsbodenfilteranlagen im Mischsystem wird nach den Regeln der Technik entsprechend dem Emissionsprinzip dimensioniert. Bei neuen Anlagen sollte die Vorstufe vorzugsweise als Durchlaufbecken erstellt werden.

Regenüberläufe, die nach Arbeitsblatt ATV-A 128 bemessen sind, weisen eine deutlich geringere Entlastungshäufigkeit, -dauer und -fracht als Regenüberlaufbecken auf. Nach einem Regenüberlauf ist die Anordnung eines Retentionsbodenfilters in der Regel nicht sinnvoll, da durch die geringe Belastung betriebliche Probleme auftreten können (vgl. Kapitel 3.2).

Bild 2.3 stellt eine mögliche Anordnung einer Retentionsbodenfilteranlage im Mischsystem dar. Becken- und Klärüberlauf des Durchlaufbeckens als Vorstufe werden dem Retentionsbodenfilter zugeleitet, dort zwischengespeichert und im Filter behandelt. Eine Drosseleinrichtung im Ablauf des Filters regelt die vorgesehene Filtergeschwindigkeit. Bei Volleinstau entlastet die Retentionsbodenfilteranlage über einen Filterüberlauf, der dem Retentionsbodenfilter vorgeschaltet ist. Die Entlastungsabflüsse können bei Bedarf vor der Einleitung in das Gewässer zusätzlich in einem nachgeschalteten Regenrückhaltebecken gedrosselt werden. Die Vorschaltung des Filterbeckenüberlaufes dient vornehmlich dem Schutz des Filters vor übermäßiger Feststoffbelastung bei großen Entlastungsereignissen (Teilstrombetrieb).

Ein Bodenfilter mit nachgeschaltetem Filterüberlauf ist in **Bild 2.4** dargestellt. Diese Konfiguration kann z. B. sinnvoll sein, wenn bei beengten Verhältnissen zusätzliches Rückhaltevolumen für die Entlastungsabflüsse bereitzustellen ist. Dieses Rückhaltevolumen kann dann zweckmäßig über dem Retentionsraum des Bodenfilters als Regenrückhaltelamelle mit eigenem Drosselabfluss und nachgeschalteter Entlastung angeordnet werden (vgl. Kapitel 2.2.4). Ist das Behandlungsziel eine weitgehende Reduktion der in das Gewässer eingeleiteten Feststofffracht, so kann bei einem nachgeschalteten Filterbeckenüberlauf eine Behandlung der Entlastungsabflüsse durch

Bild 2.3 Anordnung eines Retentionsbodenfilters im Mischsystem
Vorstufe: RÜB im Nebenanschluss RBF mit vorgeschaltetem Filterüberlauf

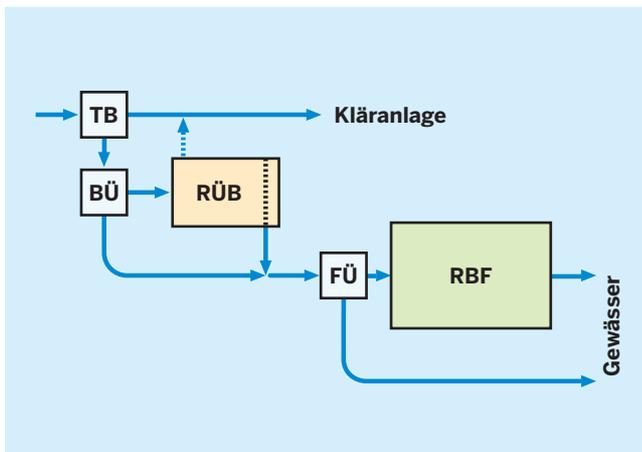
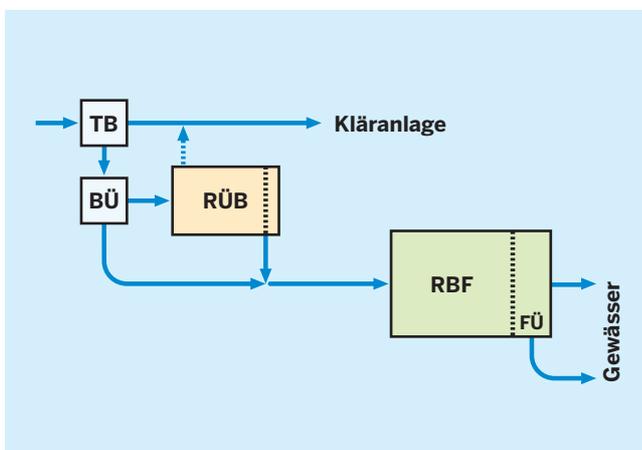


Bild 2.4 Anordnung eines Retentionsbodenfilters im Mischsystem
Vorstufe: RÜB im Nebenanschluss RBF mit nachgeschaltetem Filterüberlauf



Sedimentation im Retentionsbodenfilter erfolgen. Die Sedimentation im Retentionsraum ist wegen der sehr geringen Fließgeschwindigkeit und der Lamellenwirkung des Schilfs besonders effektiv.

Bei der Bemessung von Anlagen mit nachgeschaltetem Filterbeckenüberlauf sind auch die nicht filtrierte Zuflüsse der Filteranlage als Filterbeschickung mit anzurechnen, um der zusätzlichen Filterbelastung durch sedimentierte Feststoffe Rechnung zu tragen.

2.2.2 Trennsystem

Im Gegensatz zum Mischsystem erhalten Retentionsbodenfilter im Trennsystem bei jedem Regenereignis Zufluss und werden dadurch häufiger belastet.

Bei Neubau von Retentionsbodenfilteranlagen im Trennsystem ist in der Regel die Vorstufe lediglich auf den Grobstoffrückhalt z. B. in einem Geschiebeschacht (Konfiguration in **Bild 2.5**) auszulegen. Die bislang häufig als Vorstufen im Trennsystem verwendeten Regenklärbecken haben in Bezug auf die Feinpartikel eine sehr begrenzte Wirkung (Fuchs et al., 2010, Eyckmanns-Wolters et al., 2013). Die feinen Partikel werden dem Filter zugeführt und dort über die Filtration zurückgehalten. Unter der Voraussetzung, dass im Betrieb eine ausreichend lange Abtrockenzeit der Filterfläche gewährleistet werden kann und kein übermäßiger Feststoffeintrag von unbefestigten Flächen ins Entwässerungssystem erfolgt, ist eine Kolmation der Filterfläche durch Feinpartikeleintrag nicht zu befürchten (vgl. Kapitel 3.2). Der Filterüberlauf kann alternativ dem Retentionsbodenfilter vorgeschaltet sein, um nur einen Teil des Niederschlagsabflusses durch Filtration zu behandeln.

Vorhandene Regenklärbecken können als Vorstufe eines Retentionsbodenfilters genutzt werden. In **Bild 2.6** ist eine Kombination aus Regenklärbecken ohne Dauerstau (RKBoD) und RBF mit vorgeschaltetem Filterüberlauf dargestellt. Die Reinigung des RKBoD kann über einen Anschluss an das Schmutzwassernetz erleichtert werden, über das nach Ereignisende die abgesetzten Stoffe Richtung Kläranlage abgeleitet werden.

Bei Regenklärbecken mit Dauerstau (RKBmD) bilden sich bei Winterbetrieb mit Tausalzeinsatz Dichteschichtungen infolge der höheren spezifischen Dichte des salzhaltigen Wassers aus. Dadurch wird die Absetzleistung vermindert. Weiter können bei langen Reinigungsintervallen des Beckens Stoffe aus dem Sediment rückgelöst werden.

Nach dem Trennerlass (RdErl. IV-9 031 001 2104 des MUNLV NRW vom 26.05.2004) ist der Beckeninhalte von Regenklärbecken ohne Dauerstau (RKBoD) in einer Abwasserbehandlungsanlage für Schmutzwasser oder in einem Bodenfilter biologisch zu behandeln. Diese besondere Konfiguration ist in **Bild 2.7** dargestellt.

Bild 2.5 Anordnung eines Retentionsbodenfilters im Trennsystem/Straßenentwässerung
Vorstufe: Geschiebeschacht
RBF: Durchlaufbecken mit nachgeschaltetem Filterüberlauf

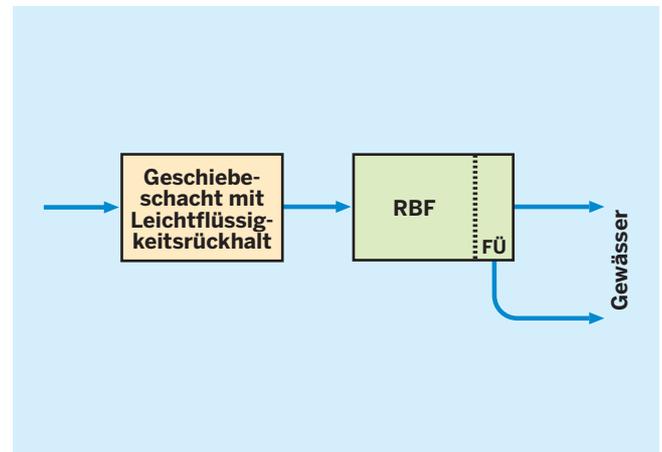
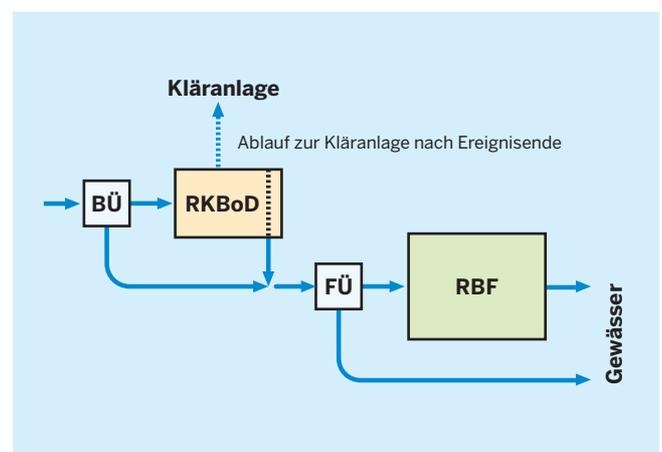


Bild 2.6 Anordnung eines Retentionsbodenfilters im Trennsystem/Straßenentwässerung
Vorstufe: RKBoD
RBF: Durchlaufbecken mit nachgeschaltetem Filterüberlauf



Da bei dieser Anordnung der Bodenfilter nach Ereignisende mit dem Beckeninhalte beaufschlagt wird, ist eine Retention über der Filterfläche i. d. R. nicht erforderlich. Langanhaltende Zuflüsse mit hoher Feststofffracht machen Bodenfilter in dieser Anordnung besonders anfällig für Kolmation.

Bislang existieren nur wenige Erfahrungen mit dieser Betriebsweise, so dass eine allgemeine Empfehlung zur Anwendung nicht gegeben werden kann. Eine Notwendigkeit zum Einsatz dieser Konfiguration kann nur dann vorliegen, wenn der Anschluss an einen Schmutz- oder Mischwasserkanal zur Beckenentleerung nicht möglich ist.

2.2.3 Straßenabflüsse

Die Konfiguration für Retentionsbodenfilteranlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen ist grundsätzlich mit der im Trennsystem vergleichbar. Auch hier soll die Vorstufe nur auf den Grobstoffrückhalt ausgelegt werden. Werden zusätzlich Anforderungen an den Leichtstoffrückhalt z. B. nach Havarien gestellt, so ist die Vorstufe entsprechend zu erweitern.

Bei der Entwässerung von außerörtlichen Bundesfernstraßen werden häufig als Vorstufe Regenklärbecken nach RAS-Ew oder Anlagen nach der RiStWag (**Bild 2.8**) eingesetzt. Diese Anlagen werden bislang im Dauerstau ausgeführt. Hier ist durch geeignete Zulaufkonstruktionen und ausreichende Beckentiefe ein Austrag bereits sedimentierter Stoffe zu vermeiden und ein Plan zur regelmäßigen Entnahme der Sedimente zu erarbeiten und genehmigungsrechtlich einzubinden.

Die Anforderungen des gemeinsamen RdErl. III.1 – 30-05/123/124 des MBV und des MUNLV NRW vom 31.03.2010 zu entwässerungstechnischen Maßnahmen an Bundesfern- und Landstraßen sind zu beachten.

2.2.4 Zusätzliche Regenrückhaltelamelle

Ist neben dem Stoffrückhalt in einer Retentionsbodenfilteranlage für den Gewässerschutz zusätzlich aus hydraulischen Gründen ein weiterer Rückhalt von entlasteten Niederschlagsabflüssen notwendig, ist zusätzliches Retentionsvolumen in Form von nachgeschalteten Regenrückhaltebecken zu schaffen.

Das Rückhaltevolumen kann auch ganz oder teilweise in einer Regenrückhaltelamelle über dem Retentionsraum des Filterbeckens angeordnet werden. Sie erhält einen eigenen Drosselabfluss in Höhe des Stauziels des Retentionsraumes. Diese Anordnung ist nur bei Anlagen mit geringem Kolmationsrisiko sinnvoll. Für die Einstaudauer der gesamten Anlage sind dabei die Vorgaben in Kap.3.3.3 einzuhalten.

Bild 2.7 Sonderlösung für Anordnung eines Bodenfilters im Trennsystem
RBF für die biologische Behandlung des Drosselabflusses des RKBoD

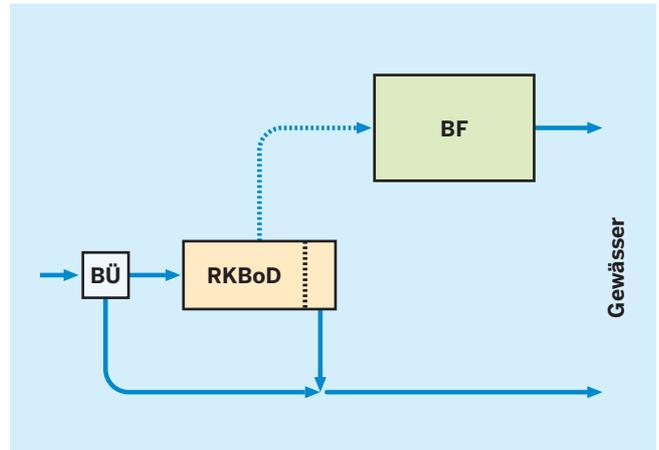
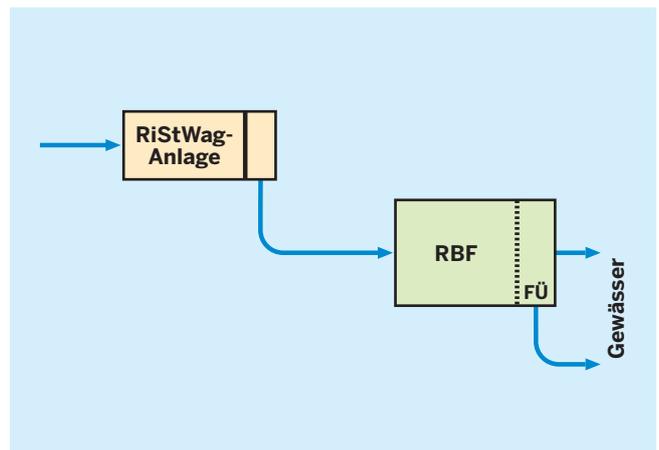


Bild 2.8 Anordnung eines Retentionsbodenfilters für die Straßenentwässerung
Vorstufe: RKBMd, z. B. RiStWag-Anlage
RBF: Durchlaufklärbecken mit nachgeschaltetem Filterüberlauf





3 Planung



Junge Schilfvegetation

3.1 Ziel der Niederschlagswasser- behandlung

Niederschlagsabflüsse aus Misch- und Trennsystemen sowie der Straßenentwässerung stellen in NRW eine maßgebende hydraulische und stoffliche Gewässerbelastung dar (MKULNV, 2011). Für die Einleitungen sind Betrachtungen nach Emissions- und Immissionskriterien sowie der Belange anderer Nutzer und Schutzziele anzustellen, aufgrund deren Ergebnisse die Ziele der Niederschlagswasserbehandlung definiert werden (Tabelle 3.1).

Bei den vorwiegend akuten Gewässerbelastungen wie hydraulischer Stress, O_2 -Defizit und NH_3 -Toxizität ist in der Regel die Entlastungshäufigkeit zu begrenzen, die entsprechend dem Wiederbesiedlungspotential anzusetzen ist. Ggf. müssen ergänzende Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrags sauerstoffzehrender Substanzen sowie organischen Stickstoffs und Ammonium geprüft werden.

Ist die Zielgröße ausschließlich die Reduzierung des hydraulischen Stresses im Gewässer, kann ein entsprechend bemessenes Regenrückhaltebecken ausreichen.

Bei den vorwiegend verzögert oder langfristigen Gewässerbelastungen durch z.B. Nährstoffe (N, P), Feststoffe (AFS_{fein}), Schwermetalle oder Keime ist in der Regel die Einleitfracht zu begrenzen.

Die Zielgrößen der Niederschlagswasserbehandlung sind vor der konkreten Planung und Dimensionierung eines Retentionsbodenfilters bei der zuständigen Wasserbehörde zu erfragen bzw. mit ihr abzustimmen.

Tabelle 3.1 Zielgrößen der Niederschlagswasserbehandlung

Defizit im Gewässer	Entlastungshäufigkeit	notwendige Reduzierung der Einleitungsfracht und/oder -konzentration
hydraulischer Stress	0,5 – 2 ¹⁾	nicht maßgebend
O ₂ -Defizit	0,5 – 2 ¹⁾	örtliche Festlegung
NH ₃ -Toxizität	0,5 – 2 ¹⁾	örtliche Festlegung
Phosphor, Stickstoff	nicht maßgebend	örtliche Festlegung
AFS _{fein} , Schwermetalle	nicht maßgebend	örtliche Festlegung
Hygiene (Keime)	örtliche Festlegung	örtliche Festlegung

¹⁾ Abhängig vom Wiederbesiedlungspotential - siehe Merkblatt BWK M3 (2001)

3.2 Planungsgrundlagen

Die hohe Leistungsfähigkeit von Retentionsbodenfiltern kann nur bei verfahrensgerechten Betriebsbedingungen erzielt werden. Daher ist nach der Klärung des Behandlungszieles vor der eigentlichen Objektplanung zu überprüfen, ob die gegebenen Randbedingungen den Bau und vor allem den dauerhaften und wartungsarmen Betrieb eines Retentionsbodenfilters zulassen. Dabei ist besonders zu beachten, dass im Gegensatz zu anderen Regenwasserbehandlungsanlagen sowohl eine Über- als auch eine Unterbelastung von Retentionsbodenfiltern deren Betrieb maßgeblich bis hin zum Versagen stören können. Bei der Dimensionierung von Retentionsbodenfiltern (Kapitel 3.3) werden daher untere und obere Grenzen der Bodenfilterbelastung angegeben.

Ein zu hoher Eintrag von feinpartikulären mineralischen Feststoffen, zu lange Einstaudauern, zu geringe Trockenzeiten zur Regeneration (z. B. Fremdwasserzufluss) und zu hohe organische Belastungen des Zuflusses stellen Überlastungen des Bodenfilters dar und führen zur Kolmation der Anlage. Mineralische Feststoffeinträge von angrenzenden Ackerflächen oder von Böschungen müssen durch geeignete Maßnahmen unterbunden werden. In Neubaugebieten sollten Bodenfilter erst nach Abschluss der wesentlichen Bauarbeiten in Betrieb genommen werden, um einen Eintrag von Boden zu vermeiden. Fremdwasserzufluss zu Bodenfilteranlagen ist unbedingt zu vermeiden. Bodenfilteranlagen eignen sich nicht dazu, die durch Fremdwasser bedingten Probleme eines Entwässerungssystems zu lösen.

Bei zu geringer Belastung kümmert die Schilfvegetation und wird durch Fremdbewuchs verdrängt. Zusätzlich besteht die Gefahr der Filterzerstörung durch wühlende Tiere. Um Überdimensionierungen und somit eine Unterbelastung zu vermeiden, sind die angeschlossenen befestigten Flächen ($A_{E,b,a}$) des Einzugsgebietes so genau wie möglich zu bestimmen. Hierzu haben sich Luftbilddauswertungen, Daten örtlicher Erhebungen sowie insbesondere Messprogramme als sinnvoll erwiesen.

In Mischsystemen muss die Berechnung der Entlastungsabflüsse der Regenüberlaufbecken (RÜB) und Stauraumkanäle (SK) die Stauvolumina des Kanalnetzes mit berücksichtigen. Vorliegende Messdaten über das Entlastungsverhalten der vorhandenen Bauwerke sind in jedem Fall auszuwerten. Bodenfilter im Mischsystem sollen im Mittel mindestens 10 mal jährlich mit Entlastungsabflüssen aus RÜB oder SK beschickt werden, um zu lange Trockenzeiten und damit Schäden an der Filtervegetation zu vermeiden.

Beim Bau eines Retentionsbodenfilters für einen künftigen Erschließungsstand sollte ein stufenweiser Ausbau des Bodenfilters entwickelt werden.

3.3 Dimensionierung

3.3.1 Grundlagen

Die Dimensionierung eines Bodenfilters erfolgt iterativ im Nachweisverfahren mit einer Langzeitsimulation für eine mindestens zehnjährige Niederschlagszeitreihe. Die Langzeitsimulation berücksichtigt das Niederschlags-Abflussverhalten des Einzugsgebietes, das Entlastungsverhalten der Vorstufe, des Trennbauwerkes und das Retentions- und Filtrationsverhalten des Bodenfilters. Daraus resultieren die nachzuweisenden Zielgrößen der Regenwasserbehandlung sowie die zulässige Filterbelastung (Begrenzung der aufgebrauchten Feststofffracht). Wird das Behandlungsziel nicht erreicht oder wird die zulässige Filterbelastung überschritten, werden die Kenngrößen des Bodenfilters neu gewählt und die Berechnung wiederholt.

Im Anhang 2 wird auf der Basis von vielen Langzeitsimulationen der Einfluss der Bemessungszielgröße und weiterer Randbedingungen auf die notwendige Größe des Bodenfilters aufgezeigt.

Die Feststofffracht der im Einzugsgebiet des Bodenfilters angeschlossenen Flächen wird über spezifische Frachtpotentiale abgeschätzt. Die Kategorisierung der Flächen erfolgt nach dem „Trennerlass“. Bei Einzugsgebietsflächen mit unterschiedlichen Flächenkategorien ist die Feststofffracht entsprechend der Flächenanteile und den jeweiligen spezifischen Frachtpotentialen zu berechnen. Im Mischsystem ist zusätzlich die Feststoffkonzentration des Trockenwetterabflusses zu berücksichtigen. Die Feststoffkonzentration des Niederschlagsabflusses ergibt sich aus dem Stoffabtrag der Flächen des Einzugsgebietes und dem örtlichen mittleren Jahresniederschlagsabfluss wie folgt:

1. Ermittlung der Anteile der Flächenkategorien gemäß „Trennerlass“
2. Berechnung der Gesamtfracht von den einzelnen Oberflächen mit:

$$B_{R,a,ges} = \sum A_{E,b,a,i} \cdot b_{R,a,i}$$

$B_{R,a,ges}$	kg/a	Gesamtfracht an AFS _{fein} von den angeschlossenen Flächen
$A_{E,b,a,i}$	ha	angeschlossene befestigte Fläche
$b_{R,a,i}$	kg/(ha·a)	spezifischer AFS _{fein} Stoffabtrag

3. Ermittlung der mittleren Jahresniederschlagsabflusssumme VQ_R mittels Langzeitsimulation einer mindestens zehnjährigen Niederschlagszeitreihe
4. Berechnung der mittleren Feststoffkonzentration AFS_{fein} zu

$$C_{R,AFSfein} = \frac{B_{R,a,ges} \cdot 1000}{VQ_R}$$

Im Mischsystem kann die Konzentration von AFS_{fein} im Trockenwetterabfluss vereinfacht mit $C_{T,AFSfein} = 150$ mg/l angesetzt werden. Nach den Untersuchungen von Eyckmanns-Wolters (2013) sind relativ konstant 70 – 90 % von AFS der Feinfraktion zuzuordnen. Die Auswertungen von Brombach/Fuchs (2002) ergeben für AFS im Trockenwetterabfluss des Mischsystems als Median 155 mg/l und als Mittelwert 249 mg/l. Der vorgeschlagene Wert von 150 mg/l für AFS_{fein} im Trockenwetterabfluss passt unter Berücksichtigung der hohen feinpartikulären Anteile in diesen Rahmen.

Alternativ können auch gemessene AFS_{fein}-Konzentration im Regen- und Trockenwetterabfluss angesetzt werden. An die Messungen sind dann folgende Anforderungen zu stellen:

- Trockenwetterabfluss
Tagesmischproben, zeitproportionale Probenahme, alle Wochentage,
- Niederschlagsabfluss
je Quartal mindestens eine Messkampagne mit Erfassung von Ereignissen unterschiedlicher Niederschlagshöhe, abflussvolumenproportionale Probenahme, Ereignismischproben, abflussgewichtete Mittelwertbildung.

Die AFS_{fein}-Konzentrationen des Niederschlags- und des Trockenwetterabflusses werden als Eingangsgrößen für die anschließende Schmutzfrachtsimulation für die Bemessung verwendet.

3.3.2 Mischsystem

Vorstufe

Im Mischsystem bestimmen das Entlastungsverhalten und der Feststoffrückhalt der Vorstufe die Dimensionierung und das spätere Betriebsverhalten des Retentionsbodenfilters entscheidend. Es gilt der RdErl. IVB6 – 031 001 2102/IV B 5 - 673/4/2-32602 des MURL NRW vom 03.01.1995 „Anforderungen an die öffentliche Niederschlagsentwässerung im Mischverfahren“ oder eine nachfolgende Regelung.

Die Belastung des Bodenfilters ergibt sich aus einer Schmutzfrachtsimulation des Mischwassersystems einschließlich seiner Vorstufe.

Filterbecken

1 Festlegung der Drosselabflussspende

Die Drosselabflussspende wird nach Tabelle 3.2 dem Behandlungsziel gemäß gewählt. Für die Bemessung kann der Drosselabfluss über die Einstauhöhe als konstant angenommen werden. Für den endgültigen Nachweis muss die Kennlinie der geplanten Drossel-einrichtung angesetzt werden.

Tabelle 3.2 Drosselabflussspenden für RBF im Mischsystem bezogen auf die Filteroberfläche

Zielgröße Parameter	Drosselabflussspende
AFS _{fein} , CSB, BSB, Schwermetalle, P	$q_{Dr,RBF} = 0,03 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$
NH ₄ -N	$q_{Dr,RBF} = 0,02 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$
Keime	$q_{Dr,RBF} = 0,01 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ¹⁾

¹⁾ i. d. R. ist eine UV-Behandlung des Bodenfilterablaufes vorzuziehen. Dann kann auch $0,03 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ angesetzt werden

2 Wahl der Bodenfilteroberfläche

Als erster Schätzwert für A_F für den Regelfall kann 75 m^2 je 1 ha $A_{E,b,a}$ angenommen werden.

3 Wahl der nutzbaren Tiefe h_{RBF} [m] und der Böschungsneigung 1:m, Berechnung des Volumens des Retentionsraumes V_{RBF} [m³]

Das Porenvolumen sandiger Filtersubstrate kann als Speicher mit pauschal 15 % des Filtersubstratvolumens angerechnet werden. Das Volumen eines aus weiteren Belangen erforderlichen Regenrückhaltebeckens ist zusätzlich nachzuweisen.

4 Durchführung der Langzeitsimulation

Durchführung einer Schmutzfrachtberechnung als Langzeitsimulation mit mindestens 10 Jahren Niederschlagsbelastung für die Vorstufe einschließlich ein-stauender Kanalnetzteile und des Bodenfilters.

Nachweis der folgenden Kenndaten (Jahresmittelwerte):

$VQ_{F,zu}$	m ³ /a	mittlere jährliche Zuflusssumme zum Bodenfilter
VQ_F	m ³ /a	mittlere jährliche Filterablaufsumme
$VQ_{FÜ}$	m ³ /a	mittlere jährliche Filterüberlaufsumme
$VQ_{Dr,RAA}$	m ³ /a	mittlere jährliche Drosselabflusssumme der Regenrückhaltelamelle (sofern vorhanden)
$t_{E,n=1}$	h	mittlere 1-jährliche Einstaudauer
$n_{RÜB}$	1/a	mittlere jährliche Entlastungshäufigkeit des RÜB
n_{RBF}	1/a	mittlere jährliche Entlastungshäufigkeit des RBF
$B_{AFS,F,zu}$	kg/a	mittlere jährliche AFS-Zulauffracht zum RBF

5 Prüfung der Einhaltung der Behandlungsziele

Die Einhaltung der vorgegebenen Behandlungsziele ist zu prüfen.

Sollen Frachten oder Konzentrationen ermittelt werden, so können aus Tabelle 3.3 die Wirkungsgrade für die Vorstufe $\eta_{RÜB}$ (nur Sedimentation), für den nachgeschalteten Filterüberlauf $\eta_{FÜ}$ (nur Sedimentation) inklusive einer integrierten Regenrückhaltelamelle und für den Dränablauf des Bodenfilters η_F angesetzt werden.

Tabelle 3.3 Wirkungsgrade RBF für Mischsystem

Parameter	$\eta_{RÜB}$	$\eta_{FÜ}$	η_F
AFS _{fein}	0,2	0,5	0,95
Phosphor	0,1	0,2	0,2 / 0,8 ¹⁾
Ammonium	0	0	0,85
Keime	0		1-3 log

¹⁾ nur bei speziell für P melioriertem Substrat

6 Prüfung der Feststoffbelastung des Filters

Dem Bodenfilter wird aus der Vorstufe eine Feststofffracht $B_{AFS,F,ZU}$ zur Behandlung zugeführt. Sie bewirkt bei der Filtration und der Sedimentation im Retentionsraum eine Feststoffbelastung der Filteroberfläche, die zu prüfen ist:

bei einem Filterüberlauf vor dem Filter $VQ_{F,ZU} = VQ_F$:

$$b_{spez_F} = \frac{B_{AFS,F,ZU}}{A_F} \cdot \eta_{AFS_F} \leq 7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

bei einem Filterüberlauf nach dem Filter:

$$b_{spez_F} = \frac{B_{AFS,F,ZU}}{A_F} \cdot \frac{VQ_F \cdot \eta_{AFS_F} + VQ_{FÜ} \cdot \eta_{AFS_FÜ}}{VQ_{F,ZU}} \leq 7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

mit:

η_{AFS_F} AFS_{fein}-Wirkungsgrad für Filterablauf
(vgl. Tabelle 3.3)

$\eta_{AFS_FÜ}$ AFS_{fein}-Wirkungsgrad für nachgeschalteten
Filterüberlauf (vgl. Tabelle 3.3)

7 Prüfung der Beschickungsanzahl und der zulässigen Einstaudauer und -häufigkeit

mittlere Beschickungsanzahl RBF $n_{RÜB} \geq 10/a$
einjährliche Einstaudauer RBF $t_{E,n=1} \leq 48 \text{ h}$

8 Iteration

Entsprechen die Kenngrößen nicht den Zielwerten oder werden die Prüfwerte der Bodenfilterbelastung überschritten, so erfolgt eine Neudimensionierung des Retentionsbodenfilters (Schritte 2 und 3). Gegebenenfalls muss auch der Drosselabfluss der Vorstufe verringert oder erhöht werden, um das Verhalten der gesamten Retentionsbodenfilteranlage den gewässer- und anlagen-spezifischen Zielgrößen entsprechend zu gestalten.

Für die neue Variante werden die Arbeitsschritte 4 – 7 wiederholt, bis sowohl die Zielgrößen als auch die zulässige Bodenfilterbelastung eingehalten ist. Der Bearbeitung erfolgt iterativ, bis die Endvariante gefunden ist.

3.3.3 Trennsystem

Vorstufe

Die Vorstufe bei Bodenfiltern im Trennsystem soll vorwiegend Sand und Grobstoffe zurückhalten. Daher ist ein unbelüfteter Geschiebeschacht ausreichend. Die Geschiebeschächte sind für den Rückhalt von Sand und Kies auszulegen und sollten einen Geschiebesammelraum von rd. $0,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ A_u aufweisen. Geschiebeschächte können in Anlehnung an das Merkblatt DWA-M 176 ausgeführt werden. Zusätzlich sollte die Möglichkeit des Leichtflüssigkeitsrückhalts vorgesehen werden. Alternativ zu Geschie-

beschächten kann auch eine definierte Absetzzone im Retentionsraum des Bodenfilters angeordnet werden. Die Belastung des Bodenfilters ergibt sich aus der Stofffrachtsimulation des Regenwassernetzes des Trennsystems einschließlich Trennbauwerk und Vorstufe. Die Konzentration des Niederschlagsabflusses wird gemäß Kapitel 3.3.1 angesetzt. Den Geschiebeschächten wird kein Wirkungsgrad für AFS_{fein} zugebilligt.

Filterbecken

1 Festlegung der Drosselabflussspende

Die Drosselabflussspende wird nach Tabelle 3.4 dem Behandlungsziel gemäß gewählt. Im Trennsystem kann mit $0,05 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ein höherer Wert als im Mischsystem gewählt werden, da i. d. R. die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Trennsystemabfluss deutlich geringer als im Mischsystem ist und damit die Ionenkonkurrenz um die Sorptionsplätze nicht so stark ist.

Für die Bemessung kann der Drosselabfluss über die Einstauhöhe als konstant angenommen werden. Für den endgültigen Nachweis muss die Kennlinie der geplanten Drosseleinrichtung angesetzt werden.

Tabelle 3.4 Drosselabflussspenden für RBF im Trennsystem bezogen auf die Filteroberfläche

Zielgröße Parameter	Drosselabflussspende
AFS _{fein} , CSB, BSB, Schwermetalle, P	$q_{Dr,RBF} = 0,05 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$
Keime	$q_{Dr,RBF} = 0,01 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ¹⁾

¹⁾ i. d. R. ist eine UV-Behandlung des Bodenfilterablaufes vorzuziehen. Dann kann auch $0,05 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ angesetzt werden

2 Wahl der Bodenfilteroberfläche

Die Oberfläche des Filters A_F kann abhängig von der im Bodenfilter zu behandelnden AFS_{fein}-Jahresfracht $B_{AFS,F,ZU}$ [kg/a] und der zulässigen mittleren Filterbelastung von $7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ näherungsweise abgeschätzt werden:

$$A_F = \frac{B_{AFS,F,ZU}}{7} [\text{m}^2]$$

Bei einer Vollstrombehandlung (gesamter Niederschlagsabfluss wird über den Bodenfilter geleitet) entspricht $B_{AFS,F,ZU}$ dem gesamten Frachtpotential der angeschlossenen Flächen $B_{R,a,ges}$.

In Gebieten mit mittleren Jahresniederschlagshöhen $> 1.000 \text{ mm/a}$ muss die Filterfläche mindestens 100 m^2 je 1 ha $A_{E,b,a}$ betragen. Dieser Wert für die Filterfläche darf auch bei den nachfolgenden Iterationsschritten nicht unterschritten werden.

3 Wahl der nutzbaren Tiefe h_{RBF} [m] und der Böschungseigung 1:m, Berechnung des Volumens des Retentionsraumes V_{RBF} [m³]

Das Porenvolumen sandiger Filtersubstrate kann als Speicher mit pauschal 15 % des Filtervolumens angerechnet werden. Das Volumen eines aus weiteren Belangen erforderlichen Regenrückhaltebeckens ist zusätzlich nachzuweisen.

4 Durchführung der Langzeitsimulation

Durchführung einer Schmutzfrachtberechnung als Langzeitsimulation mit mindestens 10 Jahren Niederschlagsbelastung für die Vorstufe einschließlich einstauender Kanalnetzteile und den Bodenfilter.

Nachweis der folgenden Kenndaten (Jahresmittelwerte):

$VQ_{F,ZU}$	m ³ /a	mittlere jährliche Zuflusssumme zum Bodenfilter
VQ_F	m ³ /a	mittlere jährliche Filterablaufsumme
$VQ_{FÜ}$	m ³ /a	mittlere jährliche Filterüberlaufsumme
$VQ_{DR,RRL}$	m ³ /a	mittlere jährliche Drosselabflusssumme der Regenrückhaltelamelle sofern vorhanden
$t_{E,n=1}$	h	mittlere 1-jährliche Einstaudauer
η_{RBF}	1/a	mittlere jährliche Entlastungshäufigkeiten RBF
$B_{AFS,F,ZU}$	kg/a	mittlere jährliche AFS-Zulaufmenge zum RBF

5 Prüfung der Einhaltung der Behandlungsziele

Die Einhaltung der vorgegebenen Behandlungsziele ist zu prüfen. Das können z. B. zulässige Überlaufhäufigkeiten, der Anteil der behandelten Wassermenge oder auch die Einhaltung bestimmter Einleitfrachten sein. Sollen aufgrund des angestrebten Behandlungsziels die Minderung von Frachten oder Konzentrationen ermittelt werden, so können folgende Wirkungsgrade für die Vorstufe η_V (nur Sedimentation), den nachgeschalteten Filterüberlauf $\eta_{FÜ}$ (nur Sedimentation) inklusive einer integrierten Regenrückhaltelamelle und den Dränablauf des Bodenfilters η_F angesetzt werden.

Tabelle 3.5 Wirkungsgrade RBF für Trennsystem

Parameter	η_V	$\eta_{FÜ}$	η_F
AFS _{fein}	0/0,2 ¹⁾	0,5	0,95
Phosphor	0	0,3	0,5/0,8 ²⁾
Keime	0		1-3 log

¹⁾ nur bei Auslegung der Vorstufe als RKB mit $q_a < 10$ m/h

²⁾ nur bei speziell für P melioriertem Substrat

6 Prüfung der zulässigen AFS-Filterbelastung

Bei Filterüberlauf vor Filter $VQ_{F,ZU} = VQ_F$:

$$b_{spez_F} = \frac{B_{AFS,F,ZU}}{A_F} \cdot \eta_{AFS_F} \leq 7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Bei Filterüberlauf nach Filter:

$$b_{spez_F} = \frac{B_{AFS,F,ZU} \cdot VQ_F \cdot \eta_{AFS_F} + VQ_{FÜ} \cdot \eta_{AFS_FÜ}}{A_F \cdot VQ_{F,ZU}} \leq 7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

mit:

η_{AFS_F} AFS_{fein}-Wirkungsgrad für Filterablauf (vgl. Tabelle 3.5)

$\eta_{AFS_FÜ}$ AFS_{fein}-Wirkungsgrad für Filterüberlauf (vgl. Tabelle 3.5)

7 Prüfung der zulässigen Einstaudauer

einjährige Einstaudauer RBF $t_{E,n=1} \leq 48$ h

8 Iteration

Entsprechen die Kenngrößen nicht den Zielwerten oder werden die Prüfwerte der Bodenfilterbelastung überschritten, so erfolgt eine Neudimensionierung des Retentionsbodenfilters (Schritte 2 und 3).

Für die neue Variante werden die Arbeitsschritte 4 – 7 wiederholt, bis sowohl die Zielgrößen als auch die zulässige Bodenfilterbelastung eingehalten werden.

3.3.4 Straßenabflüsse

Die Dimensionierung von Retentionsbodenfilteranlagen für Straßenabflüsse erfolgt wie im Trennsystem nach dem in Kapitel 3.3.3 beschriebenen iterativen Nachweisverfahren.

Vereinfacht kann für Retentionsbodenfilter für Straßenabflüsse die Filterfläche zu 100 m² je 1 ha $A_{E,b,a}$, die Tiefe des Retentionsraumes zu $h_{RBF} \geq 0,5$ m und die Drosselabflussspende zu $q_{Dr,RBF} = 0,05$ l/(s·m²) angesetzt werden. Diesem einfachen Ansatz liegt die Annahme zu Grunde, dass bei Straßenabflüssen immer mit dem höchsten AFS_{fein}-Frachtpotential zu rechnen ist. Die Bodenfilteranlagen werden dabei i. d. R. größer, als bei dem detaillierten Bemessungsvorgehen wie beim Trennsystem. Derart bemessene Retentionsbodenfilter reinigen i. d. R. mehr als 90 % der mittleren jährlichen Niederschlagsabflusssumme und halten mehr als 80 % der AFS_{fein}-Fracht zurück. Sofern detaillierte Behandlungsziele seitens der Wasserbehörde vorgegeben sind, ist bei der Bemessung der iterative Bemessungsgang wie im Trennsystem vorzunehmen.

3.3.5 Regenrückhalteanlagen

In vielen Fällen ist neben der Behandlung auch eine Rückhaltung der Niederschlagsabflüsse erforderlich. Die Regenrückhalteanlage wird im Regelfall als Regenrückhaltebecken dem Retentionsbodenfilter nachgeschaltet. In geeigneten Fällen kann die Regenrückhalteanlage in den Retentionsbodenfilter integriert werden. Über dem Retentionsraum des Filterbeckens wird die Rückhalteanlage (Regenrückhaltelamelle) angeordnet. Sie erhält eine eigene Drossel, die ab dem Stauziel des Retentionsraumes in Betrieb geht. Für ein einjähriges Ereignis darf die Einstaudauer der gesamten Anlage einschließlich Regenrückhaltelamelle 48 Stunden nicht überschreiten.

Die Rückhaltewirkung des Retentionsbodenfilters kann bei der Dimensionierung der Regenrückhalteanlage berücksichtigt werden. Dies kann im Rahmen der Langzeitsimulation für den Retentionsbodenfilter erfolgen. Das erforderliche Speichervolumen der Regenrückhalteanlage wird für den zulässigen Drosselabfluss und die zulässige Überlaufhäufigkeit nach DWA-A 117 iterativ bestimmt.

3.3.6 Hochwassersicherheit und hydraulischer Nachweis

Die in dem Arbeitsblatt DWA-A 166 aufgeführten hydraulischen Nachweise sind zu führen.

Folgende Punkte sind für die Retentionsbodenfilteranlage gesondert nachzuweisen:

- **Rückstau im Retentionsbodenfilter**
Der Ablauf von Anlagen im Mischsystem ist grundsätzlich hochwasserfrei zu halten. Über Rückstauverschlüsse oder Pumpen kann ein Füllen des Filterkörpers bzw. der Vorstufe aus dem Gewässer bei Hochwasser vermieden werden. Bei Anlagen im Trennsystem und zur Straßenentwässerung kann für Hochwasserabflüsse der Häufigkeit $n \leq 0,5$ ein kurzzeitiger Teileinstau der Filterschicht für 1-2 Tage toleriert werden.
- **Hochwassersicherheit**
Es muss sichergestellt sein, dass die Retentionsbodenfilteranlagen bei Hochwasser nicht in ihrem Bestand gefährdet sind und damit auch der weitere Betrieb nach dem Hochwasser gewährleistet ist. Bestehende Regelungen zur Hochwassersicherheit von Abwasseranlagen sind zu beachten.
- **Einhaltung des Drosselabflusses**
Die Einhaltung des gewählten Drosselabflusses ist zumindest bis zur Vollenfüllung des Retentionsbodenfilters nachzuweisen. Die Drosseleinrichtung darf für die der Dimensionierung zugrundeliegenden Häufigkeit nicht durch Rückstau vom Gewässer beeinflusst werden.



RBF nahe Wohnbebauung - ohne abwassertypische Geruchsentwicklung



4 Filtermaterial



Bodenfilter in der Mahr

Die Reinigungsleistung von Bodenfiltern ist entscheidend von geeigneten Filtersubstraten abhängig. Die Wahl des Filtersubstrates muss sich dabei an der Beschaffenheit des Zuflusses und dem für das Gewässer notwendigen Reinigungsziel orientieren.

4.1 Grundanforderungen an Filtersubstrate

Im Folgenden werden Eigenschaften von Filtersubstraten beschrieben, mit denen nach derzeit abgesichertem Stand des Wissens gute bis sehr gute Reinigungsleistungen erzielt werden können. Von den Anforderungen abweichende Substrate können eingesetzt werden, wenn ihre Eignung für den Einsatz in Retentionsbodenfiltern durch Untersuchungen nachgewiesen wird.

An Filtersubstrate sind folgende Grundforderungen zu stellen:

- Rückhalt von feinpartikulären Feststoffen, Sicherung der mikrobiellen Oxidation von CSB/BSB und Ammonium sowie dauerhafter Rückhalt von Schwermetallen, Polyzyklisch Aromatischen Kohlenwasserstoffen und Mineralölkohlenwasserstoffe,
- strömungsmechanische Stabilität und ausreichende Wasserdurchlässigkeit,
- ausreichende Basenausstattung,
- Schadstofffreiheit.

Tabelle 4.1 fasst Eigenschaften, Empfehlungen und Anforderungen für geeignete Filtersubstrate in Retentionsbodenfiltern zusammen.

Tabelle 4.1 Grundanforderungen an Filtersubstrate für Bodenfilter

Eigenschaft	Begründung
Verwendung von Sand 0/2 nach TL Gestein – StB 04 $3 < U = d_{60}/d_{10} < 5$	hohe strömungsmechanische Stabilität, hohe Wasserdurchlässigkeit, gleichmäßige Durchströmung
Begrenzung Feinkornanteil $T + U < 1\%$	Vermeidung von substratbürtigen Partikelaustrag, hohe Wasserdurchlässigkeit
Begrenzung Kiesanteil $G < 5\%$	Feinpartikelfiltration ermöglichen, hohe aktive Kornoberfläche und Pufferfähigkeit gegenüber Belastungsschwankungen
Carbonatgehalt $> 20\%$	Abpufferung der bei Nitrifikation entstehender pH-Wert Senkung, Vermeidung der Verlagerung von Schwermetallen
Begrenzung der organischen Substanz $< 1\%$	Verhinderung der Mineralisierung von organischer Substanz im Substrat, Vermeidung von Aggregatbildungen
Schadstofffreiheit	Vermeidung von substratbürtigen Schadstoffeintrag in die Gewässer

Korngrößenverteilung

Sandiges Filtersubstrat hat sich unter Abwägung zwischen Bautechnik, Reinigungsleistung und Kosten durchgesetzt. Es sind Sande 0/2 mit steiler Körnungslinie und Begrenzung des Fein- und Grobkornanteils zu verwenden. Die Filtrationswirkung gegenüber Feinpartikeln ist bei diesen Substraten ab Betriebsbeginn vorhanden. Die notwendige Sorptionskapazität gegenüber Ammonium entsteht vorwiegend mikrobiell nach einer kurzen Einfahrphase.

Carbonatgehalt

Das Filtersubstrat muss über ausreichende Carbonatvorräte verfügen. Da durch die Nitrifizierung Säuren gebildet werden, ist zur Immobilisierung des sich bildenden Schwermetalldepots eine pH-Stabilisierung notwendig. Über den Dränablauf wird zusätzlich Carbonat ausgebracht.

Die natürlichen Carbonatgehalte von Sanden schwanken in einer weiten Spanne, so dass häufig Carbonat zugegeben werden muss. Für die Carbonatdecklage sollte Carbonatplitt 2/5 und für das Filtermaterial gewaschener Carbonatbrechsand verwendet werden. Durch den hohen Anteil der Grobsandfraktion im Carbonatbrechsand werden die Carbonatreaktivität und damit der schnelle Carbonatverbrauch im Filtermaterial begrenzt. Die in Tabelle 4.1 definierten Anforderungen an die Körnungslinie sind im Substrat auch nach einer Carbonatzumischung einzuhalten.

Schadstoffgehalt

Es ist sicherzustellen, dass keine mit Schadstoffen belasteten Substrate als Filtermaterial eingesetzt werden. Bei natürlichen Sandvorkommen ohne vorherige Verwendung sind, von wenigen geologischen Besonderheiten abgesehen, keine Vorbelastungen mit Schwermetallen oder organischen Schadstoffen zu erwarten. Carbonatsteine können z.B. hohe Bleigehalte besitzen. Werden Carbonatgesteine oder weitere Zuschlagstoffe zur Verbesserung des Stoffbindungsvermögens bei besonderen Reinigungsanforderungen verwendet (Kapitel 4.2), ist besonderes Augenmerk auf den Stoffgehalt des Zuschlagstoffes zu legen. Zur Beurteilung des Schadstoffgehaltes wird LAGA (2003) bzw. BBodSchV (1999) empfohlen.

4.2 Besondere Anforderungen an Filtersubstrate

Spezielle Anforderungen an die Reinigung von Mischwasser- und Niederschlagsabflüssen in Bodenfiltern können sich aus Immissionsbetrachtungen ergeben. Bei Einleitung in stehende oder sehr langsam fließende Gewässer ist z. B. wegen der Eutrophierungsproblematik der Rückhalt von Phosphaten entscheidend.

Besondere Anforderung Phosphorrückhalt

Das Sorptionsvermögen von nicht melioriertem Filtermaterial für gelösten Phosphor ist auf einige Jahre begrenzt. Partikulär gebundener Phosphor wird durch Filtration zurückgehalten und teilweise durch Mineralisierung in gelösten Phosphor überführt. In Abhängigkeit der Belastung ist nach einigen Betriebsjahren nur noch ein P-Rückhalt von ca. 20 % zu erwarten (Grotehusmann et al., 2015).

Bei erhöhten Anforderungen an den Phosphorrückhalt ist daher besonders bei Bodenfiltern im Mischsystem Filtersubstrat mit hohem P-Sorptionsvermögen zu verwenden. Natürliche Sande weisen i. d. R. kein ausreichendes Sorptionsvermögen gegenüber P auf. Das Filtersubstrat ist daher mit geeigneten Zuschlagstoffen zu meliorieren. Dafür eignen sich Eisenhydroxide. Welche Art von Eisenhydroxiden und in welcher Dosierung diese dem Filtersubstrat zugemischt werden sollen, ist noch nicht abschließend geklärt. Nach Fuchs et al., 2008 ist die P-Ablaufkonzentration von Retentionsbodenfiltern vom Verhältnis von $\text{Fe}_{\text{ges}}/\text{P}_{\text{ges}}$ im Filtersubstrat abhängig. Aus



Bisherige Messungen weisen die hohe Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern nach.

der kalkulierten Betriebszeit eines Filters, der hydraulischen Belastung und der P-Zulaufkonzentration kann die P-Fracht abgeschätzt und daraus die notwendige Eisenhydroxidzugabe überschlagen werden. Die Spanne der notwendigen Eisenhydroxidzugabe zum Filtermaterial kann in Abhängigkeit des gelösten P-Gehaltes bei einer kalkulatorischen Betriebsdauer von 50 Jahren und einer hydraulischen Beschickung von 50 m/a zwischen 1 und 10 Massen-% betragen.

Als Eisenzuschlagstoffe für Retentionsbodenfilter wurden bisher Roheisenentschwefelungsschlacke (RES) und granuliertes Eisenhydroxid (Ferosorp) verwendet.

Die RES kann als Reststoff der Eisenverhüttung neben dem Eisen hohe Gehalte an Schwermetallen enthalten. Durch Voruntersuchungen muss sichergestellt werden, dass nur schwermetallarme RES verwendet wird. Die basische RES muss aufgrund des hohen pH von 12 mit saurem Grünsalz (Eisen(II)-Sulfat) gemischt werden. Diese Mischung kann nur mit Sonderaggregaten homogen vorgenommen werden. In den ersten Betriebsjahren kommt es bei Verwendung von RES zu einem erhöhten Sulfat austrag und es kann eine anfängliche Hemmung der Nitrifikation auftreten.

Bei Verwendung von granuliertem Eisenhydroxid treten diese Nachteile nicht auf. Die Mischung von Filtersand und Ferosorp kann mit in den Sandwerken vorhandenen Bandmischern erfolgen. Nachteilig ist der hohe Preis, weshalb bisher bei großen Anlagen ausschließlich RES verwendet wurde.

In jedem Fall sind vor der großtechnischen Verwendung von Eisenzuschlagstoffen Versuche unter möglichst realistischen Randbedingungen durchzuführen.

Besondere Anforderungen Rückhalt von Spurenstoffen

Bislang liegen nur wenige Untersuchungen zum Rückhalt von Spurenstoffen in Retentionsbodenfiltern vor. In den Untersuchungen von Pinnkamp et al., 2013 wurde für Metoprolol, Diclofenac und Bisphenol A eine Rückhaltewirkung zwischen 60% und 75% ermittelt (n = 8), für das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure wurde kein Rückhalt festgestellt. Christofels et al., 2014 konnten im Zulauf zu einem Retentionsbodenfilter Diclofenac und Ibuprofen in 68 % bzw. 92 % der Proben nachweisen, im Ablauf der Anlage lagen nur noch 9 % bzw. 17 % der Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze. In den erfassten 33 Einstauereignissen mit 343 Einzelproben lag der Median der Konzentration für Diclofenac bei 0,14 µg/l und für Ibuprofen bei 0,5 µg/l während im Ablauf die Mediankonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Aufgrund der insgesamt geringen Datenbasis und großen Konzentrationsschwankungen im Zulauf können jedoch noch keine allgemeingültigen Aussagen zum Filtermaterial und zum Betrieb abgeleitet werden.

5 Konstruktion und Bau



Verteilerrinne im RBF Glessen

5.1 Baukomponenten

Retentionsbodenfilter und Vorstufe sind als verfahrenstechnische Einheit anzusehen. Sie lassen sich in verschiedene Bauwerkskomponenten untergliedern (Kapitel 2.1, Tabelle 2.1). Jede dieser Komponenten ist mit einer Funktion versehen, die durch eine entsprechende konstruktive Gestaltung zu erreichen ist. Die sinnvolle Anordnung einzelner Komponenten wird letztlich durch das Planungsziel und die Planungsrestriktionen bestimmt.

Die konstruktiven Anforderungen an die Vorstufe sind in einschlägigen Regelwerken und Richtlinien vorgegeben (z. B. ATV-A128, DWA-M 176), so dass eine Erläuterung an dieser Stelle entfallen kann. Für die Baukomponenten des Retentionsbodenfilters werden nachfolgend Hinweise gegeben.

Unter Berücksichtigung der in Tabelle 2.1 aufgeführten Funktionen können auf Basis der bisher vorliegenden Erfahrungen beim Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern sowie der Erhebungsuntersuchungen in Nordrhein-Westfalen (BOFITEC 2001, Grotehusmann et al., 2015) Empfehlungen zur konstruktiven Gestaltung einzelner Baukomponenten formuliert werden. Die dargestellten Beispiele stellen aus Sicht der Autoren den zu bevorzugenden Lösungsweg dar. Davon abweichende Lösungen können im Einzelfall angezeigt sein und sind unter Wahrung der Funktion umzusetzen.

5.2 Zulauf- und Verteilerbauwerk

Die Zuflüsse zu Retentionsbodenfiltern schwanken in sehr weiten Bereichen. Kurzzeitig können extrem hohe Abflüsse auftreten. Die Mehrzahl von Beschickungsereignissen ist aber geprägt durch mittlere bis sehr geringe Abflüsse. Die Aufgabe des Zulaufbauwerkes ist, für all diese Zuflusssituationen

- eine gleichmäßige Verteilung des Wassers und der damit transportierten Stofffracht auf der Filterfläche und
- eine wirksame Energieumwandlung zum Schutz der Filteroberfläche und der Vegetation zu gewährleisten.

In der Praxis früher oft umgesetzt, jedoch aus Sicht der Wasser- und Stoffverteilung am ungünstigsten, sind frontale, meist punktförmige Einleitungen. Hydraulisch günstiger sind linienförmige Einleitungen über die Längsseite, mit deren Hilfe die hydraulische Zulaufbelastung begrenzt werden kann.

Konstruktiv können die Zulaufbauwerke ausgeführt werden als:

- Zulaufgerinne mit Abgrenzung zum Retentionsraum aus durchströmbaren Steinschüttungen oder Gabionen
- Wehrschwelen, wenn Vorstufe und Retentionsbodenfilter als bauliche Einheit erstellt werden

Das Risiko der hydraulischen Überlastung der Zulaufbereiche ist nach den vorliegenden Betriebserfahrungen bei

Zulaufschwelenbelastungen $> 300 \text{ l/(s}\cdot\text{m)}$ durch konstruktive Maßnahmen nur unzureichend abwendbar. Nach den vorliegenden Erfahrungen führen Schwellenbelastungen von $100 - 150 \text{ l/(s}\cdot\text{m)}$ oder Überfallhöhen von $0,12 - 0,20 \text{ m}$ nicht zu Schäden auf der Filteroberfläche.

Bild 5.1 und Bild 5.2 zeigen eine als Grobsteinsetzung ausgeführte lange Schwelle, die an der Längsseite des Bodenfilters als Erosionsschutz für mehrere punktförmige Zuläufe eines Retentionsbodenfilters angeordnet ist. Die üppige Vegetation zeigt, dass keine übermäßige hydraulische Belastung vorliegt. Ein durchgeführtes Aufmaß der Sedimente auf der Filterfläche belegt die homogene Verteilung und eine gleichmäßige Belastung der Filterfläche, die durch einen punktuellen Zulauf nicht erzielbar gewesen wäre (Grotehusmann et al., 2015).

Ein Zulaufgerinne kann auch so ausgebildet werden, dass neben der gleichmäßigen Verteilung des Wassers gleichzeitig eine Möglichkeit der alternierenden Beschickung von zwei Filterflächen gegeben ist (Bild 5.3). Mit Hilfe von zwei Schiebern im Zulaufbauwerk kann alternierend der eine oder andere Teil der Filterfläche beschickt werden. Übersteigt der Wasserstand im Filter bei größeren Zulaufmengen die Höhe der mittleren Schwelle des Zulaufgerinnes, wird diese überströmt und die gesamte Filterfläche steht zur Verfügung. Das Zulaufbauwerk dieses Bodenfilters im Trennsystem ist hier als einfacher Geschiebeschacht mit Tauchwand ausgeführt (Bild 5.4).



Verteilerinne im RBF Kaster

Bild 5.1 Grobsteinsetzung als lange Schwelle

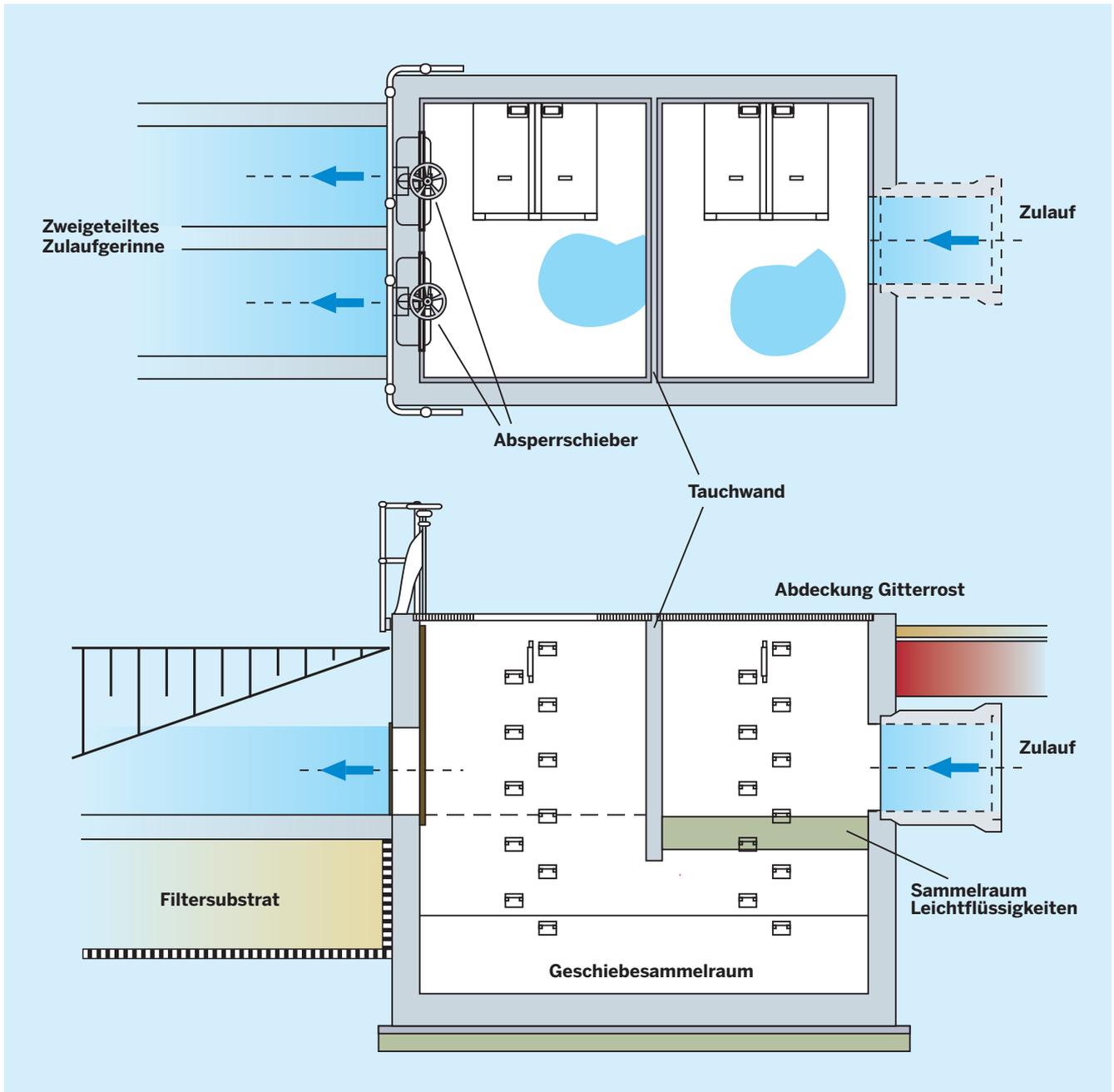


Bild 5.2 Grobsteinsetzung Detail



Bild 5.3 mittiges zweigeteiltes Zulaufgerinne zur alternierenden Befüllung zweier Filterflächen, im Hintergrund Geschiebeschacht



Bild 5.4 Geschiebeschacht als Vorstufe im Trennsystem mit Anschluss an zweigeteiltes Zulaufgerinne

Eine Alternativlösung bieten lange Wehrschwelle direkt im Übergang zwischen Regenbecken und Bodenfilter (Bild 5.5 und Bild 5.6). Diese Lösung bietet sich insbesondere für kleinere Anlagen an.

Unabhängig von seiner konstruktiven Ausgestaltung ist das Zulaufbauwerk ein zentraler Betriebspunkt des Retentionsbodenfilters. Hohe Anteile der Feststofffrachten wer-

den bei Kleinereignissen in den Zuleitungen zum Bodenfilter und im Zulaufbereich abgelagert. Diese Ablagerungen müssen, wenn eine Rückspülung in den Misch- bzw. Schmutzwasserkanal nicht möglich ist, geräumt werden, um eine erhöhte Feststoffbelastung des Filters zu vermeiden. Das Zulaufbauwerk muss daher zugänglich sein und Sedimente müssen mit vertretbarem Aufwand geräumt werden können.

Bild 5.5 Filterbeschickung über lange Wehrschwelle unmittelbar im Anschluss an die Vorstufe

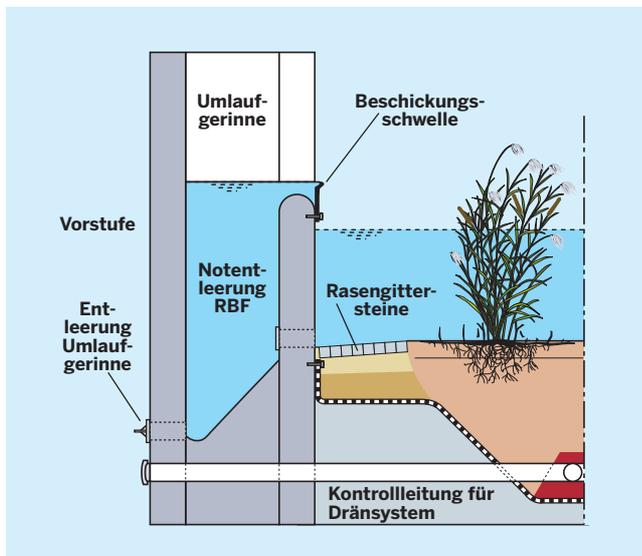


Bild 5.6 Rechteckbecken als Vorstufe mit integrierter Beschickungsschwelle zum RBF



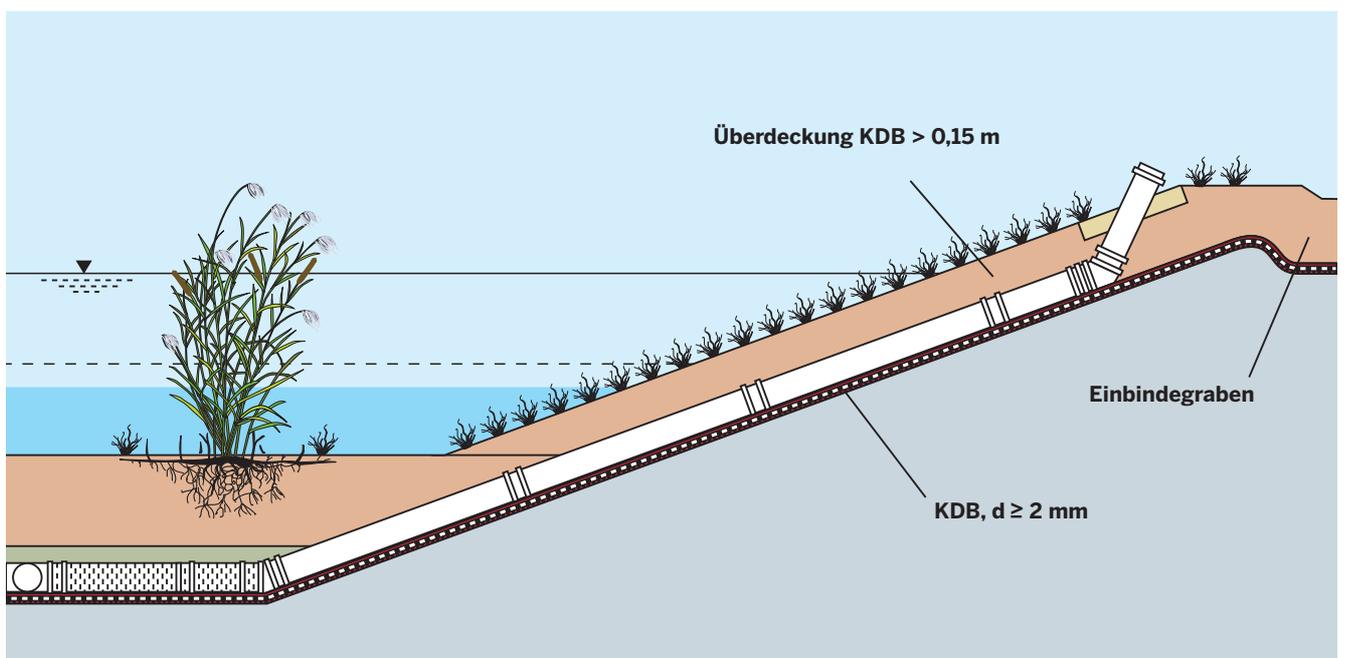
5.3 Abdichtung

Retentionsbodenfilter sind als Abwasserbehandlungsanlagen aus Gründen des Boden- und Grundwasserschutzes und des kontrollierten Anlagenbetriebs grundsätzlich gegen den Untergrund abzudichten. Es ist ein kf-Wert von $1 \cdot 10^{-8}$ m/s zu unterschreiten. Im Falle von Retentionsbodenfiltern können prinzipiell folgende Dichtungssysteme eingesetzt werden:

- Kunststoff-Dichtungsbahnen (KDB), ($d_{\min} = 2$ mm),
- geosynthetische Tondichtungsbahnen mit vollflächigem Verbund (GTD),
- mehrlagige mineralische Abdichtung ($d > 2 \cdot 20$ cm).

Wegen hoher Anforderungen an die dauerhafte Beständigkeit der Abdichtung und der potentiellen Gefahren der Durchwurzelung und der Dichtungsdurchdringung durch Tiergänge wird in Übereinstimmung mit DWA-M 176 die Abdichtung mit einer Kunststoffdichtungsbahn ($d \geq 2$ mm) bevorzugt (Bild 5.7). Bei anstehendem Grundwasser sollte stets eine Kunststoff-Dichtungsbahn verwendet werden, die z. B. durch ein darunterliegendes Dränsystem vor Auftrieb zu schützen ist.

Bild 5.7 Sohlabdichtung von Retentionsbodenfiltern mit Kunststoff-Dichtungsbahn (KDB)



Nach DWA-M 176 sind u. a. folgende Hinweise zur Ausführung von Dichtungen zu beachten:

- Ab einer Böschungsneigung von 1 : 1,5 sind die KDB durch Geogitterlagen oder andere Maßnahmen gegen Abrutschen zu sichern.
- Die KDB sind am Böschungskopf in Einbindegräben zu sichern.
- Dichtungsschutzschicht über KDB > 0,15 m
- Rohrdurchführungen sollen nach Möglichkeit im Dichtungsbereich vermieden werden. Unvermeidbare Rohrdurchführungen und Bauwerksanschlüsse können mit Anschlussprofilen zum Anschweißen der KDB ausgeführt werden.

Eine Qualitätssicherung bei den Abdichtungsarbeiten durch Fremdüberwachung wird dringend empfohlen. Jegliche Fehlstellen können zu hohen unkontrollierten Abflüssen führen und damit den Filtereinstau oder auch den kontrollierten Filterbetrieb unmöglich machen.

Die Dichtigkeitsprüfung bei Verwendung von Kunststoff-Dichtungsbahnen wird nach der Verlegung vor dem Filtereinbau z. B. durch Druckluftprüfung der Prüfkanäle vorgenommen. Bei geosynthetischen Tondichtungsbahnen kann die Dichtigkeitsprüfung erst nach Einbringen einer entsprechenden Auflast bzw. erst nach dem Filtereinbau durch Einstau und Kontrolle des Wasserspiegels vorgenommen werden. Gegebenenfalls erforderliche Nachbesserungen sind mit unverhältnismäßig hohem Aufwand verbunden. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Dichtigkeitsprüfung erst nach Einbau des Filters und der Böschungen erfolgen kann.

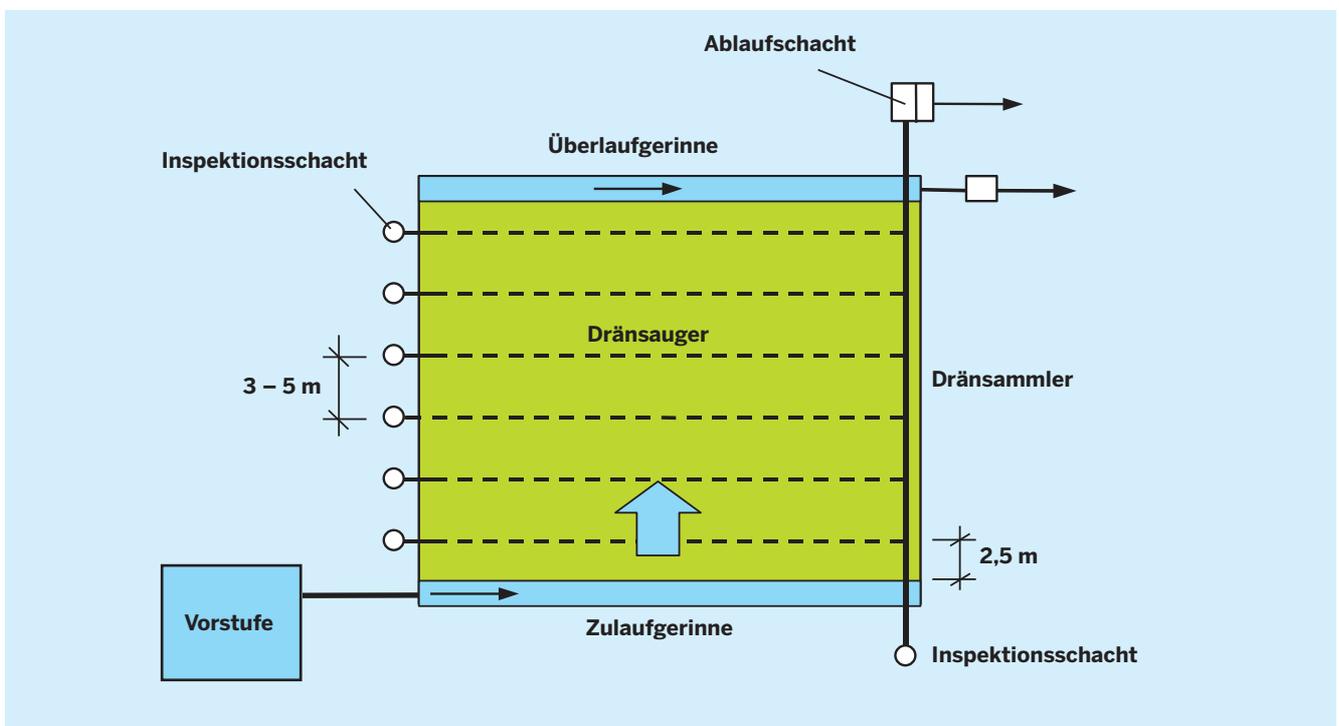
5.4 Dränsystem

Das Dränsystem besteht aus einer Filterkiesschicht (2/8 mm) mit eingelagertem Dränrohrsystem. Es ist so anzulegen, dass eine gleichmäßige Fassung und Ableitung des perkolierten Wassers sichergestellt ist. Zur Erfüllung dieser Aufgaben ist das Dränagenetz aus Drän-saugern und Dränsammelleitungen flächenhaft und rasterförmig anzulegen (Bild 5.8).

Im Sinne einer vollständigen und selbsttätigen Entleerung des Dränsystems sind Höhenabweichungen von $> \pm 2$ cm zu vermeiden. Voraussetzung hierfür ist die Herstellung eines ebenen Planums, der fachgerechte Einbau der Dränleitungen und die Verwendung von Stangenware. Rollenware darf nicht verwendet werden, da sie nicht höhenstabil verlegt werden kann.

Nennweite, Schlitzfläche und Abstand der Dränrohre sind entsprechend den maximalen flächenspezifischen Sicker-mengen und den Herstellerangaben hydraulisch zu bemessen. Eine Drosselung des Filterablaufes auf Grund unzureichender Schlitzflächen und/oder unzureichender Kapazität der Transportleitungen muss ausgeschlossen werden. Ein Dränrohrabstand von 3 bis 5 m sollte nicht überschritten werden. Zum Zulaufbauwerk muss ein Mindestabstand der zweifachen Filterstärke eingehalten werden, um Kurzschlüsse zu vermeiden. Bei Filterflächen > 1.000 m² ist eine Aufteilung in mehrere, unabhängige Dränabschnitte empfehlenswert, um eine gleichmäßige hydraulische Filterbelastung zu gewährleisten. Bewährt haben sich Dränrohlängen von 20 – 30 m.

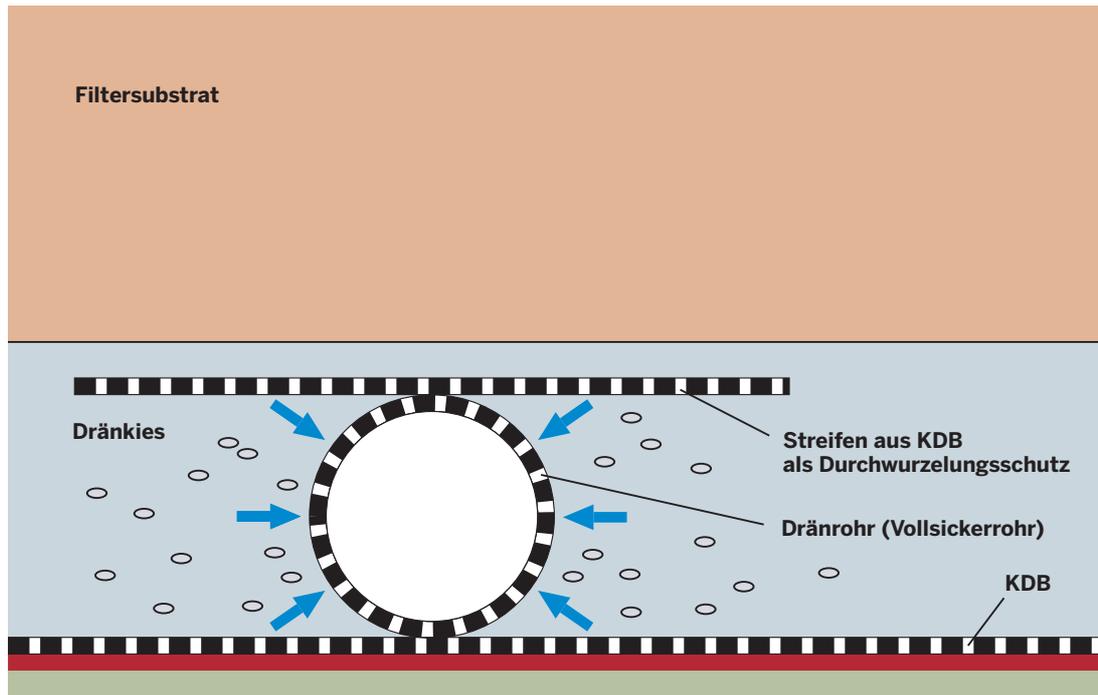
Bild 5.8 Verlegevariante eines Dränsystems mit Dränsammler



Durch einen ca. 0,75 m breiten Streifen aus Kunststoffdichtungsbahn kann das Einwachsen der vertikal wachsenden Schilfwurzeln in die Dränrohre vermieden werden

(Bild 5.9). Beim Einbau des Filtersubstrates ist darauf zu achten, dass sich die Kunststoffdichtungsbahnen über den Dränrohren nicht verschieben.

Bild 5.9 Aufbau des Dränsystems



Drainageaufbau mit Verzweigung

Die früher verwendeten Teilsickerrohre, die mit den Schlitten nach unten verlegt wurden, konnten den Wurzel-

einwuchs nicht ausreichend verhindern (Bild 5.10).

Bild 5.10 Wurzeinwuchs in ein Dränsystem mit Teilsickerrohren
links: Verlegung mit Schlitten unten zur Vermeidung von Wurzeinwuchs,
rechts: verdreht eingebaut mit Schlitten nach oben



Das gesamte Dränsystem muss für eine Inspektion und für Spülzwecke zugänglich sein. Dies setzt voraus, dass geschlossene Sammelleitungen an die Böschungsoberkante des Filters (Bild 5.11) oder in Inspektionsschächte außerhalb des Filters geführt werden. Kontrollschächte im Filter (unterhalb Stauziel) haben sich auf Grund der bestehenden Kurzschlussgefahr und der eingeschränkten Zugänglichkeit (Einstau, Sedimentablagerungen) nicht bewährt.

Eben verlegte Kontroll-Systeme mit Kontrollschächten lassen eine unbeschränkte Inspektion zu, bedingen aber eine größere Anzahl von Durchdringungen der Abdichtung und einen zusätzlichen Aufwand für die Schächte. Innerhalb der Abdichtung nach oben gezogene Sammelleitungen weisen diese Nachteile nicht auf (Bild 5.11). Die Inspizierbarkeit der Leitungen kann aber durch die erforderlichen Bögen behindert werden. Abwinkelungen $> 15^\circ$ können nicht mit allen TV-Systemen befahren werden und sind daher zu vermeiden. Zusätzlich ist zu beachten, dass die verschließbaren Inspektionsstutzen an der Böschungsoberkante gegen Zerstörung im Zuge von Mäharbeiten zu schützen sind.

Bild 5.11 Oberhalb der Dichtung hochgezogene Inspektionsleitungen mit verschließbaren, belüfteten Kontrollstutzen



5.5 Filteraufbau

An das Filtersubstrat von Retentionsbodenfiltern werden hohe, teilweise konkurrierende Anforderungen gestellt. Das Filtersubstrat muss den Anforderungen der Tabelle 4.1 entsprechen. Werden spezielle Anforderungen (z. B. Keimreduzierung, Phosphorrückhalt) an den Bodenfilterablauf gestellt, ist das Filtersubstrat ggf. mit geeigneten Zuschlagstoffen zu meliorieren und die Eignung durch Lysimeterversuche oder vergleichbare Versuche durch Gutachter zu untersuchen. Eine Qualitätskontrolle des Materials muss vor und während des Filteraufbaus erfolgen.

Nach heutigem Kenntnisstand wird der Filter grundsätzlich einschichtig mit dem in Kapitel 4 beschriebenen Filtersubstrat aufgebaut. In Mischsystemen sind Filterhöhen von 0,75 - 1,0 m empfehlenswert. In Trennsystemen und zur Behandlung von Straßenabflüssen kann die Filterhöhe auf 0,5 – 0,75 m reduziert werden, wenn sichergestellt ist, dass die Belastung der Zuflüsse mit gelösten, abbaubaren Substanzen gering ist. Eine Reduzierung der Filterhöhe auf geringere Werte als 0,5 m ist mit dem Verlust von Puffereigenschaften bei Belastungsschwankungen und der Gefahr von Kurzschlüssigkeit verbunden.

Der Filterkörper ist grundsätzlich filterstabil gegen den Filterkies aufzubauen. Geotextilen als Trennlage haben sich nicht bewährt, da sie den Gastransport behindern und die Kolmationsgefahr des Filters erhöhen. Die Nachweise der Filterstabilität sind nach Terzaghi bzw. nach Schweizer Norm SN 670125a zu führen.

Beim Übergang von Sand auf Kies sind zur Sicherung der hydraulischen und mechanischen Funktion die folgenden Kriterien einzuhalten:

$$\begin{aligned} d_{15} \text{ Kies} / d_{15} \text{ Sand} &> 4 \\ d_{15} \text{ Kies} / d_{85} \text{ Sand} &\leq 4 \\ d_{50} \text{ Kies} / d_{50} \text{ Sand} &\leq 20 \end{aligned}$$

Im Rahmen der Ausschreibung sind folgende Angaben von den Bietern zu fordern:

- Herkunft des Sandes (Sandwerk, geologische Bezeichnung)
- Angaben zum Aufbereitungsverfahren
- Korngrößenverteilung in bodenkundlichen Korngrenzen (T+U, fS, mS, gS, fG)
- CaCO₃ in der Gesamtprobe und in den Kornfraktionen fS, mS, gS
- Gehalte von Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, Cr, Fe nach LAGA Z0

Wird Carbonatbrechsand dem Filtermaterial zugemischt, sollte vor der Mischung eine getrennte Analyse des Sandes und des Carbonatbrechsteins auf die aufgeführten Schwermetalle durchgeführt werden, da bei einigen Kalksteinvorkommen hohe Ausgangskonzentration an Schwermetallen auftreten können.

Die Eignung des Filtermaterials und der Carbonatdecklage soll durch eine Fremdüberwachung überprüft werden. Diese soll folgende Parameter umfassen:

- Korngrößenverteilung
- CaCO₃ der Gesamtprobe und der Fraktionen fS, mS, gS
- Gehalte von Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, Cr, Fe

Die Ergebnisse der Fremdüberwachung dienen auch der Ermittlung der Ausgangsgehalte. Diese werden bei der späteren Betriebsuntersuchung benötigt, um die An- und Abreicherung an Feinpartikeln, CaCO₃ und Elementen (Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, Cr, Fe) ermitteln zu können.

Der Einbau des Filtersubstrats sollte in nicht verdichtender Weise erfolgen. Vorzugsweise wird der Filter bei kleinen Anlagen mit Teleskopauslegern vom Anlagenrand aus aufgebaut. Bei größeren Anlagen sollte der Filteraufbau abschnittsweise von auf der Anlagensohle aus operierenden Geräten vorgenommen werden (Bild 5.12). Hinsichtlich einer gleichmäßigen Filterbelastung und zur Vermeidung von Erosion muss der Filterkörper in gleichmäßiger Dicke horizontal eingebaut werden. Maximale Höhenabweichungen von ± 2 cm sind einzuhalten.

Bild 5.12 Abschnittsweiser Filteraufbau



5.6 Retentionsraum

Die Form des Retentionsraumes ist in Verbindung mit dem Zulauf- und Verteilerbauwerk so zu gestalten, dass eine gleichmäßige Beaufschlagung der Filterfläche erzielt wird. Formen mit Totzonen führen zu einer Ungleichbelastung verschiedener Filterbereiche und beeinträchtigen somit die Wirksamkeit des gesamten Filters.

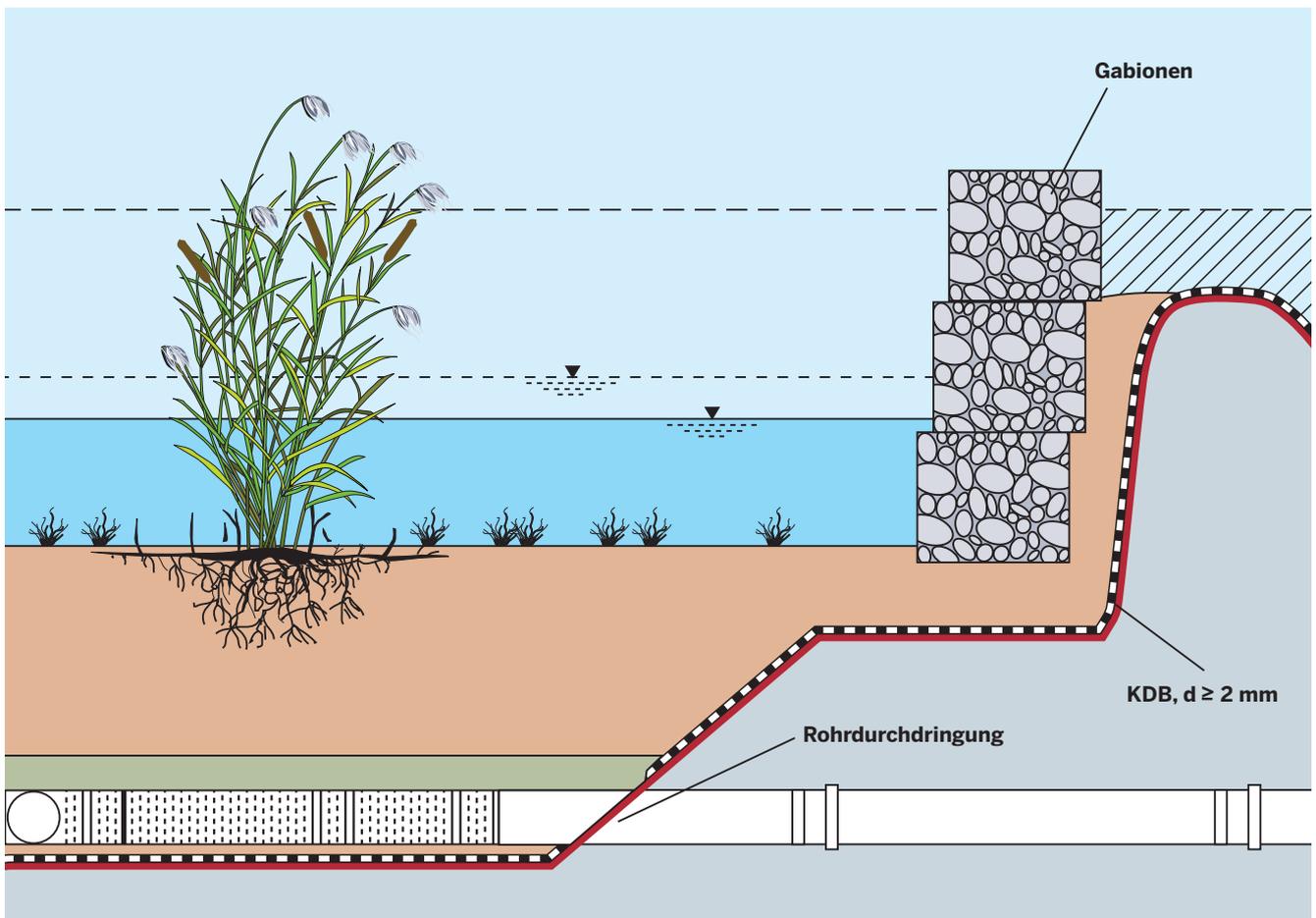
Eine Aufteilung der Filterfläche und des Retentionsraumes in zwei getrennt zu beschickende Teilbereiche (vgl. Bild 5.3) ist anzustreben, um eine alternierende Beschickung durchführen zu können.

Bei der Wahl der Einstauhöhe ist neben dem zur Verfügung stehenden hydraulischen Gefälle vor allem die vom Drosselabfluss der Anlage abhängige Entleerungszeit zu berücksichtigen. Übliche Einstauhöhen schwanken zwischen 0,5 und 2 m.

Der Freibord des Retentionsraumes sollte in Abhängigkeit des Dichtungsmaterials $\geq 0,3$ m (KDB) bzw. $\geq 0,4$ m (mineralische Dichtungen) betragen.

Steht ausreichend Platz zur Verfügung, wird der Retentionsraum durch Erdböschungen begrenzt. Bei Böschungsneigungen von $\geq 1:1,5$ wird zusätzlich eine Sicherung über der Dichtungsbahn (Krallmatte, Geogitter) erforderlich, um ein Abgleiten der Deckschicht zu verhindern. Zusätzlich ist zu beachten, dass Mäharbeiten bei steileren Böschungen nur noch eingeschränkt durchführbar sind. Alle Erdböschungen sind durch sofortige Begrünung vor Erosion zu schützen, um einen Bodeneintrag auf den Filter zu vermeiden. Bevor der Böschungsbewuchs wirksam wird, muss gegebenenfalls eine vorübergehende Sicherung, z. B. mit Jutegewebe erfolgen. Ist das Flächenangebot begrenzt, kann der Retentionsraum auch mit Gabionen (steingefüllte Drahtkörbe) eingefasst werden (Bild 5.13). Hiermit können Böschungsneigungen bis 1 : 0,1 sicher realisiert werden.

Bild 5.13 Retentionsraum mit Gabionen



5.7 Filterablaufbauwerk

Das Ablaufbauwerk eines Retentionsbodenfilters hat zentrale Bedeutung für den Filterbetrieb. Hier wird das Dränsystem zusammengeführt. Wesentlicher Bestandteil des Ablaufbauwerkes ist ein geeignetes Drosselorgan, durch das der Filterablauf auf den Sollwert gedrosselt wird. Weiter hat das Ablaufbauwerk folgende Funktionen:

- Qualitätskontrolle des Filterablaufes
- Kontrolle der Entwicklung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Filters
- temporärer Einstau des Filters zur Vegetationsetablierung

Sofern ein Behandlungsziel der Rückhalt von Keimen ist, kann eine UV-Behandlung am Filterablauf installiert werden (vgl. Bild 5.14).

Die Dränsammelleitung sollte vom Ablaufbauwerk aus zugänglich sein, um eine Inspektion und gegebenenfalls eine Spülung zu ermöglichen. Diese vielfältigen Aufgaben sind nur in einem ausreichend großen Schacht zu realisieren. Bei sehr großen Anlagen können zur Zusammenfassung von Dränabschnitten mehrere Schächte erforderlich sein. Bei Bodenfiltern im Mischsystem ist in der Regel ein Stromanschluss vorhanden. Hier können dann im Ablaufbauwerk MSR-Einrichtungen installiert werden (Bild 5.15), die folgende Aufgaben erfüllen:

Bild 5.14 UV-Bestahlung zur Entkeimung des Filterablaufes an einem Ablaufbauwerk



- Drosselung des Filterablaufes auf den Sollwert
- Erkennen des Beginns eines Beschickungsereignisses und des Regelbetriebes (Filterablauf erst nach Überstau FOK)
- Erkennen von Kleinereignissen (Wasserstand im Filter unter FOK) und zeitverzögertes Entleeren des Filterkörpers

Bild 5.15 Ablaufschacht mit Drosselorgan und MSR-Technik

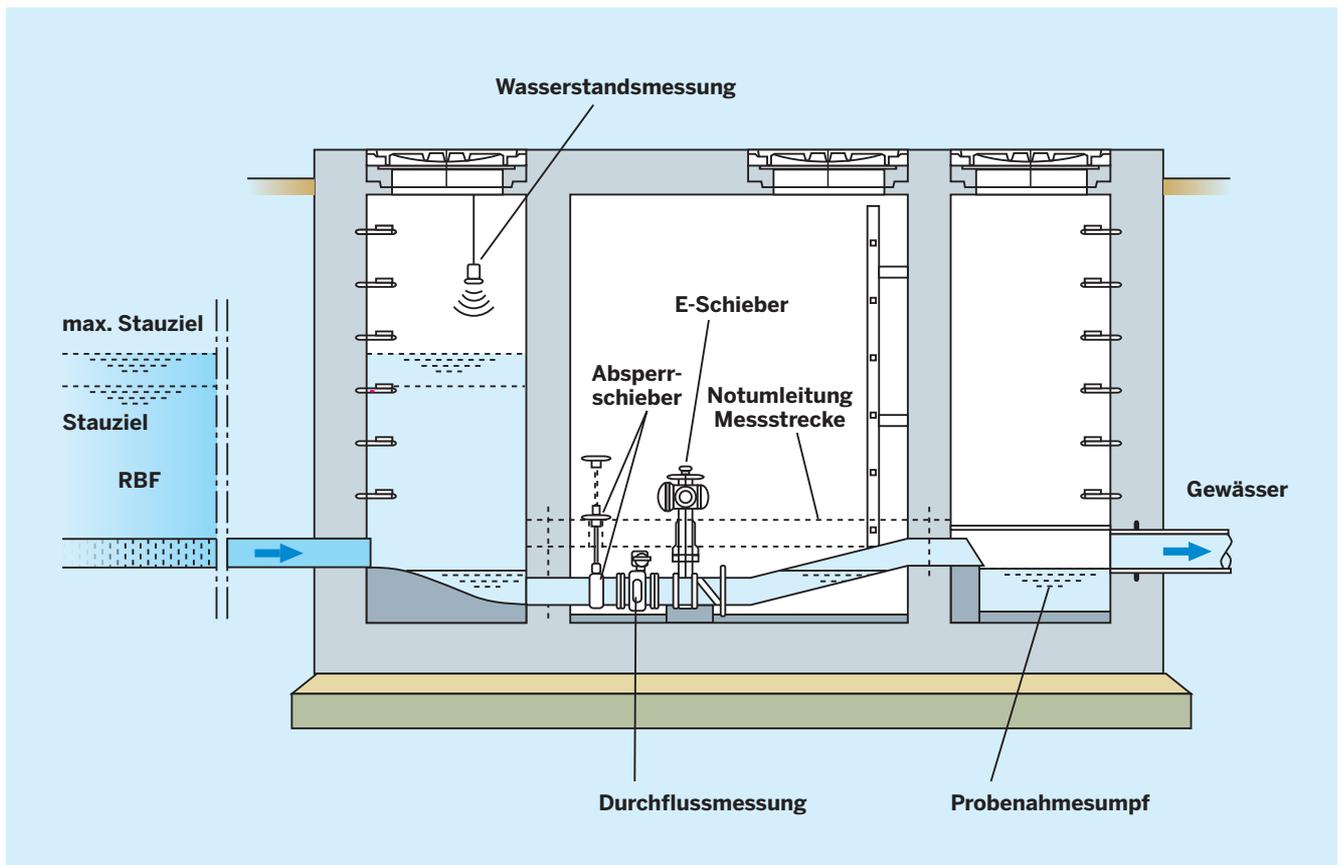


Tabelle 5.1 Beispiel für das Zusammenwirken der Regeltechnik bei unterschiedlichen Betriebszuständen des Filters

Betriebsphase	Betriebszustand	Wasserstand im Vorschacht	Durchfluss	Aktion E-Schieber
1.	Retentionsraum und Filter leer	0 m	0 l/s	offen
2.	Porenvolumen des Filters füllt sich	$WST \leq FOK$	Q_1 l/s	schließen $Q = Q_1 = 0$ l/s
3.	Wasserstand im Filter über FOK	$WST > FOK$	Q_2 l/s	Drosselstellung $Q = Q_2 \leq Q_{max}$
4.	Retentionsraum gefüllt	$WST = WSt_{max}$	$Q_3 = Q_{max}$ l/s	Drosselstellung $Q = Q_{max}$
5.	Retentionsraum und Filter leer	0 m	0 l/s	offen
—	Wasserstand im Filter bleibt unter FOK (Kleinereignis)	$WST < FOK$	0 l/s	Zeitschaltung öffnet Schieber nach 6 h, $Q \leq Q_{max}$

WST: Wasserstand FOK: Filteroberkante

Durch Kombination einer Wasserstandserfassung im Vorschacht und einer Durchflussmessung im Filterablauf können die Schieberstellungen eines E-Schiebers für alle Betriebszustände zuverlässig eingestellt werden. Bild 5.15 stellt beispielhaft eine Lösung dar. Andere Lösungen zur Abflussregelung sind möglich.

Tabelle 5.1 fasst für ein mögliches Beispiel die Betriebszustände des Retentionsbodenfilters, die daraus resultierenden Messgrößen, die Aktionen des Drosselorgans (E-Schieber) und die Abflussleistung des Filters zusammen. Falls die Filterentleerung nicht im Freispiegelabfluss erfol-

gen kann, muss im Filterablaufbauwerk eine Pumpe eingesetzt werden. Vorzugsweise wird diese nur zur Restentleerung des Filterporenraums eingesetzt, die Entleerung des Retentionsraums sollte nach Möglichkeit selbsttätig im Freispiegelabfluss erfolgen.

In kleineren Anlagen im Trennsystem und wenn keine Fremdenergie zur Verfügung steht, kann die Drosselung des Filterablaufes z. B. auch durch die in Bild 5.16 und Bild 5.17 dargestellten Elemente erfolgen.

Bild 5.16 einfacher Ablaufschacht mit zwei Drosselstufen, Skizze

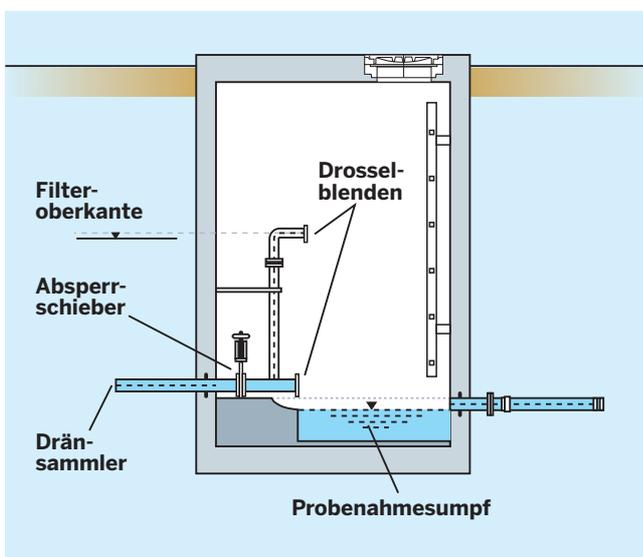
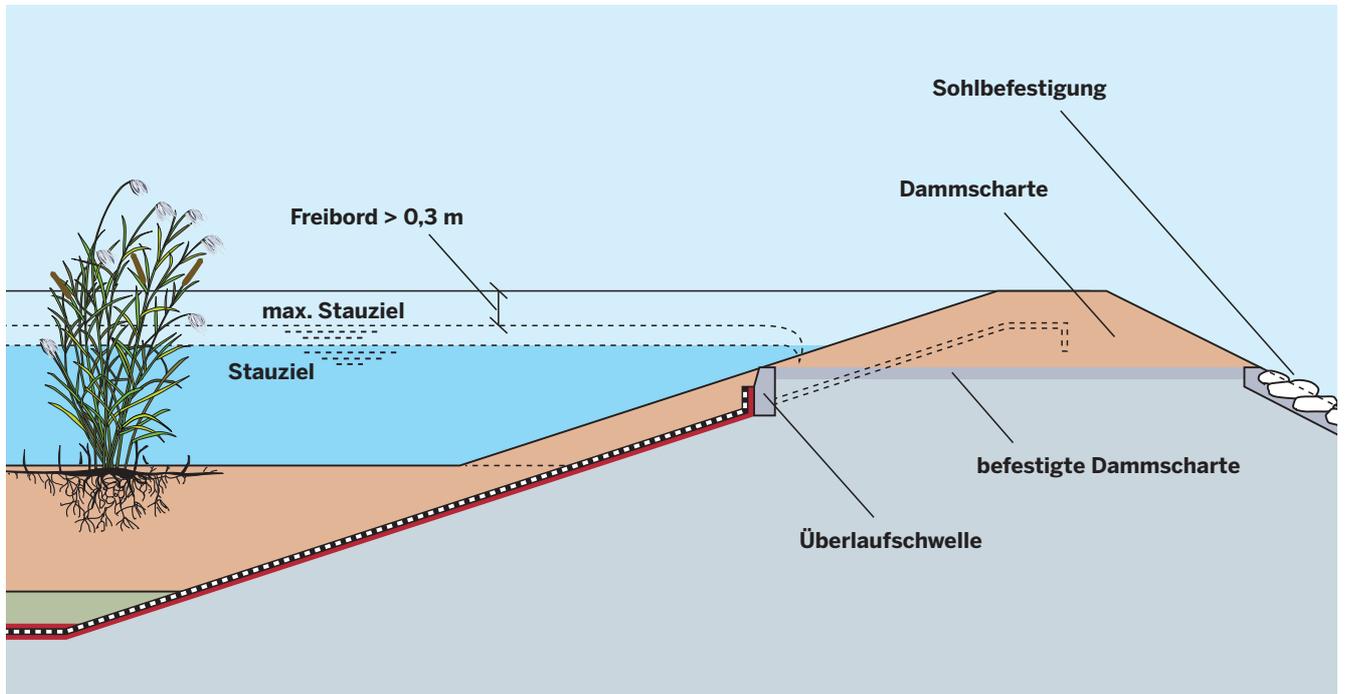


Bild 5.17 einfacher Ablaufschacht mit zwei Drosselstufen für zwei Filterflächen



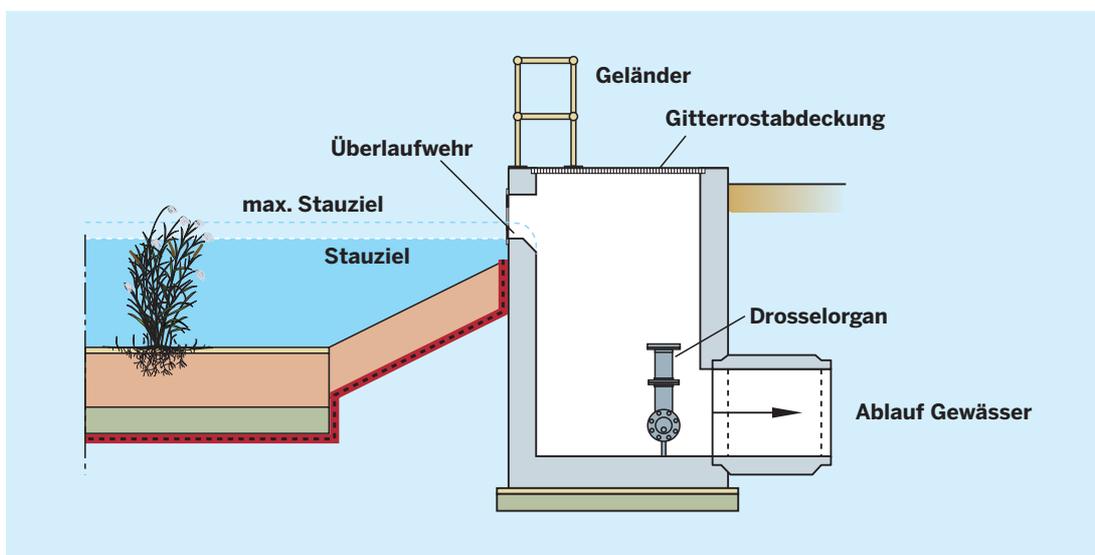
Bild 5.18 Überlaufwehr im Retentionsraum

Bis zur Filteroberkante ist nur die untere Drossel mit einer geringen Drosselwassermenge aktiv, die für ein schnelles Füllen des Filterkörpers sorgt. Steigt der Wasserstand bis zur FOK, wird über das Standrohr die zweite Drossel aktiviert. Die Summe der Drosselabflüsse ergibt die bei der Bemessung angesetzte Drosselleistung. Für die Etablierungsphase des Schilfes kann die untere Drossel verschließbar ausgelegt werden.

Auch bei kleinen Anlagen und fehlendem Stromanschluss können batteriebetriebene kontinuierliche Wasserstandsmessungen im Filterkörper über Wasserstands-Abfluss-Beziehungen eine Bilanzierung der behandelten Wassermengen gewährleisten.

5.8 Filterbeckenüberlauf

Retentionsbodenfilter benötigen auch im Teilstrombetrieb (Beschickung mit Q_{krit}) einen kontrollierten Überlauf. Die Schwellenbelastung des Filterüberlaufs sollte $300 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m})$ nicht überschreiten. Der Filterbeckenüberlauf kann in Form eines Überlaufwehres (Bild 5.18) ausgebildet werden, das zur Vermeidung von Totzonen und im Sinne einer möglichst gleichmäßigen Durchströmung des Retentionsraumes gegenüber dem Zulaufbauwerk angeordnet wird. Bei kleineren Bodenfilteranlagen können das Filterüberlaufbauwerk und das Ablaufbauwerk kostengünstig in einem Bauwerk zusammengefasst werden (Bild 5.19).

Bild 5.19 einfacher Ablaufschacht mit zwei Drosselstufen und integriertem Filterüberlauf

5.9 Filtervegetation

Die Filtervegetation ist ein integraler Bestandteil von Retentionsbodenfiltern. Schilf hat sich als Filtervegetation bei Bodenfiltern bewährt. Es ist unempfindlich gegenüber hoher Feststoffbelastung und dem damit verbundenen Sedimenteintrag. Die große Blattoberfläche begünstigt Sedimentauflagerungen auf dem Blatt und schützt die Bodenfilteroberfläche vor Kolmation.

Das Schilf wird nicht gemäht. Abgestorbene Stängel und Blätter verrotten nur langsam und bilden auf der Filteroberfläche eine Streuschicht, die wie ein Raumfilter wirkt. Schilf ist darüber hinaus unempfindlich gegenüber langen Einstauzeiten.

Zur Bepflanzung der Filterfläche eignet sich "Topfware", die den nachfolgenden Qualitätsanforderungen gerecht wird. Das Pflanzenmaterial sollte mindestens eine Vegetationsperiode vorkultiviert sein, um eine zügige Weiterentwicklung im Retentionsbodenfilter sicherzustellen. Bei der Verwendung von "Topfware" sollten im Einzeltopf mindestens 6-8 Triebe und eine Rhizombildung erkennbar sein. Die Halmhöhe sollte nicht unter 0,5 m betragen. Als Pflanzdichte haben sich 4 bis 8 Pflanzen pro m² bewährt.

Das Pflanzen des Schilfes (Bild 5.20) kann prinzipiell während des gesamten Jahres erfolgen. Vorteilhaft ist eine Pflanzung zu Beginn der Vegetationsperiode (April bis Juni). Unmittelbar nach dem Einbau ist eine ausreichende Wasserversorgung durch Einstau des Filters

wenige Zentimeter über Filteroberkante sicherzustellen. Das Schilf hat dann beste Entwicklungsbedingungen und Konkurrenzpflanzen werden unterdrückt.

Bei sehr geringer hydraulischer Filterbelastung und wenigen Beschickungsereignissen im Jahr kann ein dichter Schilfbestand wie in Bild 5.21 nicht erreicht werden. Dann sollte wegen des hohen Aufwandes für die Unterhaltung (ggf. Bewässerung, Entfernen Fremdbewuchs) kein Schilf gepflanzt werden, sondern eine Rasenansaat vorgenommen werden.

Bild 5.20 Pflanzen des Schilfs mit einem Pflanzrohr



Bild 5.21 üppig entwickelter Schilfbestand bei ausreichender Filterbelastung (Trennsystem)



5.10 Bauausführung

An die Bauausführung sind zur Sicherstellung des Filterbetriebes hohe Anforderungen zu stellen. Baufirmen verfügen in der Regel über wenig Erfahrung beim Bau von Retentionsbodenfiltern. Beides bedingt, dass der Bauleitung eine besondere Bedeutung zukommt. Kritische Punkte, die einer über das übliche Maß hinausgehenden Kontrolle bedürfen, sind:

- Herstellung der Basisabdichtung (Fremdüberwachung, Qualitätssicherung und Dichtigkeitsprüfung)
- Auswahl und Einbau des Filtermaterials (Fremdüberwachung)
- Auswahl und Einbau der Filtervegetation
- Fertigstellungspflege der Filtervegetation

Unabhängig von der Bauüberwachung nach HOAI sind die Inbetriebnahme des Filters und die Kontrolle der Pflanzenetablierung eigenständige Ingenieurleistungen. Die Fertigstellungs- und Entwicklungspflege sollte über einen Zeitraum von 2 Jahren vergeben werden.

5.11 Probetrieb des Filters

Im Gegensatz zu konventionellen Anlagen zur Regenwasserbehandlung sind Retentionsbodenfilter nicht direkt nach Abschluss der Bautätigkeiten betriebsbereit. Ein sicherer und nachhaltiger Anlagenbetrieb erfordert einen etablierten Schilfbestand. Zur Pflanzenetablierung muss eine Vegetationsperiode angesetzt werden. Eine zu frühe Beschickung gefährdet die Bepflanzung und erhöht das Kolmationsrisiko der Anlage beträchtlich. Während der Etablierungsphase ist in den Sommermonaten eine ausreichende Wasserversorgung sicherzustellen.

Es wird dringend empfohlen, die Pflanzenetablierung und Inbetriebnahme zur Aufgabe des mit Planung und Bau beauftragten Ingenieurbüros zu machen. Nur so kann sichergestellt werden, dass der Betreiber eine funktionsfähige Anlage übergeben bekommt. Die Bauabnahme sollte erst nach der ersten Vollbeschickung und einer Begehung der Anlage erfolgen.

5.12 Investitionen

Zur Abschätzung mittlerer Investitionen für Retentionsbodenfilter wurden vom LANUV NRW die Förderbescheide aus den Jahren 2006 bis 2014 ausgewertet. Die Stichprobe kann als repräsentativ für Retentionsbodenfilter in Nordrhein-Westfalen gelten, die nach dem Handbuch Stand 2003 gebaut worden sind. Die förderfähigen Investitionen wurden mit dem Baupreisindex für Ortskanalisationen in Nordrhein-Westfalen auf den Stand des vierten Quartals 2014 normiert.

Die 18 Anlagen im Trennsystem haben Speichervolumina zwischen 150 m³ und 5.784 m³ und Filterflächen von 210 m² bis 4.162 m². Die 28 Anlagen im Mischsystem verfügen über Speichervolumina von 188 m³ bis 13.451 m³ und Filterflächen im Bereich von 231 m² und 10.500 m². Das Speichervolumen setzt sich aus dem Retentionsvolumen für die Filtration sowie dem Volumen einer zusätzlichen Regenrückhaltelamelle für den Rückhalt zusammen. Die Filterfläche wurde an der Filteroberkante bestimmt.

Die Investitionen für Retentionsbodenfilter hängen vornehmlich vom Speichervolumen (Bild 5.22, Bild 5.24), aber auch von der Filterfläche (Bild 5.23, Bild 5.25) ab. Der mit zunehmender Anlagengröße degressive Verlauf der spezifischen Investitionen kann mit Potenzfunktionen beschrieben werden, die in den Bildern angegeben sind. Die Schwankungsbreite der spezifischen Investitionen ist offenbar durch anlagen- und standortspezifische Faktoren bestimmt. Die Mess-, Steuer-, Regeltechnik kann bei kleinen Anlagen zu höheren spezifischen Investitionen führen.

Über die Aufteilung der Kosten auf die einzelnen Gewerke lagen keine Informationen vor. Die Anteile der Einzelgewerke können grob anhand von Tabelle 5.2 abgeschätzt werden, die auf älteren Erhebungen basiert.

Tabelle 5.2 Abschätzung der Gewerkeanteile an der Bausumme (Basis: BOFITEC 2001)

Erdarbeiten und Filter	Zu- und Ablaufbauwerke	Dichtung	MSR-Technik	Bepflanzung	Sonstiges
%	%	%	%	%	%
35-70	10-35	10-20	bis 10	bis 10	bis 20

Bild 5.22 Investitionen (netto) für Retentionsbodenfilter im Trennsystem abhängig vom Speichervolumen (Stand 4. Quartal 2014, n=18)

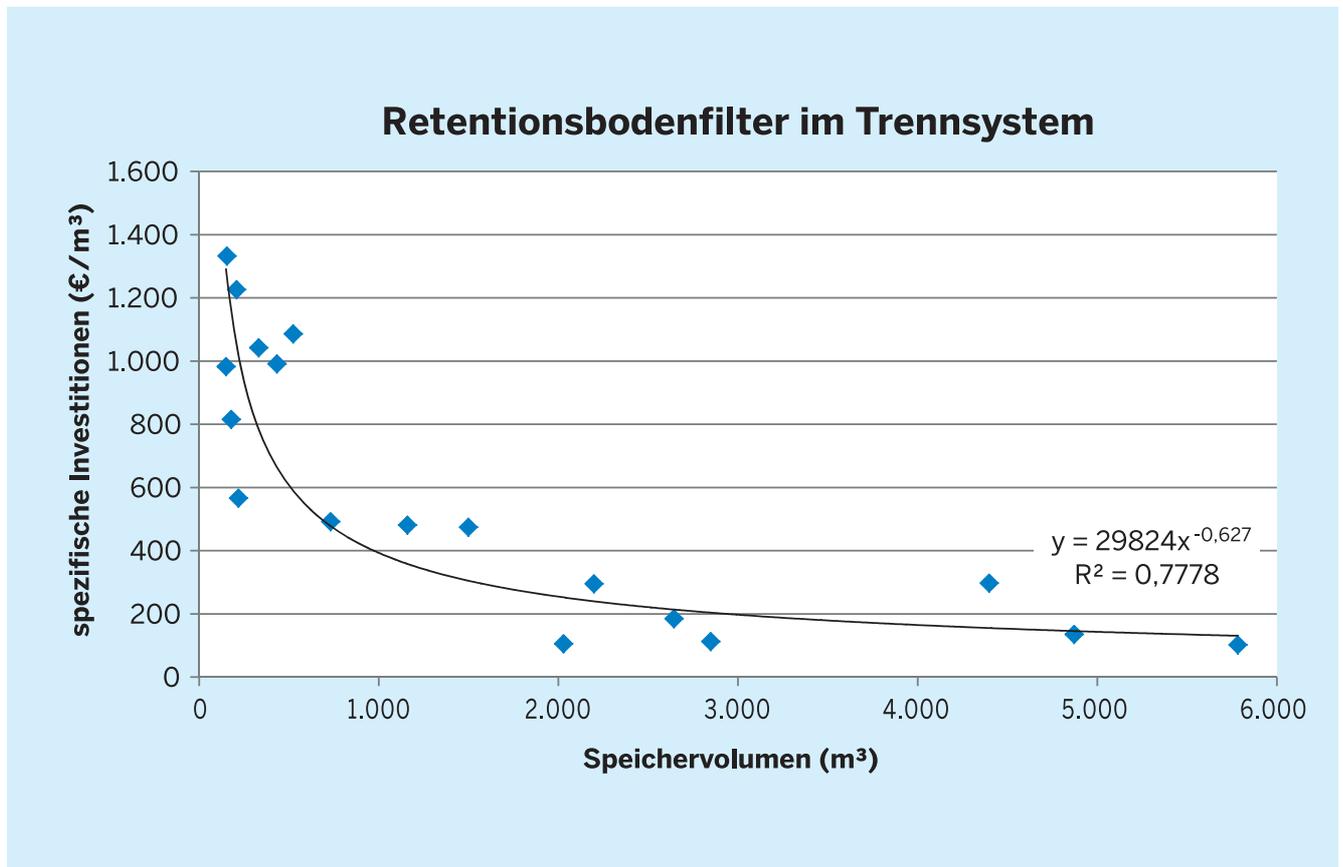


Bild 5.23 Investitionen (netto) für Retentionsbodenfilter im Trennsystem abhängig von der Filterfläche (Stand 4. Quartal 2014, n=18)

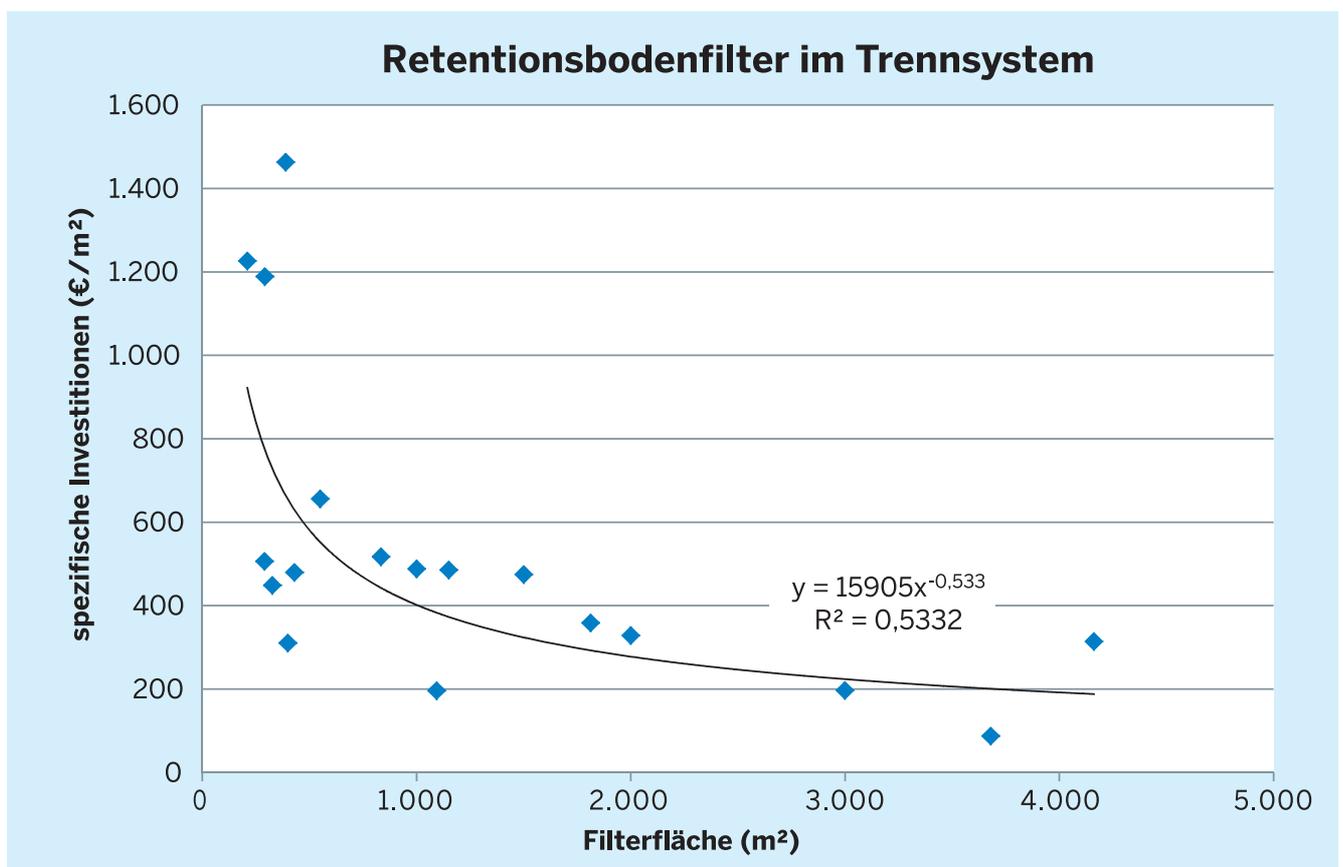


Bild 5.24 Investitionen (netto) für Retentionsbodenfilter im Mischsystem abhängig vom Speichervolumen (Stand 4. Quartal 2014, n=28)

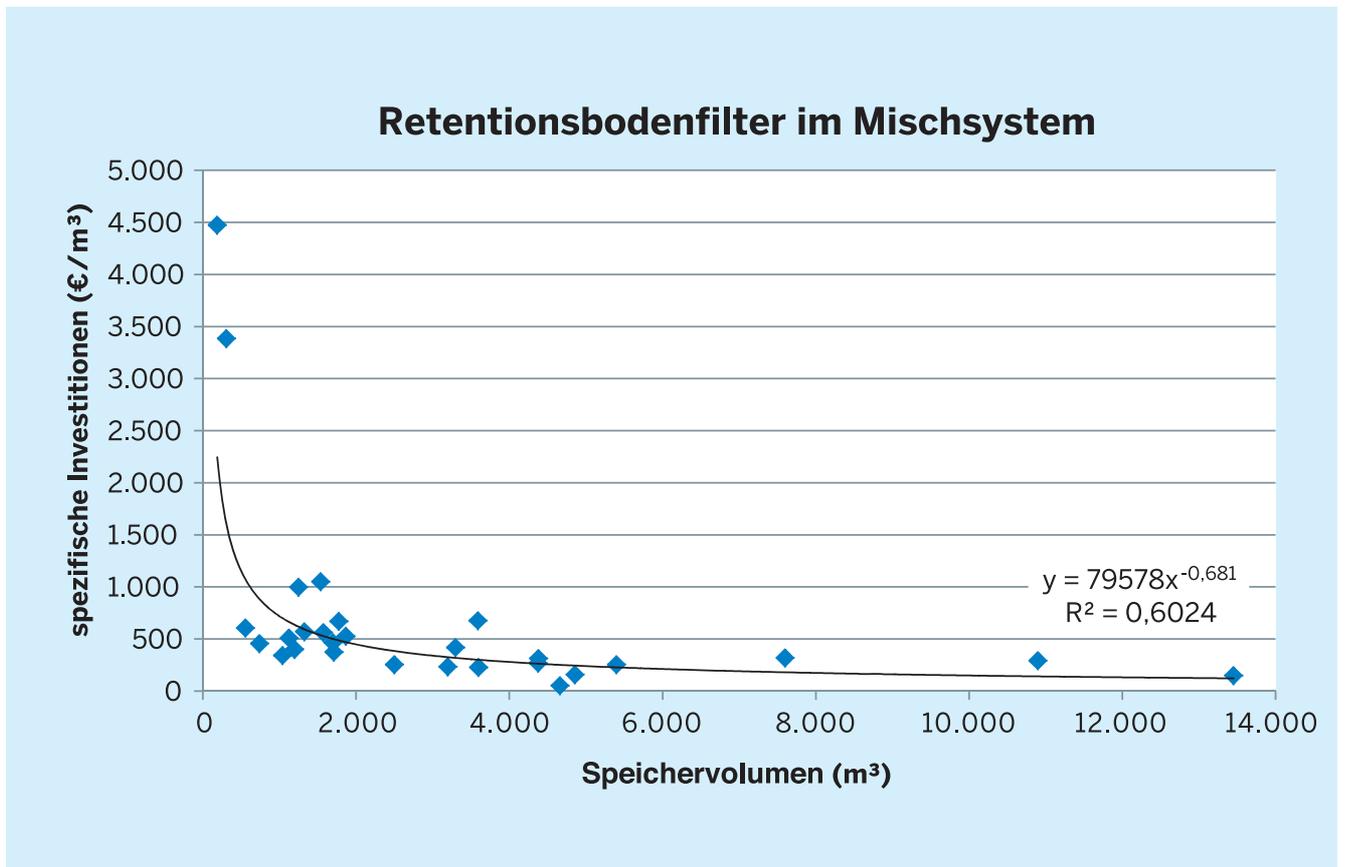
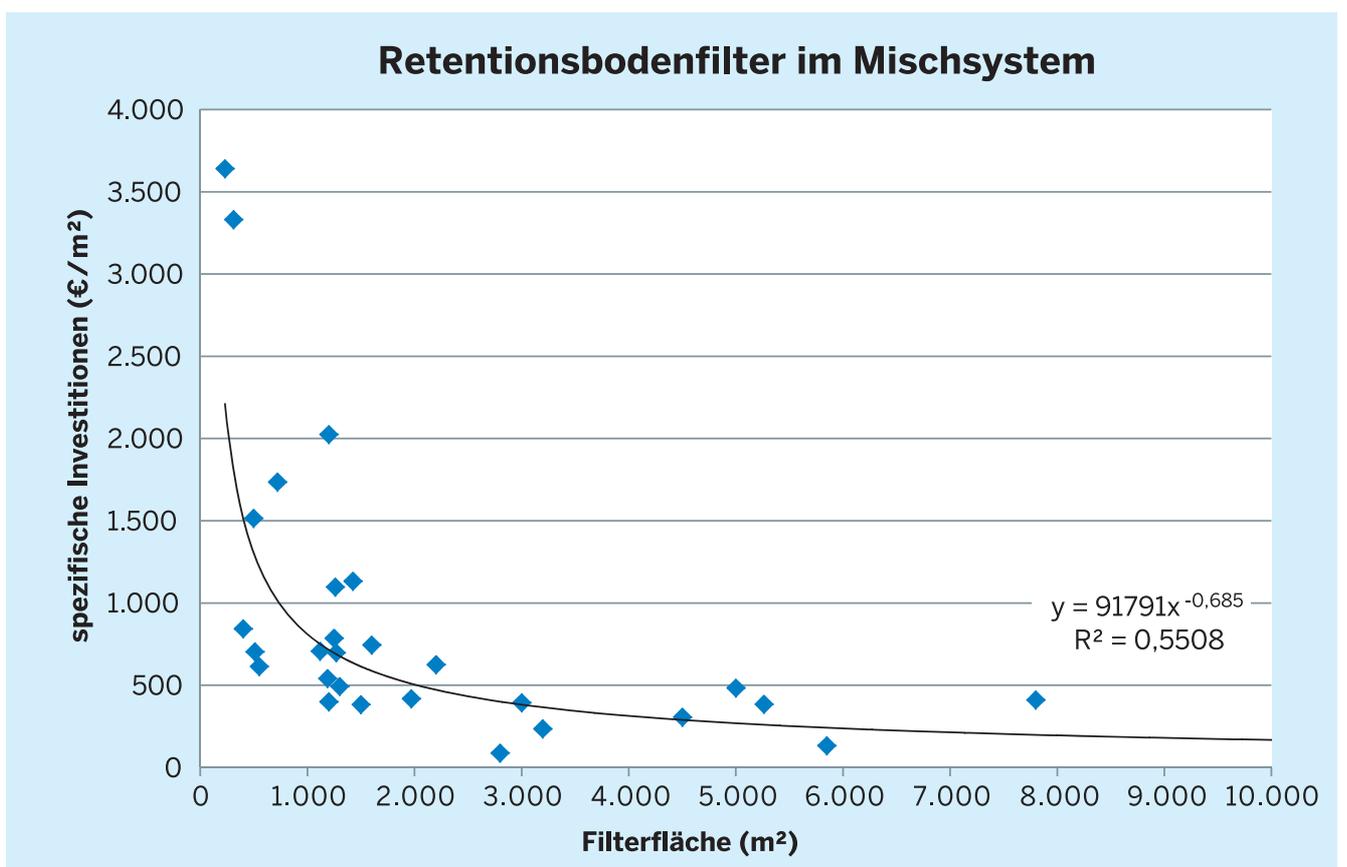


Bild 5.25 Investitionen (netto) für Retentionsbodenfilter im Mischsystem abhängig von der Filterfläche (Stand 4. Quartal 2014, n=28)



6 Betrieb



Schilfbewuchs in der Vegetationsperiode

6.1 Etablierung des Schilfbewuchses

Vor der regulären Betriebsphase muss die Vegetation neu beplanter Retentionsbodenfilter in einer Einfahrphase etabliert werden. Anschließend wird die Filtervegetation beobachtet und nach Bedarf gepflegt. Hierzu werden folgende Empfehlungen gegeben:

Das Schilf sollte zu Beginn der Vegetationsperiode von Mai bis Juni gepflanzt werden.

Während der ersten Vegetationsperiode (April/Mai bis August) wird der Filter mit temporärem Einstau bis knapp über der Filteroberkante betrieben. Zum Einstau kann Wasser aus einem Gewässer oder dem Ablauf einer Kläranlage verwendet werden, in keinem Fall jedoch Misch- oder Schmutzwasser. Der Retentionsbodenfilter darf in dieser Zeit noch nicht regulär beschickt werden. Eine Startdüngung (ca. 80 g/m² NPK 13/13/20) fördert die Bestandsentwicklung des Schilfbewuchses.

Zu Vegetationsbeginn des zweiten Jahres wird der Wasserstand völlig abgesenkt und der Regelbetrieb des Retentionsbodenfilters begonnen.

In den ersten Vegetationsperioden soll im Frühjahr und Sommer das Pflanzenwachstum häufiger kontrollieren werden. In sehr langen Trockenperioden ist eine Bewässerung oder ein kurzzeitiger Einstau sinnvoll. Dies wird fortgeführt, bis sich ein dichter Schilfbestand etabliert hat. Gehölze im Schilf müssen frühzeitig durch Herausziehen entfernt werden. Die Filteroberfläche darf dabei nur im gut entwässerten Zustand vorsichtig betreten werden, da nasses Filtermaterial nicht trittstabil ist.

Das Schilf wird nicht gemäht.

6.2 Betrieb und Unterhaltung von Retentionsbodenfiltern

Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Regenbecken, die sinngemäß für Retentionsbodenfilter gelten, finden sich in der SüwVO Abw - Selbstüberwachungsverordnung Abwasser, Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen Nordrhein-Westfalen vom 17. Oktober 2013.

Für eine Retentionsbodenfilteranlage muss eine Betriebsanweisung gemäß der SüwVO Abw vorliegen. Ergänzend soll sie auch die Maßnahmen zur Unterhaltung und Pflege sowie zur Betriebsüberwachung enthalten. In Tabelle 6.1 werden Maßnahmen zum Betrieb und zur Unterhaltung von Retentionsbodenfiltern aufgeführt. Tabelle 6.2 gibt Hilfestellung zur Beurteilung sensorischer Befunde der Vegetation, der Filteroberfläche und des Filterablaufes.

Retentionsbodenfilter werden nach jedem Einstauereignis vollständig entleert, so dass sie mit Luftsauerstoff versorgt werden. Langanhaltender Teileinstau oder Überstau z.B. zur Förderung des Schilfbestandes sollte nicht vorgenommen werden, da hierdurch Nitrifikationshemmung und Mangan- und Eisenfreisetzung provoziert wird.

Müssen Filter mit permanentem Fremdwasserzufluss betrieben werden, ist zur Kolmationsvermeidung eine alternierende Beschickung zweier Filterflächen zwingend notwendig. Die Beseitigung des Fremdwasserzuflusses sollte allerdings Priorität besitzen.

Die Vorstufe muss regelgerecht betrieben werden. Zu häufige und zu seltene Beschickungen können ungeplante Belastungen des Filters bedeuten, deren Ursache abzuklären ist. Die regelmäßige Entfernung von Sedimenten aus der Vorstufe ist notwendig.

Hohe Feststoffeinträge und Fremdwasserabflüsse bedeuten hohe ungeplante Belastungen des Filters, die zu Leistungseinbußen führen können. Die Sanierung dieser beiden Störeinflüsse muss im Einzugsgebiet erfolgen. Retentionsbodenfilter sind dazu nicht geeignet (vgl. Kapitel 3.2).

Wie jede abwassertechnische Anlage muss auch ein Retentionsbodenfilter außer Betrieb genommen und entleert werden können. Sollte die Durchlässigkeit des Filters stark nachlassen (Kolmation), so muss er in Absprache mit der Aufsichtsbehörde zeitweilig außer Betrieb genommen werden können, um sich zu regenerieren. Eine Kolmation von Retentionsbodenfiltern ist bei regulärem Betrieb allerdings nicht zu erwarten, wie die Bestandserhebung in Nordrhein-Westfalen zeigt (Grotehusmann et al., 2015).



Bepflanzung mit Schilfsetzlingen

Tabelle 6.1 Maßnahmen zum Betrieb und zur Unterhaltung von Retentionsbodenfiltern

Maßnahmen zum Betrieb und zur Unterhaltung	Anforderung	Empfehlung	Zeitpunkt
Maßnahmen analog Runderlass „Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen“ v. 3.1.1995			
• Neueinstellung, Wartung, Instandsetzung der Drosseleinrichtung bei Fehlern	x		unverzüglich
• Instandsetzung, Austausch der maschinellen Anlage bei Fehlern	x		unverzüglich
• Neueinstellung, Wartung, Instandsetzung von mechanischen Einrichtungen wie Armaturen, Reinigungseinrichtungen usw. bei Fehlern	x		unverzüglich
• Kalibrierung, Neueinstellung einer Messeinrichtung bei Fehlern	x		innerhalb von einem Monat
• Sanierung der Drosseleinrichtung bei Abweichungen des Drosselabflusses um mehr als 20 % vom Sollwert	x		innerhalb eines Jahres
• Instandsetzung sichtbarer Schäden im Material	x		Regelung wie für Kanäle
weitere Maßnahmen			
• Entfernen von Gehölzen und krautiger Vegetation auf dem Filter	x		nach Bedarf im Frühjahr
• Ausbesserungen von Erosionsschäden (Auskolkungen) an der Filteroberfläche und an den Einbauten zur Energieumwandlung	x		bei Bedarf
• Reinigung der Dränage und Entfernung von Wurzeleinwuchs	x		nach Bedarf
• Entfernung von Sedimenten im Zulauf des Filters und ggf. zulaufnahen Filterbereich		x	nach Bedarf
• Entfernung starker Ablagerungen vor Gabionen		x	nach Bedarf
• Bewässerung des Schilfs		x	nach Bedarf
• Mähen der Böschungen des Filters		x	1-2 mal jährlich

Tabelle 6.2 Interpretation sensorischer und optischer Indikatoren aus der Überwachung von Retentionsbodenfiltern

Ort	Indikator	Hinweis auf
Schilf	üppiger Wuchs über gesamte Filterfläche	hohe, gleichmäßige Filterbelastung, langanhaltender Teileinstau
	Halmwurzeln	langanhaltender Filterüberstau
	abgeknickte Pflanzen im Zulaufbereich	ungünstige Zulaufkonstruktion
	Anteil an Begleitpflanzen hoch	wenig Beschickungsereignisse
	wenig, kleine und dünne Schilfhalme	geringe hydraulische Belastung
Tierbauten	flache, kleinkalibrige Tierbauten (Mäuse)	Beschickungspause ≤ 3 Monate
	tiefe, großkalibrige Tierbauten (Kaninchen, Dachs)	Beschickungspause ≥ 3 Monate
Moose	dunkelgrüner, geschlossener Moosteppich	sehr geringe Feststoffbelastung
Fadenalgen	Fadenalgenteppich auf Filteroberfläche	langer Filterüberstau
Sediment	zulaufnahe Erosionsspuren	ungünstige Zulaufkonstruktion
	gleichmäßige Sedimentverteilung über Filterfläche	gleichmäßige Filterbelastung
	fehlende Sedimentschicht nach > 5 Betriebsjahren	sehr geringe Feststoffbelastung
	plattiges, grobporenfrees Sediment	hohe Filterüberstauzeiten
	krümelig, grobporenreich	ausreichend lange Trockenzeiten
	Würmer im Sediment	ausreichend lange Trockenzeiten
Filterablauf	klar, farblos, geruchlos	funktionsstüchtiger Filter
	schwarze oder rote Beläge	Sauerstoffmangel durch zu geringe Trockenzeiten
	Carbonatausfällung	sehr geringe hydraulische Belastung
	Biofilmbildung	hoher CSB im Zulauf oder zu kurze Trockenzeiten
	Feinpartikel im Ablaufschacht	Filterkurzschluss (z. B. Tierbauten)
	Korrosion an verzinkten, nicht eingestauten Stahlteilen	extremer Sauerstoffmangel im Filter (Schwefelsäurebildung)

6.3 Selbstüberwachung von Retentionsbodenfiltern

Die Selbstüberwachung von Retentionsbodenfiltern hat das Ziel, den ordnungsgemäßen Anlagenbetrieb zu dokumentieren und frühzeitig Fehlentwicklungen erkennen zu können. Anforderungen zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen, die sinngemäß auch für Retentionsboden-

filter gelten, enthält die Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen - Selbstüberwachungsverordnung Abwasser – SÜwVO Abw – vom 17.10.2013. Tabelle 6.3 führt Maßnahmen zur Selbstüberwachung von Retentionsbodenfiltern auf.

Tabelle 6.3 Maßnahmen zur Selbstüberwachung von Retentionsbodenfiltern, Teil 1

Maßnahmen zur Selbstüberwachung	Anforderung	Empfehlung	Zeitpunkt
Maßnahmen gemäß SÜwVO Abw			
<ul style="list-style-type: none"> Sichtkontrolle zur Feststellung von Ablagerungen und Verstopfungen 	x		nach Niederschlägen, die eine betrieblich bedeutsame Beaufschlagung erwarten lassen, sonst monatlich
<ul style="list-style-type: none"> Kontrolle der Funktionsfähigkeit von Drosselorganen, beweglichen Wehren, Hebern gemäß Herstellerangabe 	x		gemäß Herstellerangaben, sonst monatlich
<ul style="list-style-type: none"> Kontrolle der Funktionsfähigkeit von Pumpen, Mess- und Regeltechnik, Reinigungseinrichtungen, Schiebern, Klappen, Armaturen etc. durch Probelauf nach Angaben des Herstellers 	x		gemäß Herstellerangaben, sonst monatlich
<ul style="list-style-type: none"> Inspektion der Drossel- und Messeinrichtungen durch Überprüfung der Systemeinstellungen nach Angaben des Herstellers 	x		gemäß Herstellerangaben, sonst jährlich
<ul style="list-style-type: none"> Inspektion der Messeinrichtungen durch Überprüfung der Gerätekennlinien nach Herstellerangaben 	x		keine Angabe in SÜwVO Abw, Vorschlag: gemäß Herstellerangabe, sonst jährlich
<ul style="list-style-type: none"> hydraulische Kalibrierung der Drosseleinrichtungen durch Kennlinienüberprüfung nach Angaben des Herstellers 	x		alle 5 Jahre
<ul style="list-style-type: none"> Feststellung sichtbarer Schäden an den Becken durch optische Kontrolle beziehungsweise Inaugenscheinnahme 	x		alle 5 Jahre
Fortsetzung auf nächster Seite!			

Tabelle 6.3 Maßnahmen zur Selbstüberwachung von Retentionsbodenfiltern, Teil 2 (Fortsetzung)

Maßnahmen zur Selbstüberwachung	Anforderung	Empfehlung	Zeitpunkt
weitere Maßnahmen			
• Kontrolle aller Anlagenteile nach einem Störfall (Betriebsstörung, Unfall, Havarie)	x		sofort nach Störfall
• Kontrolle des Dränagesystems auf Wurzeleinwuchs	x		alle 5 Jahre
• Sichtkontrolle des Dränagesystems auf Verockerungen und Feststoffe	x		nach Bedarf
• Untersuchung des Filterablaufes bei Retentionsbodenfiltern im Mischsystem	x		mehrmals im Jahr
• Untersuchung des Filtersubstrates und -sedimentes bei Retentionsbodenfiltern im Misch- und Trennsystem	x		bei Bedarf im Regelfall alle 10 Jahre
• Überprüfung der Filterdurchlässigkeit	x		bei Bedarf alle 5 bis 10 Jahre sinnvoll
• Überprüfung der Filteroberfläche und der Einbauten zur Energieumwandlung auf Erosionsschäden		x	monatlich und nach Starkniederschlägen
• Überprüfung des Schilfbestandes		x	monatlich und nach Starkniederschlägen

Als Messeinrichtungen zur Betriebsüberwachung sind zwei Wasserstands- und eine Durchflussmeseinrichtung mit kontinuierlicher, digitaler Messwertaufzeichnung ausreichend. Hinweise zur Messtechnik können dem Merkblatt DWA-M 181 (DWA (2011)) entnommen werden. Der Wasserstand wird im Filterbecken (über der Filteroberkante) und im Filtersubstrat (im Dränsystem, bzw. im Ablaufschacht) gemessen. Somit können das Einstau-, Überstau- und Entleerungsverhalten sowie der Filterwiderstand erfasst werden.

Bei der Verwendung von Ultraschallsonden im Filterbecken ist der Bereich um die Sonde von Schilf frei zu halten, um Störeinflüsse zu vermeiden. Pegelrohre für die Aufnahme von Wasserstandssonden zur Messung im Filtersubstrat sind bis über den maximalen Einstauwasserstand im Retentionsraum zu führen, um Kurzschlussströmungen ins Dränsystem zu vermeiden.

Die Durchflussmessung im Ablauf des Retentionsbodenfilters erfolgt bei MID-geregelten Filterabläufen durch das MID selbst. Bei anderen Drosseleinrichtungen dient deren hydraulische Kennlinie zur Durchflussermittlung, wobei die erforderliche Rückstaufreiheit von unterstrom abzuklären ist.

Die Auswertung der Messdaten umfasst folgende Angaben:

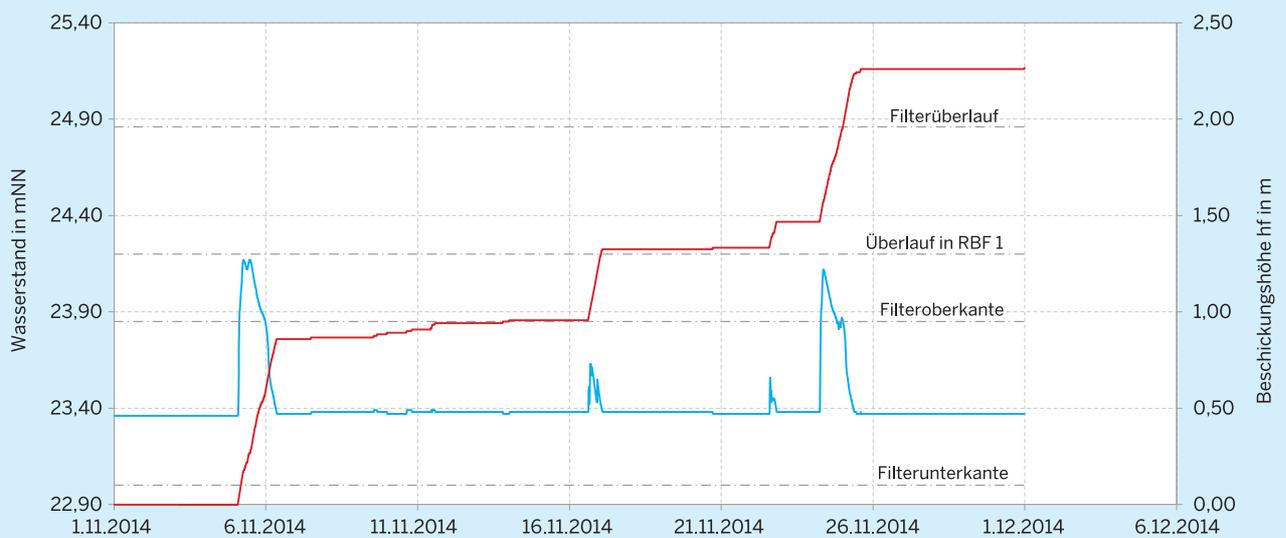
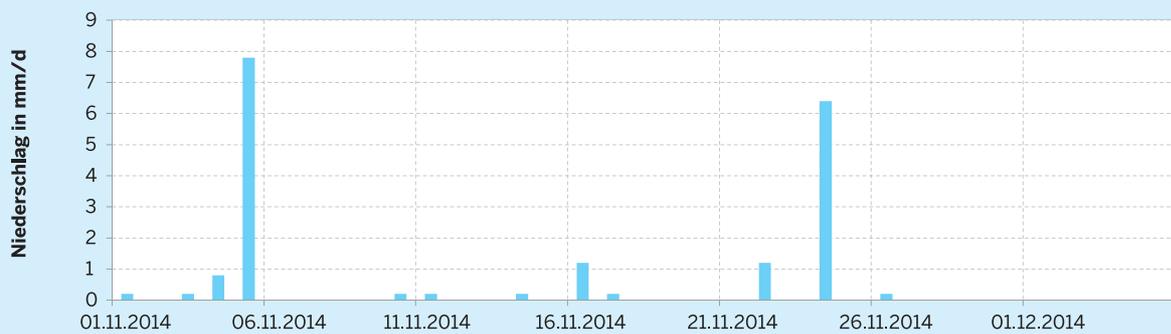
- Einstaudauer (h/a) und -häufigkeit ($1/a$)
- Überlaufhäufigkeit ($1/a$)
- Filterablauf VQ_F (m^3/a)
- Filterüberlauf $VQ_{FÜ}$ (m^3/a)
- Beschickungshöhe h_F ($m^3/(m^2 \cdot a)$)
- Ausfalltage der Messeinrichtung (d/a)

Es wird empfohlen, die Wasserstände und die Beschickungshöhe als Ganglinie monats- oder quartalsweise darzustellen, um Unplausibilitäten oder Störungen visuell leicht erkennen zu können. Eine exemplarische Messdatenauswertung ist in Bild 6.1 für einen Bodenfilter im Trennsystem mit zwei Filterteilen dargestellt.

Bild 6.1 exemplarische Messdatenauswertung für einen RBF im Trennsystem mit zwei Filterteilen

Monatsauswertung RBF Musterstadt

Monat		11. 2014		
Abflüsse	Beschickungshöhen	Monat	seit Mai 2014 (Inbetriebnahme)	
Qab RBF1	91 m ³	hf RBF1	0,2 m	16,0 m
Qab RBF2	971 m ³	hf RBF2	2,3 m	15,1 m
Que RBF	0 m ³	Gesamt	1,1 m	15,6 m
Qab_{gesamt}	1.061 m³			
N	18,8 mm			
Neff	8,6 mm			
ψ	0,46 -			



Mit weiteren Datenauswertungen kann das Betriebsverhalten der Filter weitergehend analysiert werden, falls dies betrieblich nützlich oder erforderlich ist.

Bei Retentionsbodenfiltern im Mischsystem ist der Filterablauf mehrmals im Jahr zu beproben. Ausreichend sind qualifizierte Stichproben aus dem Filterablauf mit zugehörigen Daten der Wasserstands- und Abflussmessungen. Folgende Parameter werden für das Analyseprogramm empfohlen:

AFS_{fein} , TOC, P_{ges} , $NH_4\text{-N}$, $NO_3\text{-N}$, Fe, elektrische Leitfähigkeit und Säurekapazität $K_{s4,3}$ sowie Keime in besonderen Fällen.

Für Retentionsbodenfilter im Misch- und Trennsystem ist abhängig vom Betriebszustand im Regelfall alle 10 Jahre eine Untersuchung des Filtersubstrates und des Sedimentes erforderlich. Dazu ist an je einer zulaufnahen und zulauffernen Untersuchungsstelle je 1 Mischprobe aus mindestens 12 Einzelproben zu entnehmen. Bei sehr großen Anlagen sind weitere Probenahmepunkte zu wählen. Die Entnahme soll jeweils 0-5 cm, 5-10 cm, 10-30 cm und 30-60 cm unter der Filteroberkante vorgenommen werden. Es wird empfohlen, folgende Parameter zu untersuchen:

Korngrößenverteilung, Glühverlust, $CaCO_3$, P_{ges} , Fe, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Ni

Durch einen Vergleich mit den Ausgangsgehalten des Filtermaterials (Ergebnisse der Fremdüberwachung) im Ausgangszustand kann der Umfang der Stoffan- und -abreicherung und der Mobilität des gebildeten Stoffdepots beurteilt werden. Ein hoher Gradient in der Tiefenverteilung und geringe Konzentrationen in größeren Tiefen von Zink und Kupfer zeigen z. B. eine funktionierende Filter- und Sorptionswirkung an. Wird dagegen eine gegenüber dem Ausgangszustand deutlich erhöhte Schwermetallkonzentration über die gesamte Filtertiefe gemessen, ist das ein Hinweis auf mangelhafte Rückhaltewirkung. Aus dem Carbonatgehalt gegenüber dem Ausgangszustand kann der Carbonatverbrauch festgestellt werden. Die Differenzierung in zulaufnahe und zulaufferne Proben ermöglicht Aussagen über die Gleichmäßigkeit der Filterbelastung.

Der Umfang der Selbstüberwachung wird im wasserrechtlichen Verfahren geregelt und bei Bedarf angepasst. Der Umfang und die Art der Übermittlung der Überwachungsdaten werden von den Aufsichtsbehörden vorgegeben.



Gabionen im RBF Paderborn-Benhausen



Anhang 1



Bachforelle

Auszug aus dem Leitfaden "Besondere Anforderungen an die Gewässerqualität bei Salmonidenlaichgewässern (MUNLV 2006)

Besondere Anforderungen an die Gewässerqualität bei Salmonidenlaichgewässern (MUNLV 2006)

Basis-Kennwerte (immer einzuhalten)

Tabelle A 1.1 Basis-Kennwerte für die fließende Welle sowie Kennwerte bestehender Richtlinien und Anforderungen von potenziellen Salmonidenlaichgewässern vgl. Kap. 5.1.2

Fließende Welle								
Parameter	EG-Richtlinie (Salmoniden-gewässer) Guide-Wert (G-Wert)	EG-Richtlinie (Salmoniden-gewässer) Imperativer Wert (I-Wert)	HAMM (Hrsg.) (1991)	LAWA (1998) GK I-II	AGA (MURL 1991)	Qualitäts-kriterien der Bestands-aufnahme nach WRRL	Basis-Kennwerte (Salmoniden-laichgewässer)	Ampli-tuden Kennwert
Wasser-temperatur [°C]		max. 21,5 °C			≤ 20 °C	max. Jahres-temp. ≤ 21,5 °C max. Winter-temp. ≤ 10 °C max. Aufw. ≤ 1,5 K	max. 21,5 °C Dez.-Apr. < 15°C Jun.-Aug. > 8°C	3
O ₂ -Konzentration	100% > 7 [mg/l] 50% > 9 [mg/l]	50% > 9 [mg/l]		> 8 [mg/l]	≥ 6 [mg/l]	4 [mg/l]	> 8 [mg/l]	ja
O ₂ -Sättigung							90 - 110	3
pH-Wert		6 - 9			6,5 - 8,5	> 9	6,5 - 8,5	3
Ammonium			allgemeines Qualitätsziel:					
NH ₄ -N	< 0,03 [mg/l]	< 0,78 [mg/l]	0,16 [mg/l]	≤ 0,1 [mg/l]	< 1 [mg/l]	0,3 [mg/l]	0,16 [mg/l]	3
NH ₄	< 0,04 [mg/l]	< 1 [mg/l]	0,2 [mg/l]	≤ 0,13 [mg/l]	< 1,29 [mg/l]	0,6 [mg/l]	0,2 [mg/l]	
Ammoniak			allgemeines Qualitätsziel:					
NH ₃ -N	< 0,004 [mg/l]	< 0,02 [mg/l]	< 0,02 [mg/l]				< 0,004[mg/l]²	ja
NH ₃	< 0,005 [mg/l]	< 0,025 [mg/l]	< 0,025 [mg/l]				< 0,005 [mg/l]²	
Nitrit			generalisiertes Qualitätsziel:					
NO ₂ -N	< 0,003 [mg/l]		0,03 [mg/l]	≤ 0,05 [mg/l]		0,1 [mg/l]	0,03 [mg/l]¹	ja
NO ₂	< 0,01 [mg/l]		0,1 [mg/l]	≤ 0,16 [mg/l]			0,1 [mg/l]	
Ortho-Phosphat								
o-PO ₄ -P				0,04 [mg/l]		0,2 [mg/l]	≤ 0,04 [mg/l]	3
o-PO ₄				0,12 [mg/l]			≤ 0,12 [mg/l]	
Gesamtphosphor				0,08 [mg/l]	≤ 0,3 [mg/l]	0,3 [mg/l]	0,08 [mg/l]	
Suspendierte Stoffe /abfiltrierbare Stoffe	< 25 [mg/l]						≤ 25 [mg/l] bei Abfluss ≤ MQ	ja
BSB ₅	< 3 [mg/l]				< 5 [mg/l]		< 3 [mg/l] ohne ATH bei Abfluss ≤ MQ	3

¹ Basis-Kennwert bei Cl⁻-Konzentrationen < 10 mg/l oder unbekannter Cl⁻-Konzentration (s. u.).

² Bei ununterbrochener Einhaltung des NH₄-Basis-Kennwertes ist die Überprüfung der Ammoniak-Konzentration erst bei pH-Wert > 7,8 notwendig.

³ Basis-Kennwert ist immer einzuhalten.

Besondere Anforderungen an die Gewässerqualität bei Salmonidenlaichgewässern (MUNLV 2006)

Amplituden-Kennwerte NH₃-N

Bild A 1.1 Amplitudenkennwerte (9er-Matrix) für Ammoniak (NH₃-N) in Abhängigkeit von Dauer und Frequenz der auftretenden Störungen; als farbige Linien dargestellt sind die Grenzwerte der EG-Fischgewässer-richtlinie, der AGA (MURL 1991), des BWK-M3 (BWK 2000) und der ATV-AG 2.1.1 (ATV 1993)

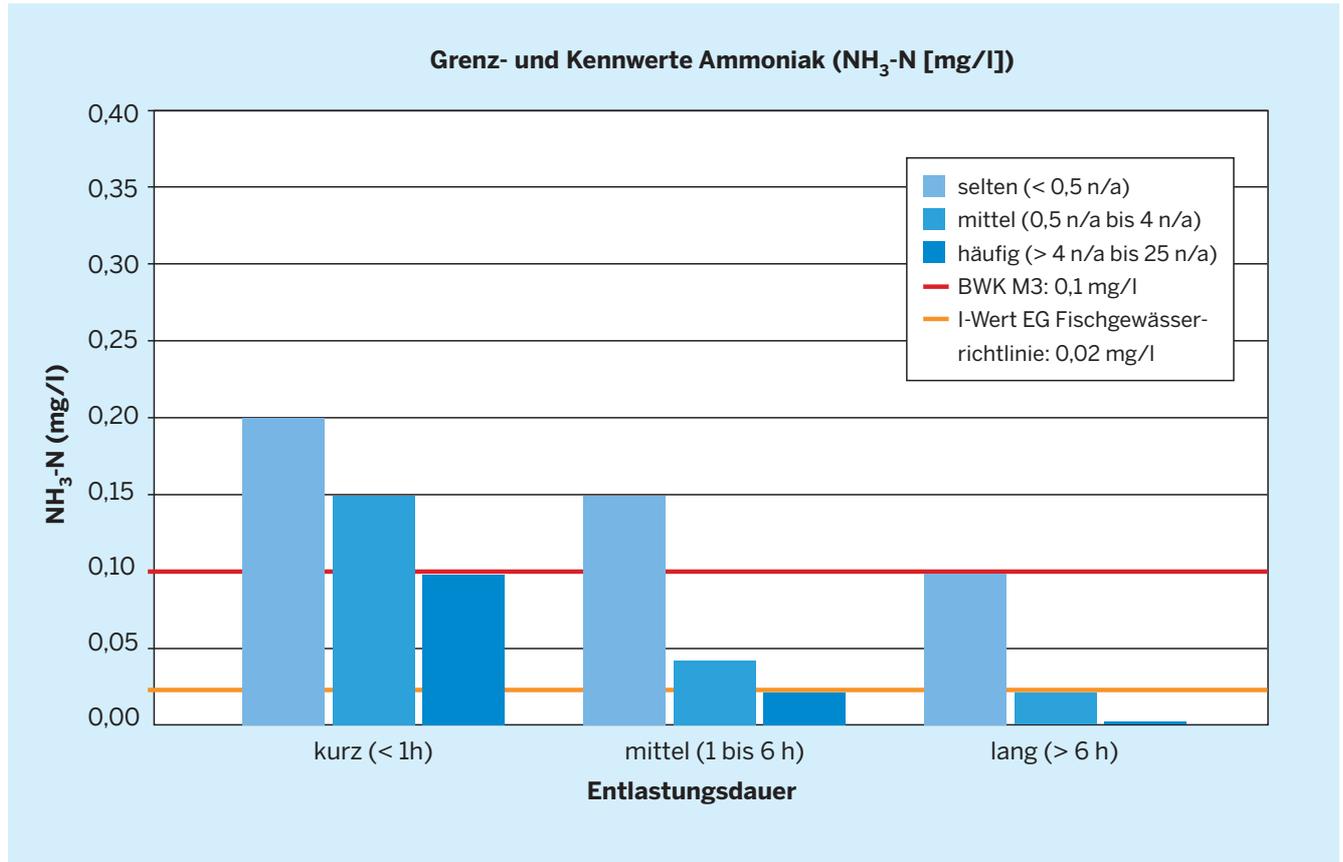


Tabelle A 1.2 Amplituden-Kennwerte für Ammoniak (NH₃-N) in Abhängigkeit von Dauer und Frequenz

Frequenz / Dauer	kurz (< 1 h)	mittel (1 bis 6 h)	lang (> 6 h)
selten (< 0,5 n/a)	0,20 mg/l	0,15 mg/l	0,10 mg/l
mittel (0,5 n/a bis 4 n/a)	0,15 mg/l	0,04 mg/l	0,02 mg/l
häufig (> 4 n/a bis 25 n/a)	0,10 mg/l	0,02 mg/l	0,004 mg/l

Besondere Anforderungen an die Gewässerqualität bei Salmonidenlaichgewässern (MUNLV, 2006)

Amplituden-Kennwerte AFS

Bild A 1.2 Amplituden-Kennwerte für die AFS-Konzentration in Abhängigkeit von Dauer und Frequenz der auftretenden Störungen

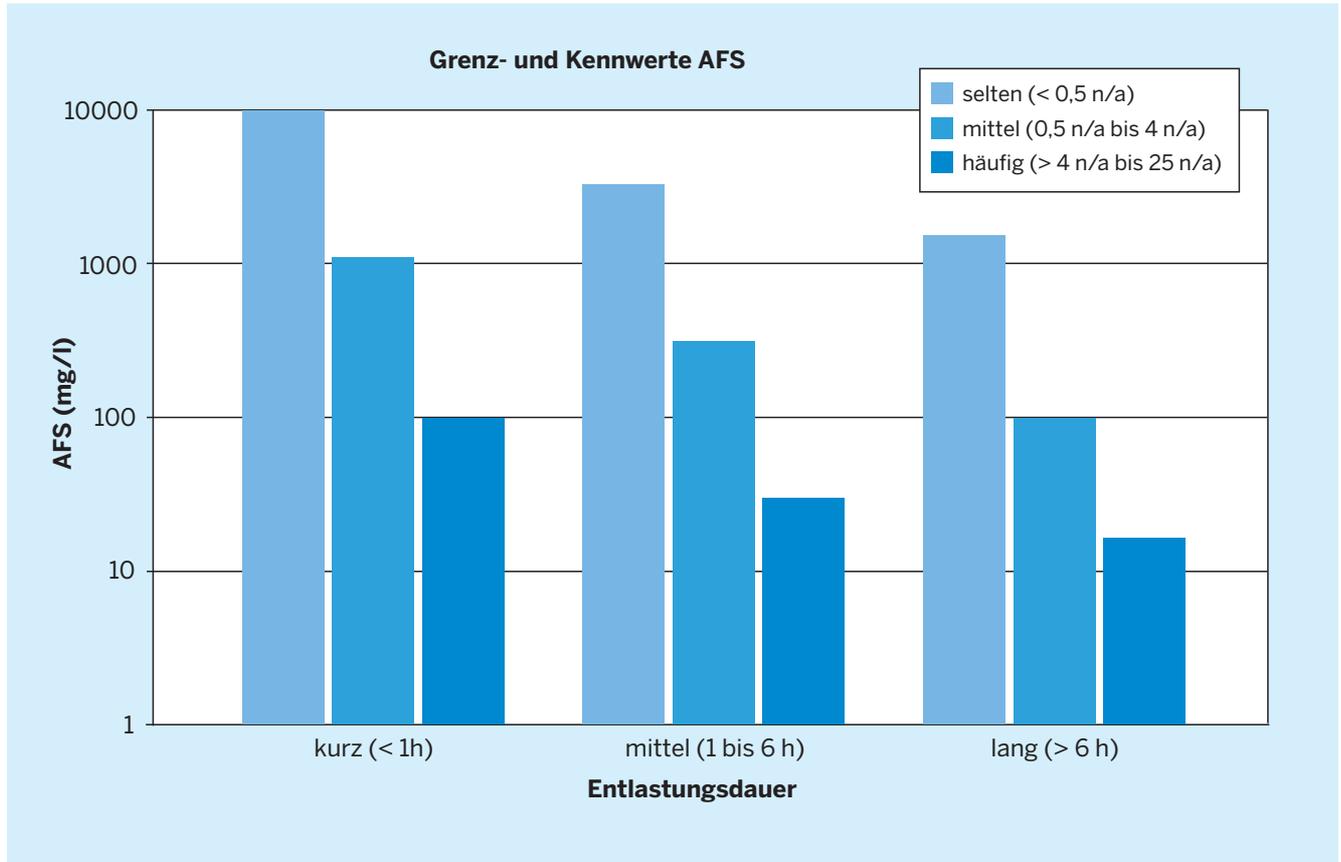


Tabelle A 1.3 Amplituden-Kennwerte für AFS (abfiltrierbare Feststoffe) in Abhängigkeit von Dauer und Frequenz

Frequenz / Dauer	kurz (< 1 h)	mittel (1 bis 6 h)	lang (> 6 h)
selten (< 0,5 n/a)	10.000 mg/l	5.000 mg/l	2.500 mg/l
mittel (0,5 n/a bis 4 n/a)	1.500 mg/l	500 mg/l	100 mg/l
häufig (> 4 n/a bis 25 n/a)	100 mg/l	50 mg/l	25 mg/l

Anhang 2



RBF an der Kläranlage Konzen

Sensitivitätsuntersuchung

**Einfluß von Behandlungsziel und weiteren Randbedingungen
auf die Größe des Retentionsbodenfilters**

A 2.1 Grundsätze

Die in Kap. 3.3 beschriebene Bemessung von Retentionsbodenfiltern erfolgt iterativ im Nachweisverfahren per Langzeitsimulation. Dabei muss neben der Erreichung der von der Wasserbehörde vorgegebenen Zielgrößen auch die zulässige Bodenfilterbelastung abgeprüft werden, um eine Überlastung des Filters zu vermeiden.

Die Prüfgröße zur zulässigen Bodenfilterbelastung ist im Vergleich zur ersten Auflage des Bodenfilterhandbuchs 2003 geändert worden. Sie wird nicht mehr über die früher übliche Beschickungshöhe h_F [$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{a})$] begrenzt, sondern durch die Belastung der Filterfläche mit AFS_{fein} . Tabelle A 2.1 stellt die zulässigen Belastungen gegenüber.

Tabelle A 2.1 zulässige Filterflächenbelastung nach altem und neuem Bemessungsansatz

	Bemessungsansatz alt	Bemessungsansatz Kap. 3.3
Mischsystem	$h_F < 30 - 40 \text{ m}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ (langjähriges Mittel) $h_F < 50 \text{ m}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ (Einzeljahr)	$b_{\text{spez}_F} < 7 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$
Trennsystem/Straße	$h_F < 40 - 50 \text{ m}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ (langjähriges Mittel) $h_F < 60 \text{ m}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ (Einzeljahr)	$b_{\text{spez}_F} < 7 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$

Bei den bisherigem Bemessungsansatz wurde davon ausgegangen, dass die auf die Filterfläche aufgebrauchte Feststofffracht auf $4 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ begrenzt werden muss, um eine Kolmation zu vermeiden. Aus der zulässigen Feststofffracht und einer mittleren AFS-Konzentration im Zulauf zur Retentionsbodenfilteranlage wurden die zulässigen Beschickungshöhen abgeleitet.

In aktuellen Felduntersuchungen an vielen Bodenfilteranlagen in NRW (Grotehusmann et al., 2015) und Baden-Württemberg wurden die Filterflächenbelastungen mit den kolmationsrelevanten Feinpartikeln im Ton- und Schluffbereich ($<0,063 \text{ mm}$) durch Sedimentbeprobungen erfasst. In NRW wurde bei allen Anlagen der Wert von $4 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ z.T. sehr deutlich unterschritten. In Baden-Württemberg wurden bei einigen Anlagen Werte von über $8 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ gemessen, ohne dass eine Kolmation aufgetreten ist. Als neuer Grenzwert für die zulässige Bodenfilterbelastung wird daher eine AFS_{fein} -Fracht von $7 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ angesetzt. Unter AFS_{fein} sind hierbei die Feststoffpartikel im Niederschlagsabfluss im Korngrößenbereich $< 0,063 \text{ mm}$ zu verstehen.

Die AFS_{fein} -Zulauffracht wird nach der Flächennutzung der angeschlossenen Flächen angesetzt. Die von den Einzugsgebietsflächen abgetragene AFS_{fein} -Fracht ist dabei

unabhängig von der Jahresniederschlagshöhe. Das bedeutet, dass die gleiche Fracht in niederschlagsreichen Gebieten mit einer höheren Niederschlagsabflusssumme abgetragen wird wie in Gebieten mit geringen Jahresniederschlägen. Danach sind in Gebieten mit hohem Jahresniederschlag z.T. höhere Beschickungshöhen möglich als in Gebieten mit geringeren Niederschlägen.

Die Sensitivitätsuntersuchung soll die Auswirkungen des neuen Bemessungsansatzes aufzeigen und für den Einfluss der Eingangsparameter auf das Dimensionierungsergebnis der Retentionsbodenfilter aufzeigen.

A 2.2 Eingangsdaten der Sensitivitätsuntersuchung

Die Berechnungen wurden mit einer Kombination eines N-A-Modelles *erwin* (ifs) und einem eigens programmierten Modul für den Baustein Retentionsbodenfilter durchgeführt.

Für das Mischsystem werden die Berechnungen für das in Bild A 2.1 dargestellte System durchgeführt. Das Berechnungssystem für das Trennsystem ist in Bild A 2.2 dargestellt.

Bild A 2.1 Modellierungsbeispiel RBF im Mischsystem

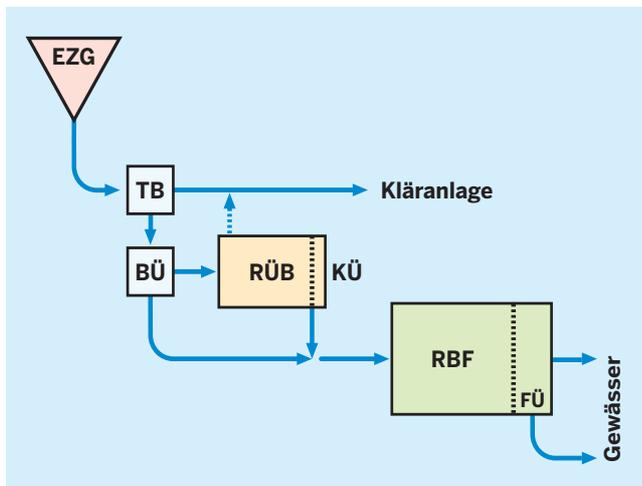
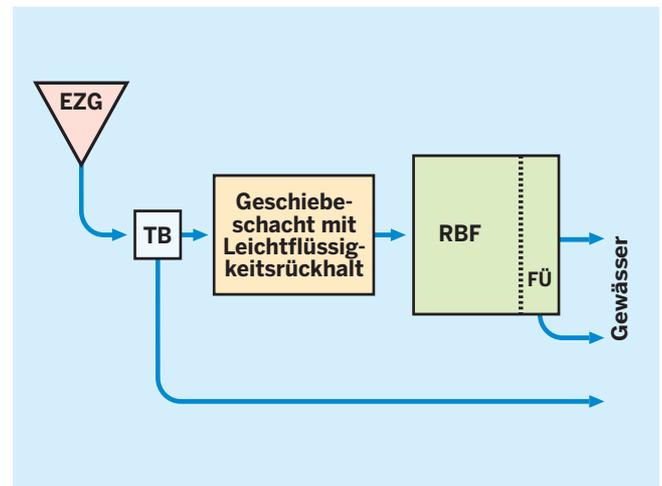


Bild A 2.2 Modellierungsbeispiel RBF im Trennsystem/Straßenentwässerung



Alle Eingangsdaten und Ergebnisse werden zur einfachen Übertragbarkeit auf die Fläche von 10 ha bezogen. Die Parameter zur Beschreibung der Flächeneigenschaften sind in Tabelle A 2.2 zusammengestellt:

Tabelle A 2.2 unveränderliche Eingangswerte der Simulation

Flächengröße	$A_{E,k} = A_{E,b}$	10 ha
Abflussbildung (Grenzwertmethode)	Benetzungsverlust	0,5 mm
	Muldenverlust	1,8 mm
	Anfangsabflussbeiwert	0,3 [-]
	Endabflussbeiwert	0,85 [-]
Abflusskonzentration (lineare Speicherkaskade)	Speicheranzahl	3
	Speicherkaskade	5 min
TW-Abfluss (im Mischsystem)	Einwohnerdichte	100 EW/ha
	Schmutzwasseranfall	120 l/(EW·d)
	Stundenfaktor	14
	Fremdwasserzuschlag	50 %

Als Niederschlagsbelastung wurden 6 Niederschlagsstationen mit unterschiedlichen mittleren Jahresniederschlagshöhen zwischen 566 und 1292 mm/a verwendet (Tabelle A 2.3).

Tabelle A 2.3 verwendete Niederschlagsreihen

	Zeitreihe	Mittlerer Jahresniederschlag
Burg Veynau N	1982-2013	566 mm/a
Bornheim Mertener Heide	1983-2013	694 mm/a
St. Arnold	1981-2013	804 mm/a
Essen BRW LANUV	1981-2013	952 mm/a
Lehmbach	1981-2013	1014 mm/a
Frielingsdorf	1981-2013	1292 mm/a

Die Schmutzfrachtberechnungen wurden für das Mischsystem für die Parameter AFS_{fein} und $NH_4\text{-N}$ und für das Trennsystem für die Parameter AFS_{fein} und P durchgeführt. Als feste Eingangsparameter wurden die in Tabelle A 2.4 angegebenen Konzentrationen zugrundegelegt. Die Konzentrationen sind der Messdatenauswertung vieler Messprogramme von Brombach/Fuchs (2002) entnom-

men. Für den Regenwetterabfluss wird die AFS_{fein} -Konzentration aus dem jeweiligen AFS -Frachtpotential der angeschlossenen Flächen und der jeweiligen Jahresniederschlagshöhe berechnet.

Die für die Sensitivitätsuntersuchung variierten Eingangsgrößen ist Tabelle A 2.5 zu entnehmen.

Tabelle A 2.4 Eingangsparameter für die Schutzfrachtberechnung

Parameter	Konzentrationen
Trockenwetterabfluss (nur Mischsystem)	
AFS_{fein}	150 mg/l
$NH_4\text{-N}$	20,4 mg/l
P	6,6 mg/l
Regenwetterabfluss	
AFS_{fein}	wird aus AFS_{fein} -Frachtpotenzial und Jahresniederschlag berechnet
$NH_4\text{-N}$	0,9 mg/l
P	0,5 mg/l

Tabelle A 2.5 variierte Eingangsparameter für die Sensitivitätsuntersuchung

	Mischsystem	Trennsystem
$V_{RÜB}$	klein: $e \sim 55\%$ ($8 - 19 \text{ m}^3/\text{ha}$) groß: $n \sim 10 \text{ l/a}$ ($57 - 150 \text{ m}^3/\text{ha}$) mittel: Mittelwert ($32 - 85 \text{ m}^3/\text{ha}$)	entfällt
$q_{D,RÜB}$	$2q_s + q_f$	entfällt
r_{krit}	entfällt	entfällt / $7,5 / 15 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$
A_F	25 / 50 / 75 / 100 / 125 m^2/ha	
h_{RBF}	0,5 / 1 m	
$q_{Dr,RBF}$	0,01 / 0,03 $\text{l/(s}\cdot\text{m}^2)$	0,01 / 0,05 $\text{l/(s}\cdot\text{m}^2)$
$B_{R,a} (\text{AFS}_{\text{fein}})$	405 / 530 / 645 / 760 $\text{kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$	

Die Wahl der Vorstufengrößen im Mischsystem erfolgte für jede Niederschlagsstation durch N-A-Simulation. Für ein kleines RÜB wurde ein $V_{RÜB}$ gewählt, bei dem sich eine Entlastungsrate von ca. 55 % ergibt. In NRW werden derart kleine RÜB nicht gebaut. Im Rahmen der Sensitivitätsuntersuchung wurden dennoch auch sehr kleine Volumina für die RÜB angesetzt, um den Einfluss der Vorstufengröße besser herausarbeiten zu können. Das Volumen eines großen RÜB wurde so gewählt, dass sich im Jahresmittel ca. 10 Entlastungen ergeben. Das Volumen eines mittleren RÜB ergibt sich aus dem arithmetischen Mittelwert des Volumens eines kleinen und großen RÜB. Auf diese Weise weisen die RÜB für die unterschiedlichen Niederschlagsstationen ein ähnliches Entlastungsverhalten auf. Es ergeben sich je nach Regenstation Volumina zwischen 8 und 150 m^3/ha .

Die Bandbreite der angesetzten Frachtabtragungspotentiale beträgt 405 bis 760 $\text{kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ und orientiert sich an den Flächenkategorien I/II, II, II/III und III des Trennerlasses.

A 2.3 Ergebnisse

A 2.3.1 Mischsystem

In Abhängigkeit von der Vorstufengröße und der Niederschlagsstation sind in Tabelle A 2.6 die mittlere jährliche Entlastungshäufigkeit des RÜB (= Beschickungshäufigkeit des Retentionsbodenfilter ($n_{0,RÜB}$)) und die mittlere jährliche Zuflusssumme zum Bodenfilter aufgelistet. Bild A 2.3 stellt die Zuflussmengen zum Bodenfilter vergleichend gegenüber.



Gabionen in Bad Driburg

Tabelle A 2.6 RÜB-Volumen, mittlere jährliche Beschickungshäufigkeit und mittlere jährliche Zuflusssumme zum Bodenfilter in Abhängigkeit der Niederschlagsstation und des RÜB-Volumens

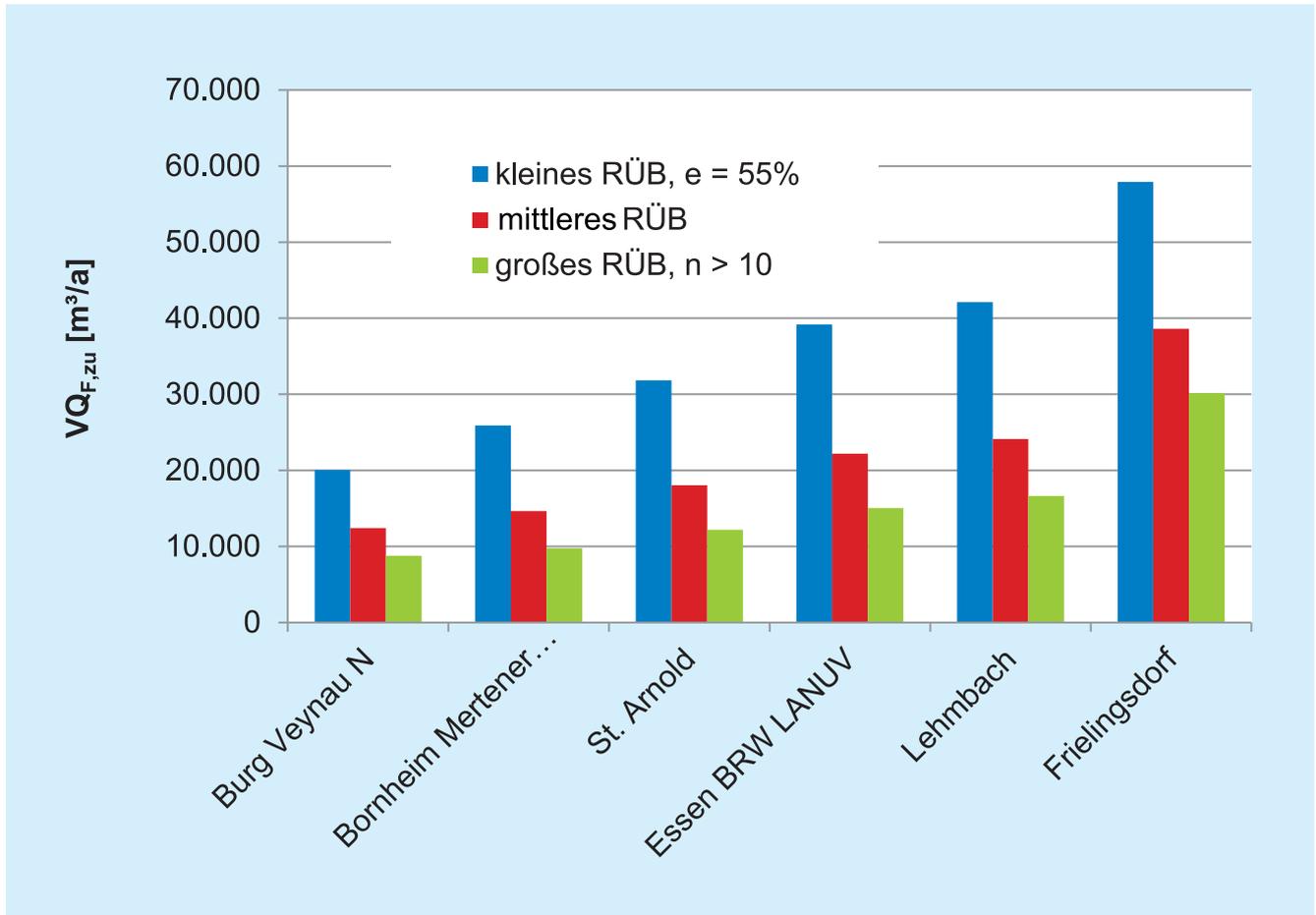
Regenstation	$h_{N,a}$ [mm/a]	$V_{RÜB}$ [m ³ /ha]	$n_{RÜB}$ [1/a]	$VQ_{F,zu}$ [m ³ /a]
kleines RÜB, Entlastungsrate 55 %¹⁾				
Burg Veynau N	566	8	54	20.036
Bornheim Mertener Heide	694	9	65	25.906
St. Arnold	804	10	69	31.839
Essen BRW LANUV	952	12	70	39.173
Lehmbach	1.014	14	69	42.112
Frielingsdorf	1.292	19	58	57.906
mittleres RÜB				
Burg Veynau N	566	33	20	12.409
Bornheim Mertener Heide	694	40	22	14.653
St. Arnold	804	49	20	18.038
Essen BRW LANUV	952	60	20	22.197
Lehmbach	1.014	65	20	24.118
Frielingsdorf	1.292	86	17	38.626
großes RÜB, Entlastungsanzahl $n_{RÜB} \sim 10$ 1/a				
Burg Veynau N	566	57	11	8.783
Bornheim Mertener Heide	694	70	12	9.745
St. Arnold	804	88	11	12.188
Essen BRW LANUV	952	109	11	15.046
Lehmbach	1.014	116	11	16.638
Frielingsdorf	1.292	152	10	30.169

¹⁾ unüblich kleines Volumen, hier nur für Sensitivitätsuntersuchung angesetzt

Die spezifischen RÜB-Volumina schwanken bei gleicher Bemessungszielgröße in Abhängigkeit der Niederschlagsstation erheblich. Ein RÜB in Burg Veynau weist bei einer Entlastungsrate von 55 % ein spezifisches Volumen von $8 \text{ m}^3/\text{ha}$ auf, während ein RÜB in Frielingsdorf mit $19 \text{ m}^3/\text{ha}$

bereits mehr als doppelt so groß ausfällt. Wird das RÜB auf eine Überlaufhäufigkeit von ca. 10 1/a ausgelegt, wird das Beckenvolumen in Frielingsdorf sogar fast 3 mal größer als in Burg Veynau.

Bild A 2.3 mittlere jährliche Zuflusssumme zum Bodenfilter in Abhängigkeit der Niederschlagsstation und des RÜB-Volumen

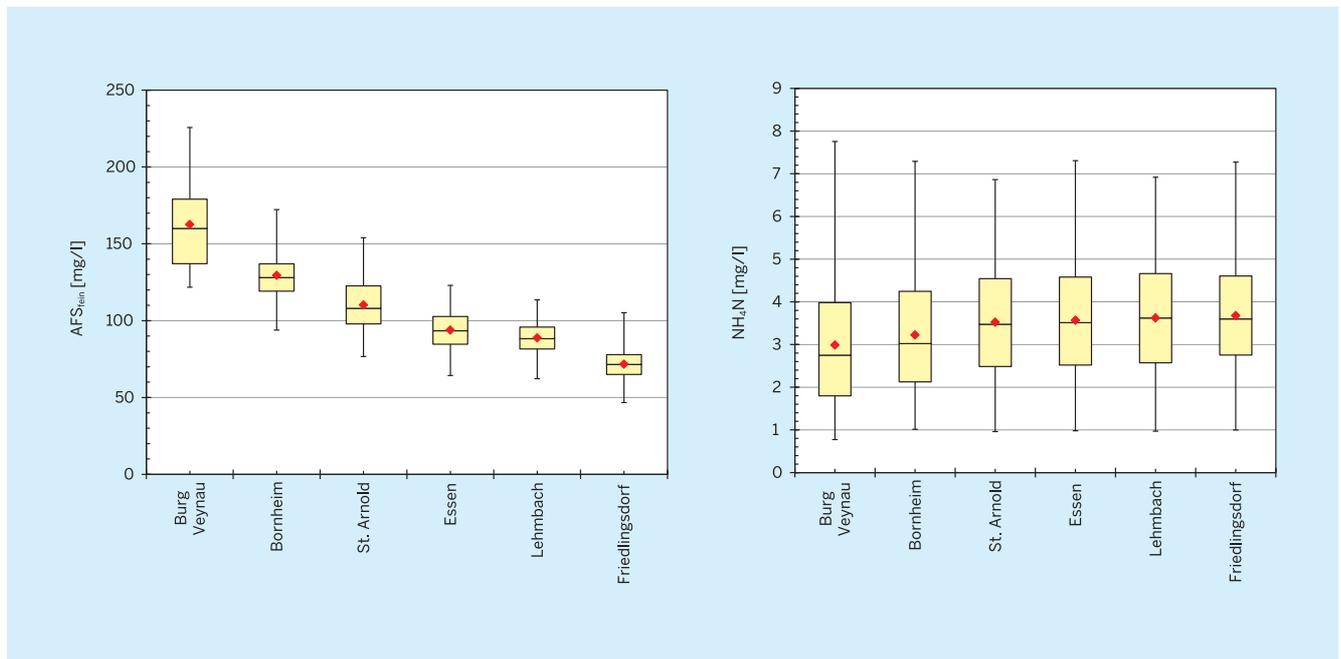


Auch bei gleicher Bemessung der RÜB sind die Zuflusswassermengen zum Bodenfilter stark von der Niederschlagsstation abhängig. Beim mittleren RÜB-Volumen beträgt die Zuflussmenge bei der Niederschlagsstation Frielingsdorf fast $39.000 \text{ m}^3/\text{a}$ während ein Filter bei der Niederschlagsstation Burg Veynau nur mit rd. $12.400 \text{ m}^3/\text{a}$ belastet wird. Gleichzeitig wird die Zuflussmenge zum Filter deutlich von der Vorstufengröße beeinflusst.

Bild A 2.4 zeigt die Zulaufkonzentrationen zum Bodenfilter (= Überlaufkonzentration RÜB) für AFS_{fein} und $\text{NH}_4\text{-N}$. Unter der oben getroffenen Grundannahme, dass die spezifische Jahresfracht an AFS_{fein} unabhängig von Jahresniederschlag mit dem Niederschlagsabfluss abgetragen wird, ergeben sich deutliche AFS_{fein} -Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Niederschlagsstationen. Die Konzentrationsschwankungen innerhalb einer Niederschlagsstation entstehen durch die unterschiedlichen Niederschlagshöhen der einzelnen Jahre.

Bezogen auf $\text{NH}_4\text{-N}$ sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen wesentlich geringer, da von einer konstanten Konzentration im Niederschlagsabfluss (vgl. Tabelle A 2.4) und im Schmutzwasserabfluss ausgegangen wird. Die so berechneten Zulaufkonzentrationen liegen für $\text{NH}_4\text{-N}$ im Mittel mit 2,8 und 3,5 mg/l etwas höher als in den Auswertungen von Brombach/Fuchs (2002), die im Überlaufwasser der Mischwasserkanalisation einen Mittelwert von 2,39 mg/l angeben. Die getroffenen Annahmen für die Konzentrationen im Schmutz- und Regenabfluss sind also plausibel.

Bild A 2.4 AFS_{fein}- und NH₄-N-Zulaufkonzentrationen zum RBF in Abhängigkeit der Niederschlagsstation (AFS_{fein}-Frachtpot. b_{R,a} = 530 kg/ha, mittleres RÜB-Volumen)



In Bild A 2.5 sind die Ergebnisse der Sensitivitätsuntersuchungen für einen Retentionsbodenfilter im Mischsystem und mittlerer Vorstufengröße (jährlich ca. 20 RÜB-Entlastungen) anhand des hydraulischen Wirkungsgrades und der Beschickungshöhe aufgetragen. Der hydraulische Wirkungsgrad ist auf die Zuflussmenge zum Bodenfilter bezogen.

Mit zunehmender Bodenfilterfläche verringert sich die Steigerung des hydraulischen Wirkungsgrades. Der Zusammenhang zwischen der Bodenfilterfläche und dem hydraulischen Wirkungsgrad ist nicht linear. Bei allen Niederschlagsstationen wird ein hydraulischer Wirkungsgrad von 85 % - 90 % hier bei einer Filterfläche von 78 m²/ha erreicht. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Niederschlagsstationen sind dabei vergleichsweise gering.



Bodenfilter in Betonbauweise mit senkrecht hochgezogenen Dränrohren

Im Gegensatz dazu sind die jährlichen Beschickungshöhen bei gleicher spezifischer Filterfläche in hohem Maße von der Station abhängig. Bei der spezifischen Filterfläche von 78 m²/ha wird der Bodenfilter bei einer mittleren Jahresniederschlagshöhe von 566 mm/a mit einer Wassersäule von 13 m und bei dem mittleren Jahresniederschlag von 1.292 mm/a mit 45 m beschickt. Um bei hohen Jahresniederschlägen und kleinen Vorstufen die Beschickungshöhen nicht zu hoch werden zu lassen, ist die Filterfläche bei mittleren Jahresniederschlägen > 1000 mm/a mindestens zu 75 m²/ha zu wählen.

Die stoffliche Filterflächenbelastung bezogen auf AFS_{fein} ist im Gegensatz dazu nahezu für alle Niederschlagsstationen gleich, da von den Einzugsgebietsflächen das gleiche Frachtpotential abgetragen wird (Bild A 2.6).

Bild A 2.5 hydraulischer Wirkungsgrad und Beschickungshöhe für RBF im Mischsystem für unterschiedliche Niederschlagsstationen

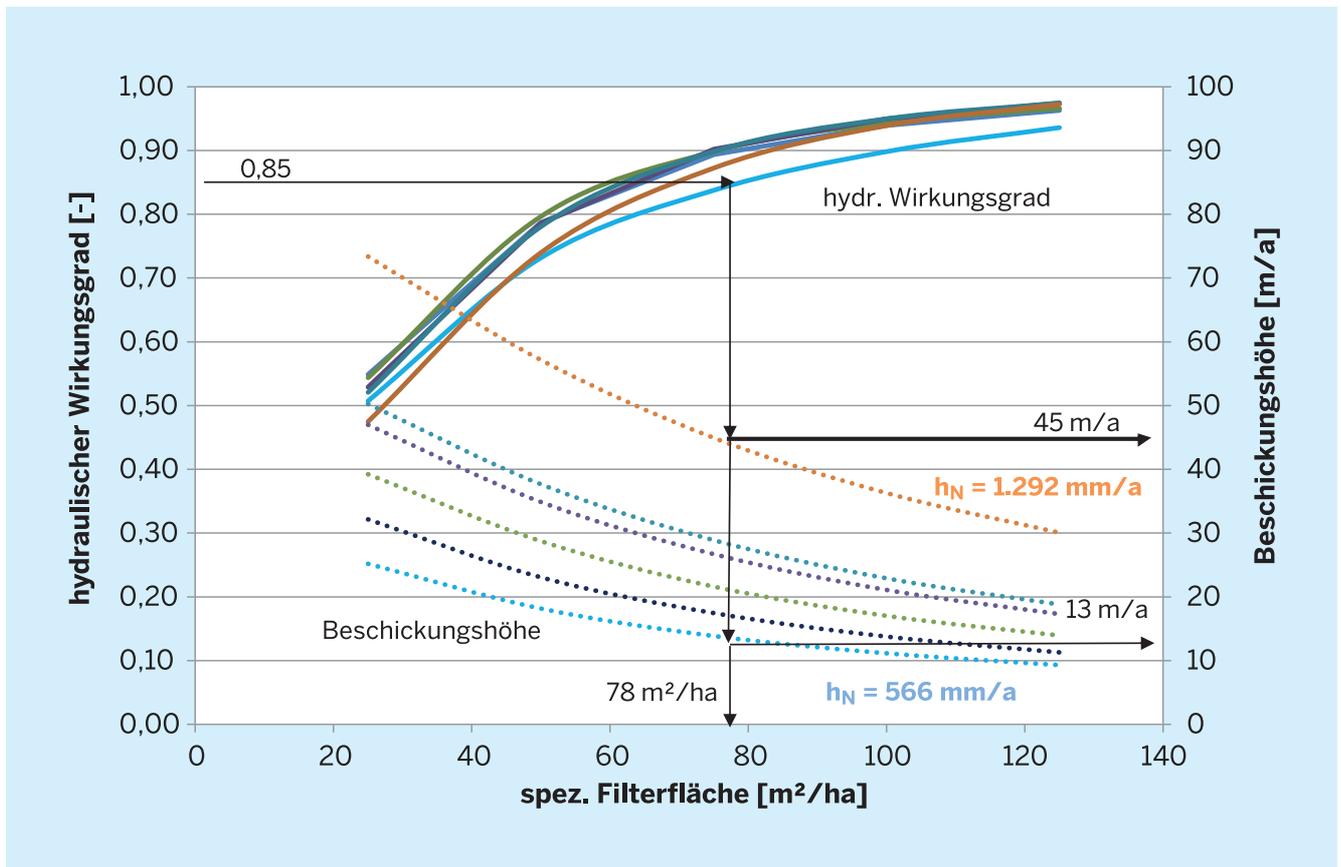


Bild A 2.6 hydraulischer Wirkungsgrad und AFS_{fein}-Filterflächenbelastung für RBF im Mischsystem für unterschiedliche Niederschlagsstationen

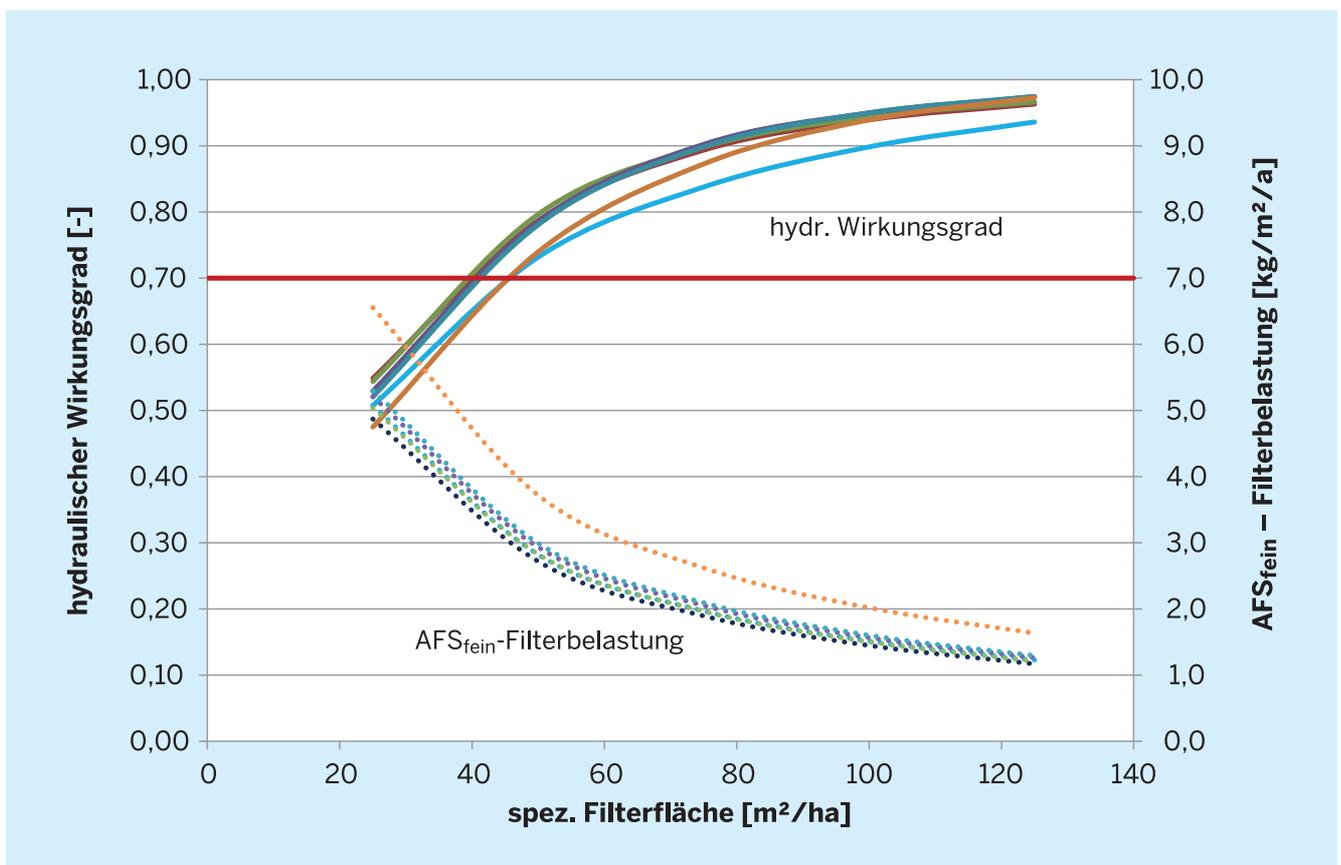


Bild A 2.7 AFS_{fein}-Filterbelastung in Abhängigkeit des AFS_{fein}-Frachtpotentials, Mischsystem

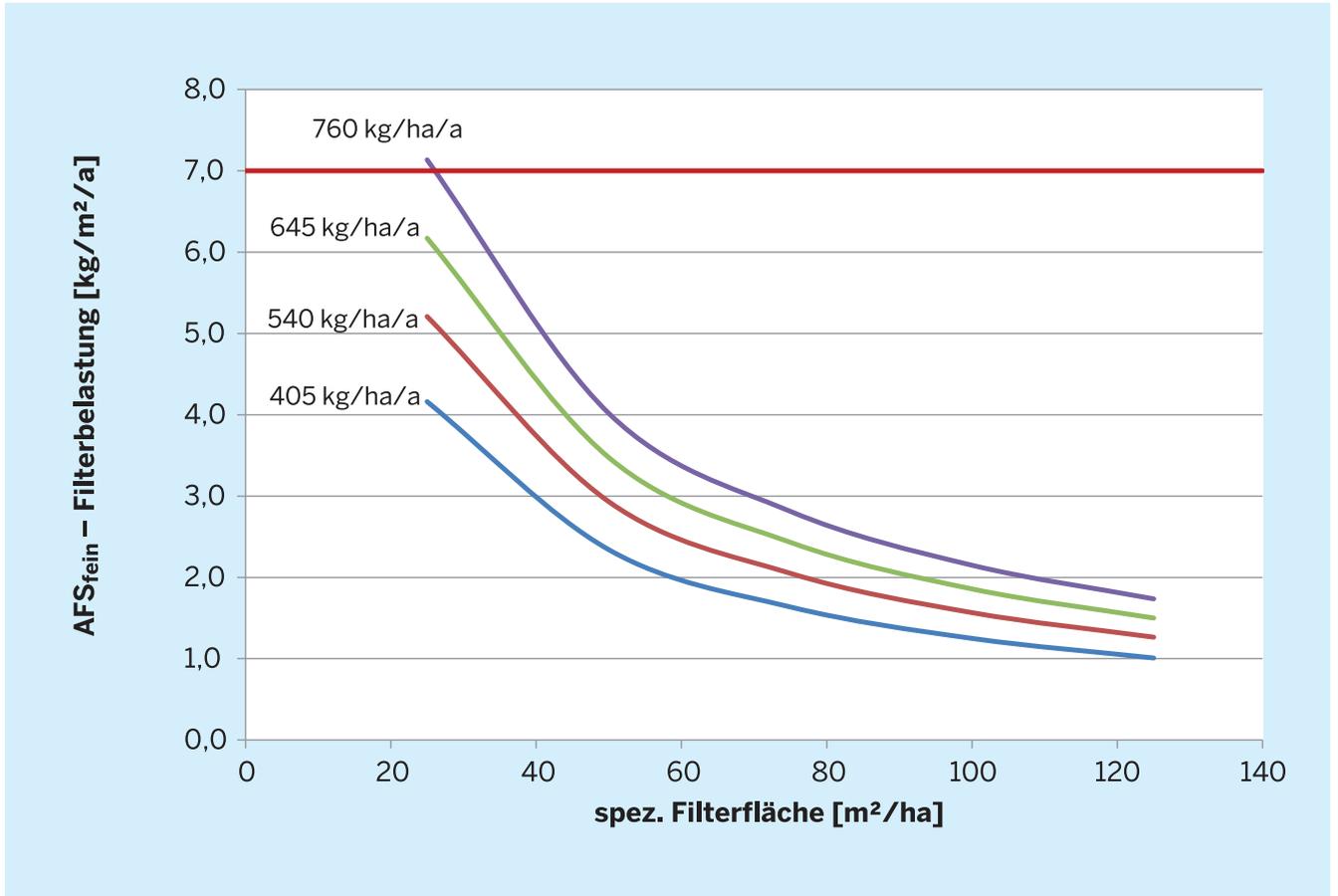
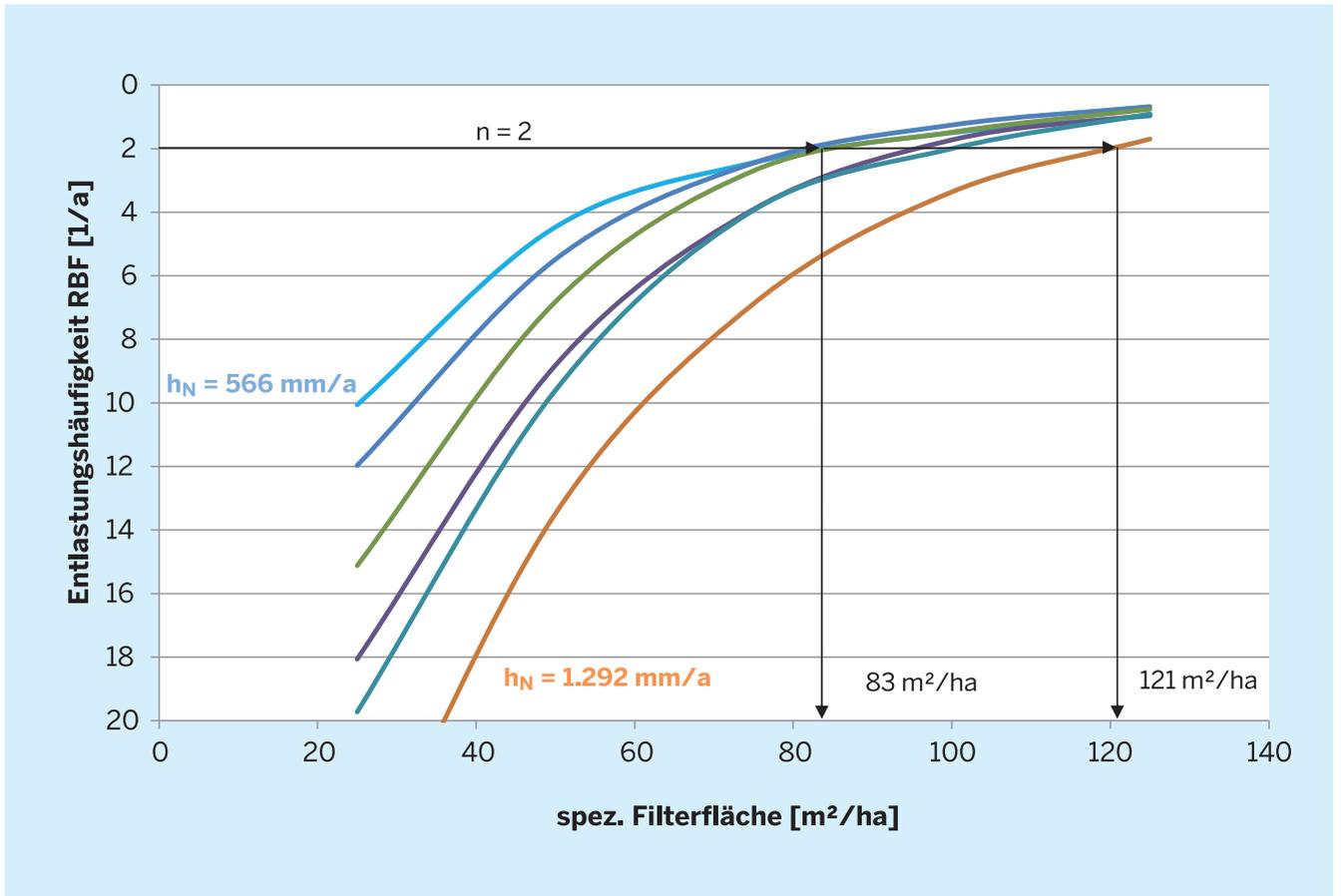


Bild A 2.8 Entlastungshäufigkeit des RBF für unterschiedliche Niederschlagsstationen, Mischsystem



Die zulässige AFS_{fein} -Fracht von 7 kg/m^2 wird im Mischsystem bei den hier untersuchten Parameterkombinationen nicht überschritten. Die Auswirkungen unterschiedlicher AFS_{fein} -Frachtpotentiale auf die Filterbelastung sind in Bild A 2.7 dargestellt. Eine Überschreitung der zulässigen Filterbelastung von $7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ würde nur bei (unrealistisch) kleinen Filterflächen und hohem AFS -Frachtpotential auftreten. In Bereich der üblichen Bodenfiltergrößen mit Filterflächen von $> 50 \text{ m}^2/\text{ha}$ wird im Mischsystem somit die zulässige Filterflächenbelastung nicht erreicht.

In Bild A 2.8 ist für die unterschiedlichen Niederschlagsstationen die Abhängigkeit der Entlastungshäufigkeit des RBF von der Filterfläche dargestellt. Wird aus Sicht des Gewässerschutzes eine Entlastungshäufigkeit $n < 2$ gefordert, so müssen je nach Niederschlagsstation Filterflächen von rd.80 bis $120 \text{ m}^2/\text{ha}$ gewählt werden.

Die spezifische Drosselabflussspende des Bodenfilters hat großen Einfluss auf die Dimension des Bodenfilters und die Einstaudauer (Bild A 2.9). Um einen hydraulischen Wirkungsgrad von 85 % zu erzielen, muss bei $q_{\text{Dr,RBF}} = 0,03 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ die Filterfläche $62 \text{ m}^2/\text{ha}$ betragen und bei $q_{\text{Dr,RBF}} = 0,01 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ auf $93 \text{ m}^2/\text{ha}$ vergrößert werden. Gleichzeitig wird erwartungsgemäß die Einstaudauer bei geringen Drosselabflussspenden wesentlich länger. Um im statistischen Mittel nur einmal im Jahr eine Einstau-

dauer von 48 Stunden zu überschreiten, muss bei diesem Beispiel die Bodenfilterfläche mindestens $125 \text{ m}^2/\text{ha}$ groß sein, während bei der hohen Drosselabflussspende auch bei kleinen Filterflächen diese Einstaudauer nicht überschritten wird.

Die Dauer der Trockenperioden ist maßgeblich von der Vorstufengröße abhängig. Der Einfluss der unterschiedlichen Niederschlagsstationen ist dabei bei gleicher Bemessung der Vorstufen geringer (Bild A 2.10). Bei kleinen Vorstufen ($e \sim 55 \%$) treten im statistischen Mittel einmal jährlich Trockenperioden von etwa 30 Tagen auf während bei den großen Vorstufen mit etwa 10 Entlastungen jährlich Trockenperioden von 60 bis 80 Tagen vorkommen. In der Vegetationszeit kann bei einer derart langen Trockenperiode eine Bewässerung des Schilfs sinnvoll sein. Bei noch größeren Vorstufen steigt die Länge der Trockenperioden überproportional an.

Bild A 2.9 hydraulischer Wirkungsgrad und Einstaudauer ($n=1$) in Abhängigkeit unterschiedlicher spezifischer Drosselleistung, Mischsystem

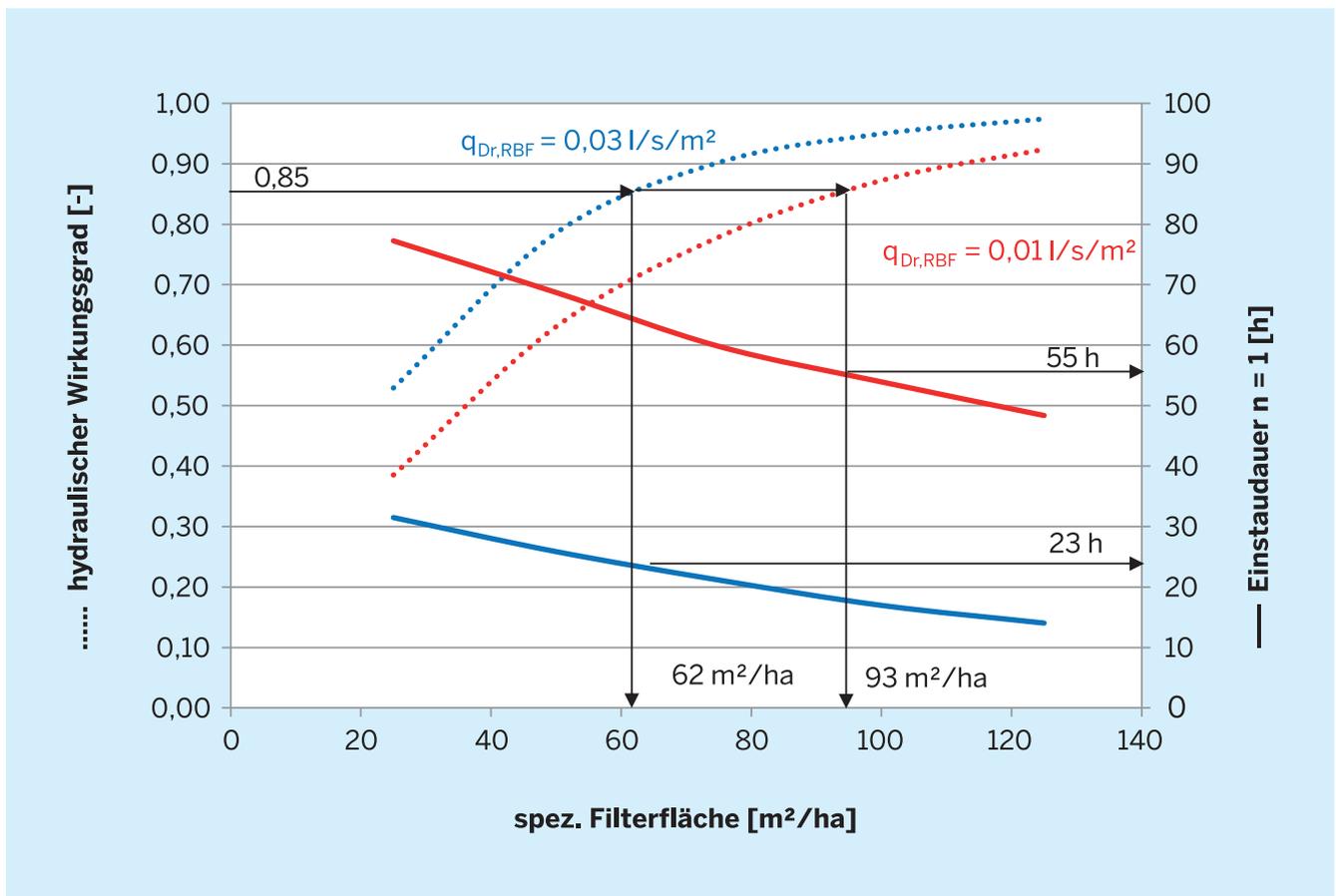
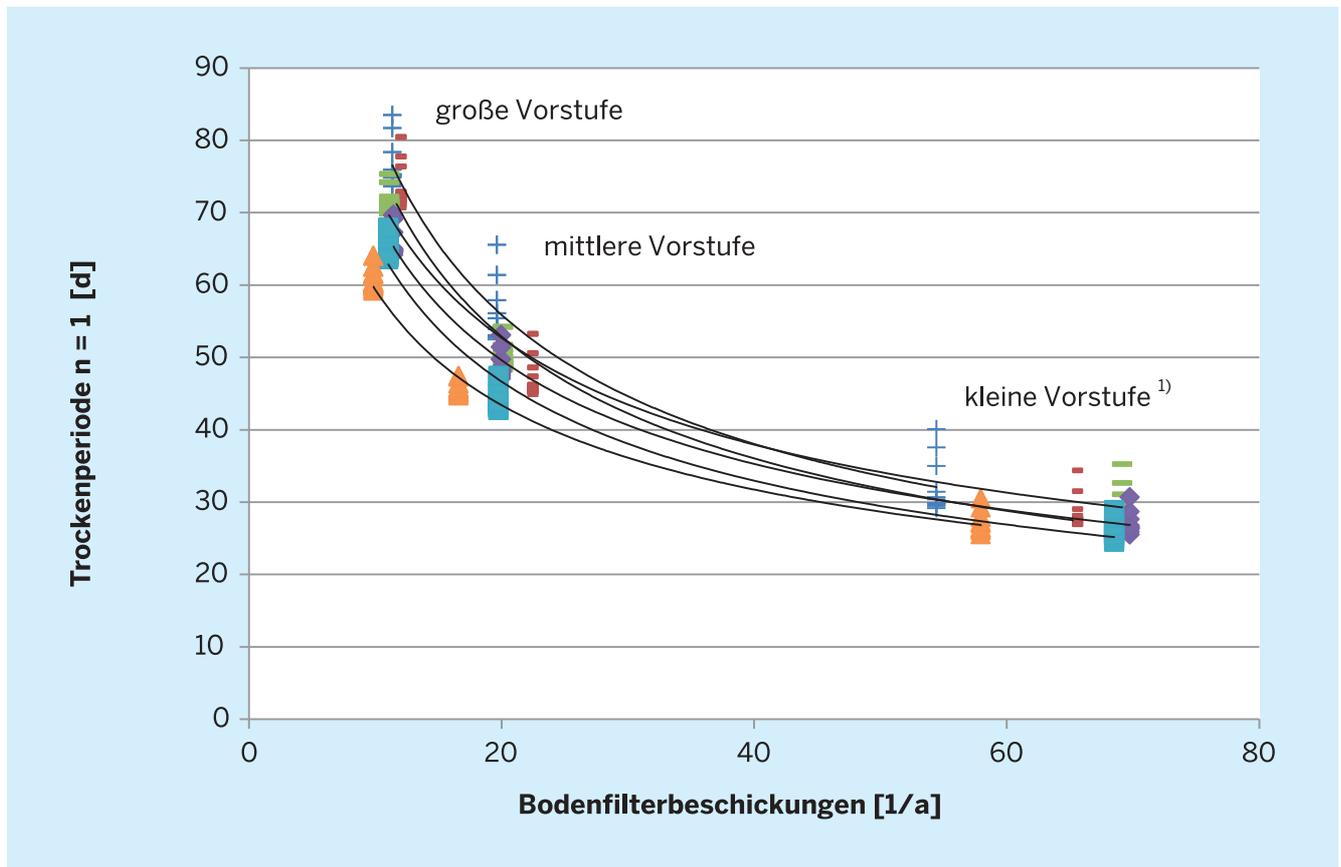


Bild A 2.10 mittlere einjährige Trockenperioden für unterschiedliche Niederschlagsstationen und unterschiedliche Vorstufengrößen



¹⁾ unüblich kleines Volumen, hier nur für Sensitivitätsuntersuchung angesetzt

A 2.3.2 Trennsystem/Straße



Betonarbeiten am RBF Bad Driburg

Im Gegensatz zum Mischsystem werden die Bodenfilter im Trennsystem und für die Straßenentwässerung bei jedem Niederschlagsereignis mit Wasser beschickt. Entsprechend höher sind die Zuflusswassermengen (Bild A 2.11). Die Unterschiede zwischen den einzelnen Niederschlagsstationen sind dabei ungleich größer als zwischen den unterschiedlichen r_{krit} . Bei Vollstrombehandlung werden bei der Niederschlagsstation Frielingsdorf rd. 90.000 m³ und bei der Station Burg Veynau nur knapp 33.000 m³ auf den Bodenfilter aufgebracht.

Bei $r_{krit} = 15 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ werden bei allen Niederschlagsstationen über 90 % des Niederschlagsabflusses dem Bodenfilter zugeleitet und bei $r_{krit} = 7,5 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ sind es immer noch deutlich über 80 % des Jahresabflusses.

Die hohen Zuflusswassermengen spiegeln sich in den hohen Beschickungshöhen wieder (Bild A 2.12).

Bild A 2.11 mittlere jährliche Zuflusssumme zum Bodenfilter in Abhängigkeit der Niederschlagsstation und von r_{krit}

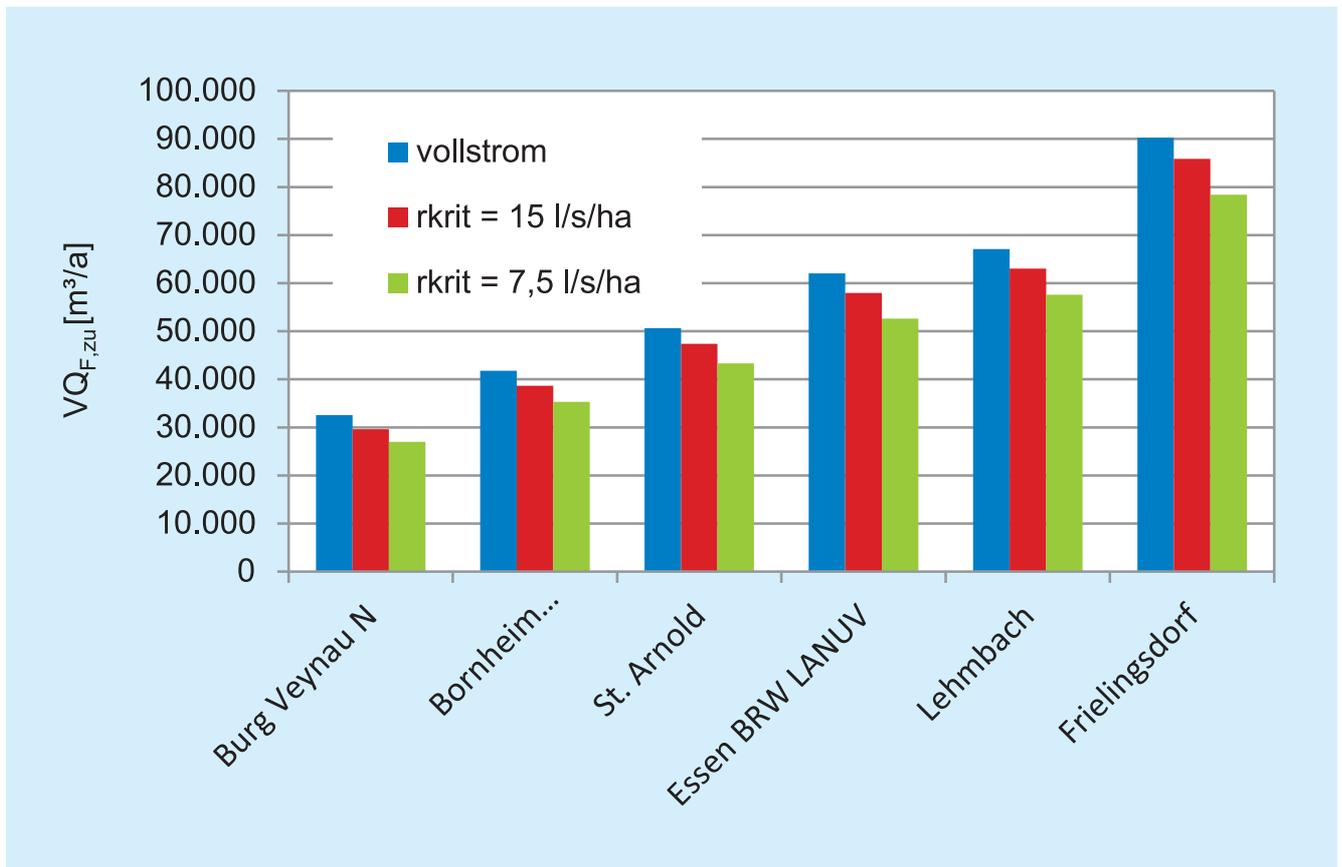
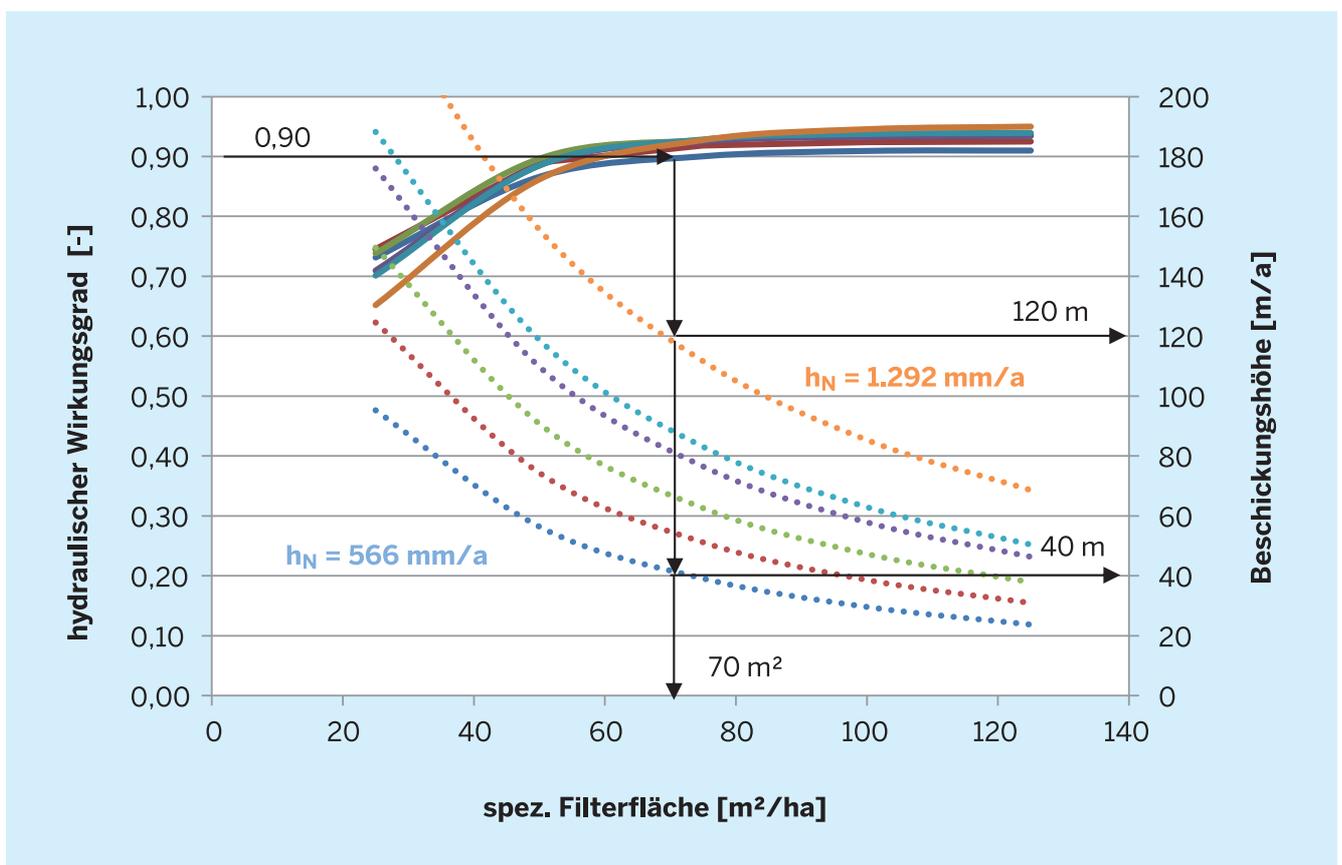


Bild A 2.12 hydraulischer Wirkungsgrad und Beschickungshöhe für RBF im Trennsystem/Straßenentwässerung für unterschiedliche Niederschlagshöhen



Ein hydraulischer Wirkungsgrad von 90 % kann bei allen Niederschlagsstationen mit einer Filterfläche von 70 m²/ha erreicht werden. Die Abhängigkeit des hydraulischen Wirkungsgrades von der spezifischen Filterfläche ist bei allen Niederschlagsstationen sehr ähnlich. Bei der Niederschlagsstation mit der Jahresniederschlagshöhe von 1.292 mm/a würde sich bei einer Filterfläche von 70 m²/ha dann eine Beschickungshöhe von 120 m/a ergeben während bei der Niederschlagsstation mit 566 mm/a lediglich 40 m/a als Beschickungshöhe errechnet werden. Nach Kapitel 3.3.3 ist jedoch bei Niederschlagsstationen mit einer Jahresniederschlagshöhe von > 1.000 mm/a die Filterfläche mit mindestens 100 m²/ha zu wählen, um die Beschickungshöhe zu begrenzen.

Die AFS_{fein}-Filterflächenbelastung ist dabei bei allen Niederschlagsstationen nahezu identisch, da von allen Flächen das gleiche AFS-Potential abgetragen wird. In dem Beispiel in Bild A 2.13 für ein AFS_{fein}-Frachtpotential von 530 kg/(ha·a) muss die Filterfläche bei allen Niederschlagsstationen mindestens 70 m²/ha betragen, damit der Grenzwert von 7 kg m²/(m²·a) AFS_{fein} unterschritten wird.

Für unterschiedliche AFS_{fein}-Frachtpotentiale ist in Bild A 2.14 die AFS_{fein}-Filterflächenbelastung dargestellt. Im Vergleich zum Mischsystem (Bild A 2.7) stellt hier die Begrenzung der Filterflächenbelastung auf 7 kg m²/(m²·a) ein maßgebliches Kriterium für die Bodenfiltergröße dar. Bei einem hohen AFS_{fein}-Frachtpotential von 760 kg/ha ist z. B. eine Mindestfilterfläche von 102 m²/ha erforderlich.

Die Abhängigkeit der Entlastungshäufigkeit des Bodenfilters von der spezifischen Filterfläche ist in Bild A 2.15 dargestellt. Es ergeben sich hier sehr ähnliche Zusammenhänge wie beim Mischsystem (Bild A 2.8). Für eine zulässige Entlastungshäufigkeit von $n = 2 \text{ l/a}$ sind hier je nach Niederschlagsstation Filterflächen zwischen 56 und 87 m²/ha erforderlich. Trotz der geringeren Beschickungswassermenge waren beim Mischsystem größere Filterflächen notwendig, da die spezifische Drosselabflussspende im Mischsystem mit 0,03 l/(s·m²) angesetzt wurde.

Bild A 2.13 hydraulischer Wirkungsgrad und AFS_{fein}-Filterflächenbelastung für RBF im Trennsystem für unterschiedliche Niederschlagsstationen

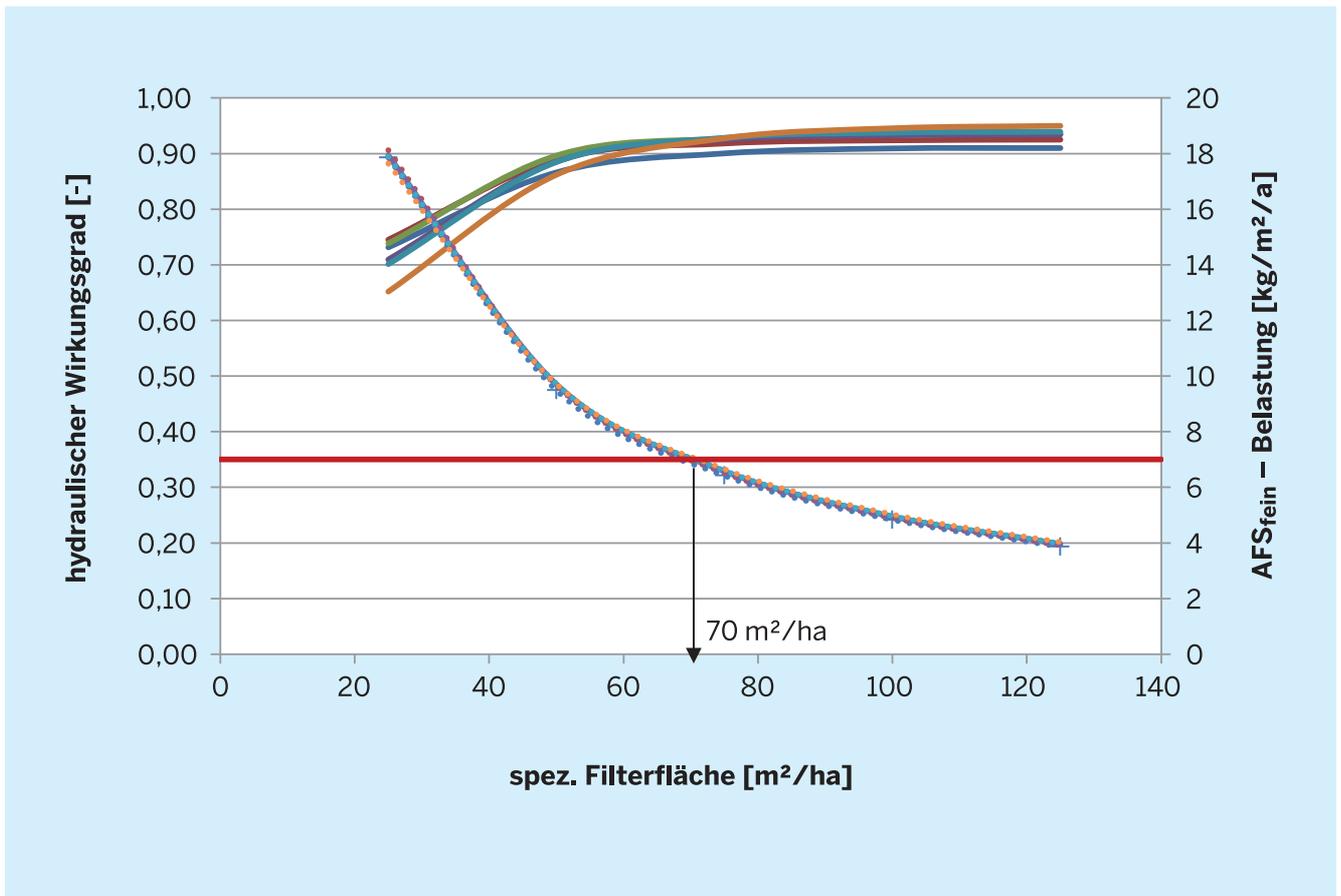


Bild A 2.14 AFS_{fein}-Filterbelastung in Abhängigkeit des AFS_{fein}-Frachtpotentials, Trennsystem

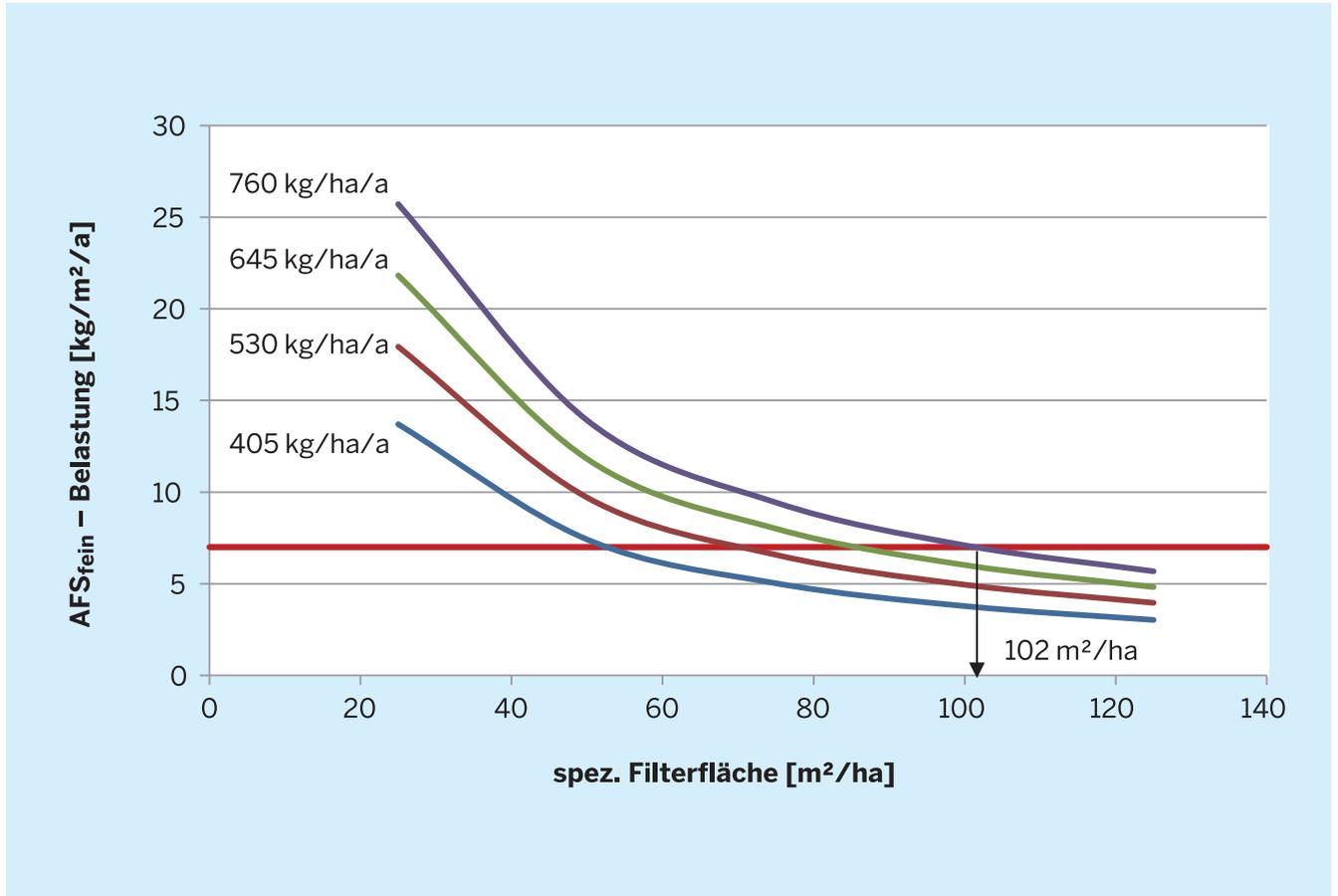
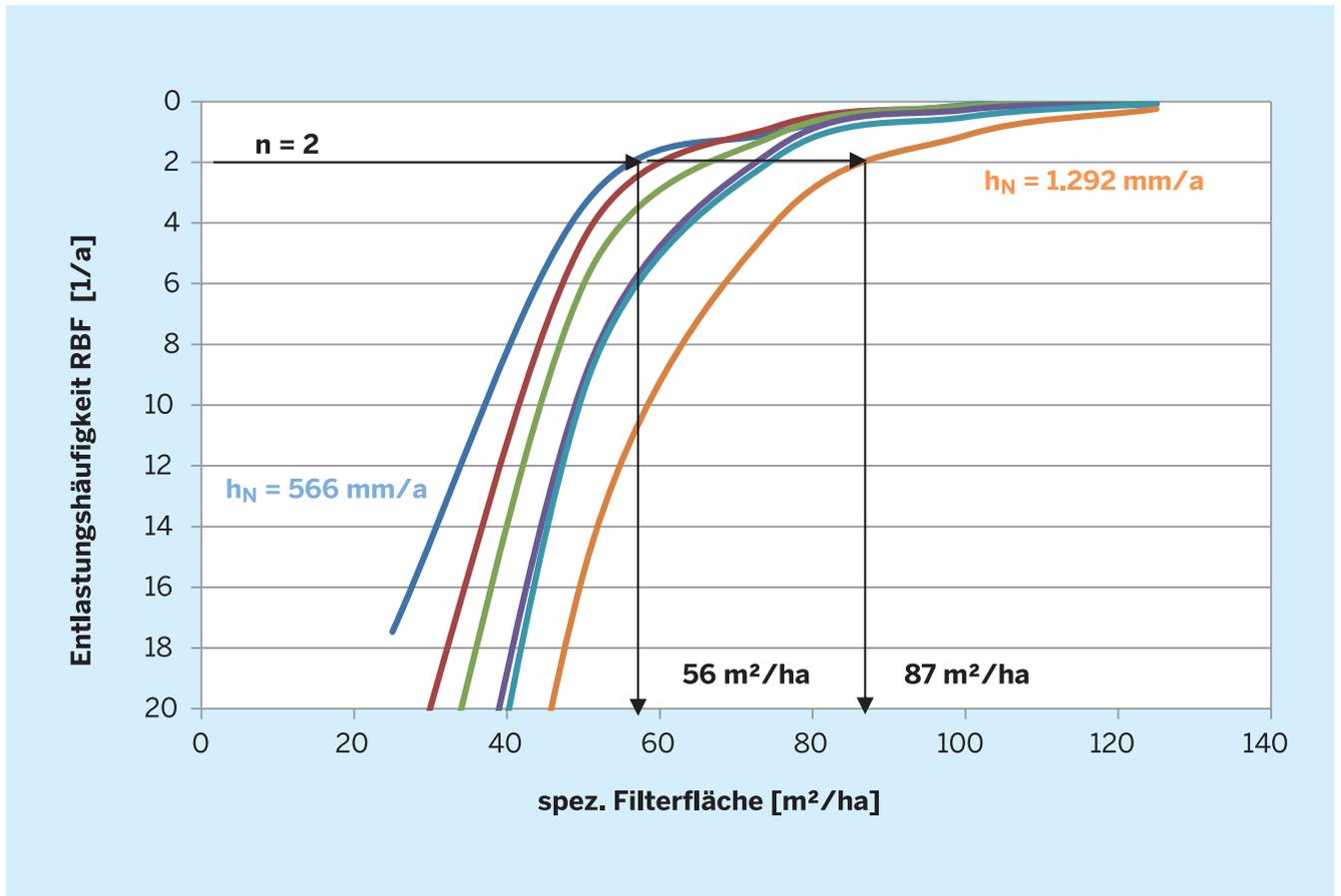


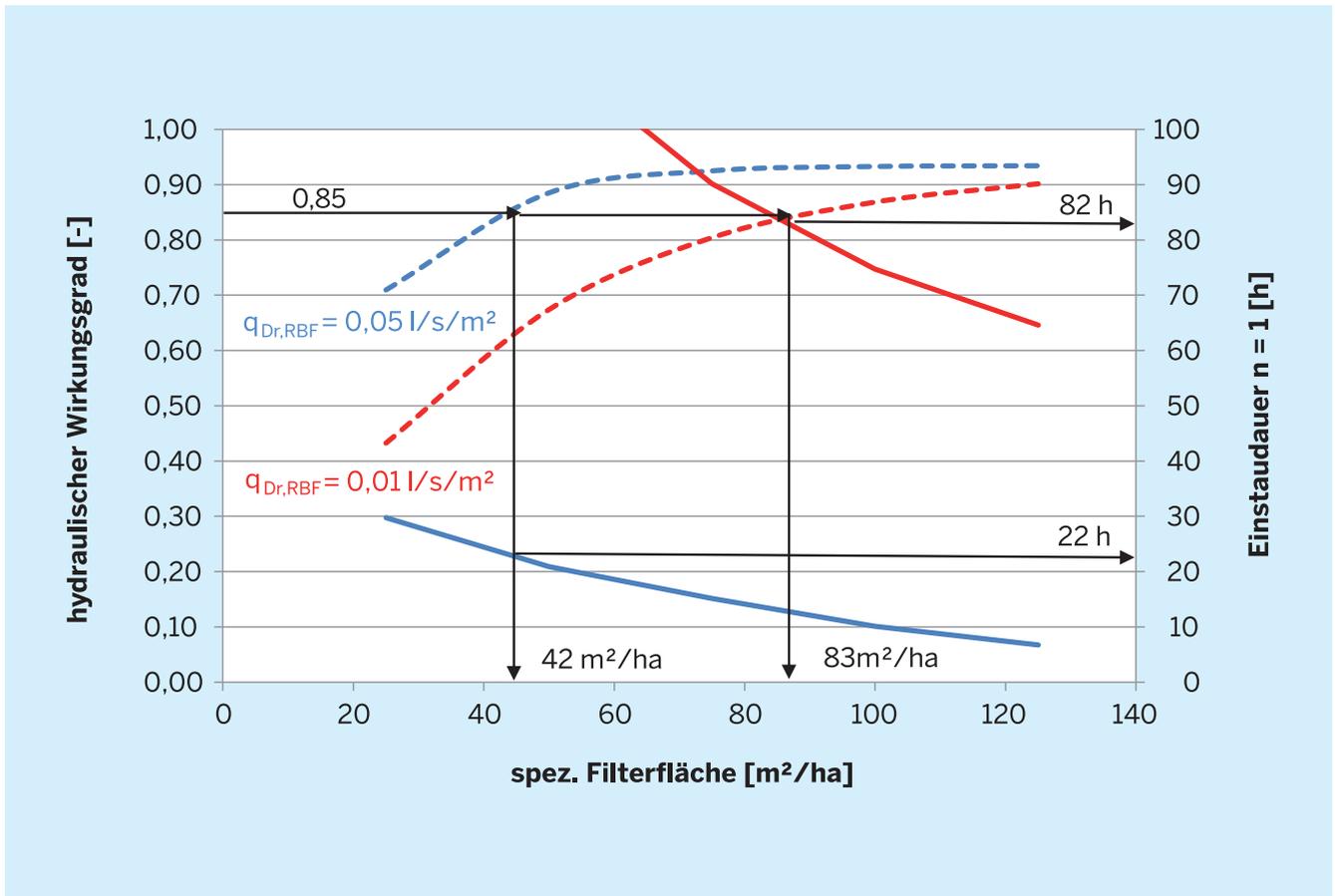
Bild A 2.15 Entlastungshäufigkeit des RBF für unterschiedliche Niederschlagsstationen, Trennsystem



Der maßgebliche Einfluss der Drosselabflussspende auf die Dimension der Filterfläche wird auch in Bild A 2.16 am Beispiel der Niederschlagsstation Essen deutlich. Bei einer Drosselabflussspende von $0,05 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ist für einen hydraulischen Wirkungsgrad von 85 % eine spezifische Filterfläche von $42 \text{ m}^2/\text{ha}$ nötig, während diese bei $0,01 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ mit $83 \text{ m}^2/\text{ha}$ fast doppelt so groß sein muss. Gleichzeitig ist die einjährige Einstaudauer bei der geringen Drosselabflussspende wesentlich größer als bei

$q_{\text{Dr,RBF}} = 0,05 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$. Aufgrund der Begrenzung der einjährigen Einstaudauer von 48 h müsste die Filterfläche hier deutlich vergrößert werden. Aber auch bei der hohen Drosselabflussspende reicht die Filterfläche nicht aus, da bereits bei einem AFS_{fein} -Frachtpotential von $530 \text{ kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ die Filterfläche mindestens $70 \text{ m}^2/\text{ha}$ groß sein muss, um die Filterflächenbelastung von $7 \text{ kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ einzuhalten (vgl. Bild A 2.14).

Bild A 2.16 hydraulischer Wirkungsgrad und Einstaudauer ($n=1$) in Abhängigkeit unterschiedlicher spezifischer Drosselleistung, Trennsystem





Literatur

ATV (1992) Abwassertechnische Vereinigung e.V.: Arbeitsblatt A 128, Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen

BBodSchV (1999): Bundesbodenschutz und Altlastenverordnung. BGBl.I 1999

Bofitec (2001): Bodenfilteranlagen in Nordrhein Westfalen – Stand der Technik, Abschlussbericht einer Untersuchung im Auftrag des MUNLV NRW, Az. IV B6-042340, Projektleitung Prof. Dr.-Ing. M. Uhl, FH Münster 2001

Brombach, H.J.; Fuchs, S. (2002): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trocken und Regenwetterabflüssen in Misch- und Trennkanalesationen, Abschlussbericht Langfassung, ATV-DVWK Förderprojekt 1-01

BWK (2001): BWK-Merkblatt 3. Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e. V., Düsseldorf

Christoffels, E.; Mertens, F. M.; Kistemann, T.; Schreiber, C.; (2014): Retention of pharmaceutical residues and microorganisms at the Altendorf retention soil filter, Water Science & Technology (70.9) 2014 p. 1503 - 1509

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), 2011: Zulassungsgrundsätze für "Niederschlagswasserbehandlungsanlagen", Stand Februar 2011

DWA (2011): DWA-M 181 Messung von Wasserstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

DWA (2013): DWA-M 176 Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung . Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

DWA (2015): Arbeitsblatt DWA - A 102 Einleitung niederschlagsbedingter Siedlungsabflüsse ("Regenwetterabflüsse") in (Oberflächen-)Gewässer. Entwurf Juli 2015, nicht veröffentlicht

EG-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl. EG Nr. L 327/1, 22.12.2000

Eyckmanns-Wolters, R.; Fuchs, S.; Maus, Ch.; Sommer, M.; Voßwinkel, N.; Mohn, R.; Uhl, M.; Schmitt, Th.; Berger, Ch. (2013): Reduktion des Feststoffeintrages durch Niederschlagswassereinleitungen, Phase 1 Projektbericht, im Auftrag des MKULNV

Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen FGSV (2002): Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten RiStWag

Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen FGSV (2007): Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau TL Gestein-StB 04

Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen FGSV (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen Teil: Entwässerung RAS-Ew

Fuchs, S.; Lambert, B; Grotehusmann, D. (2010): Neue Aspekte in der Behandlung von Siedlungsabflüssen, Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, Nr. 6, 2010

Fuchs, S., Scherer, U., Wander, R., Behrendt, H., Venohr, M., Opitz, D., Hillenbrandt, T., Marscheider-Weidemann, F. & Götz, T. (2009): Modell-basierte Quantifizierung und Internet-basierte Visualisierung der Stoffeinträge in die Fließgewässer Deutschlands. Nährstoffe, Schwermetalle und weitere prioritäre Stoffe. Abschlussbericht zum UBA-Vorhaben FKZ 204 24 218

Fuchs, S; Grotehusmann, D.; Kasting, U.; Lambert, B. (2008): Gutachten über die Anwendung semizentraler Verfahren zur Behandlung von Regenwasser aus Siedlungsgebieten (Trennsystem) unter besonderer Berücksichtigung des Phosphor-Rückhalts, Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz Land Brandenburg.



Literatur

- IWW (2010): Bewertung der Leistungsfähigkeit von vier Retentionsbodenfiltern hinsichtlich der Rückhaltung hygienisch relevanter Mikroorganismen, Abschlussbericht
- Lambert, B.; Grotehusmann, D.; Fuchs, S. (2005): Sandfanganlagen Berlin, Schlussbericht, Auftraggeber Berliner Wasserbetriebe, unveröffentlicht
- Länderarbeitsgemeinschaft Abfall LAGA (2003): Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft LAGA 20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen Technische Regeln
- Ministerium für Bauen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (MBV); Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) (2010): MinGem. RdErl. III.1 – 30-05/123/124 vom 31.03.2010: Entwässerungstechnische Maßnahmen an Bundesfern- und Landstraßen Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren
- Grotehusmann, D.; Lambert, B.; Rüter, J.; Fuchs, S.; Uhl, M.; Leutnant, D. (2015): Betriebsoptimierung von Retentionsbodenfiltern im Misch- und Trennsystem, Schwerpunkt Sediment und Filtratuntersuchung, Projektbericht (in Bearbeitung), im Auftrag des MKULNV
- MKULNV, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2013): Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen- Selbstüberwachungsverordnung Abwasser – SÜwVO Abw vom 17. Oktober 2013
- MKULNV, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2011): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen 15. Auflage
- MUNLV; Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2004): RdErl. IV-9 031 001 2104 vom 26.05.2004: Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren
- MUNLV, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2006): Leitfaden zur wasserwirtschaftlich-ökologischen Sanierung von Salmonidenlaichgewässern in NRW, Oktober 2006
- MURL, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein Westfalen (1998): RdErl. IV B 5 - 673/2-29010 / IV B 6 - 031 002 0901 vom 18. Mai 1998: Niederschlagswasserbeseitigung gemäß § 51a des Landeswassergesetzes
- MURL, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein Westfalen (1995): RdErl. IVB6-031 001 2102/IVB5-673/4/2-vom 3.1.1995: Anforderungen an die öffentliche Niederschlagsentwässerung im Mischverfahren
- MURL, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein Westfalen (1995): RdErl. IV B 6 - 031 002 0201 vom 3.1.1995: Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen
- Pinnekamp, J.; Tondera, K.; Koenen, S.; Stappert, U.; Dahmen, H.; Baxpehler, H.; Kiesewski, R. (2013): Betriebsoptimierung von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des MKULNV
- WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz). BGBl. I S. 2585

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Einheit	Erläuterung
A_F	m^2	Bodenfilteroberfläche
$A_{E,b,a}$		befestigte angeschlossene Fläche des kanalisierten Einzugebietes
$B_{AFS,F,zu}$	kg/a	(mittlere) jährliche AFS _{fein} -Zulaufmenge zum Bodenfilter
b_{spez_F}	kg/(m ² ·a)	AFS _{fein} Filterflächenbelastung
$c_{R,AFSfein}$	mg/l	mittlere Konzentration feinstpartikulärer Feststoffe (AFS _{fein}) im Niederschlagsabfluss
h_F	m/a	Beschickungshöhe (jährliche hydraulische Filterbelastung)
$h_{N,a}$	mm/a	mittlerer Jahresniederschlag
h_{RBF}	m	nutzbare Tiefe des Retentionsraumes
$n_{B,RBF}$	1/a	(mittlere) jährliche Beschickungshäufigkeit des Filterbeckens
n_{RBF}	1/a	(mittlere) jährliche Entlastungshäufigkeit des Retentionsbodenfilters
$n_{RÜB}$	1/a	mittlere jährliche Entlastungshäufigkeit des RÜB
η_F	-	Rechenwert des Wirkungsgrades für den Dränablauf des Bodenfilters
$\eta_{Fü}$	-	Rechenwert des Wirkungsgrades für den Filterüberlauf des Bodenfilters
η_V		Rechenwert des Wirkungsgrades für die Vorstufe (reine Sedimentation)
$\eta_{RÜB}$	-	Rechenwert des Wirkungsgrades für den Klärüberlauf des RÜB
$q_{Dr,RBF}$	l/(s·m ²)	rechnerische Drosselabflussspende des Retentionsbodenfilters
$Q_{Dr,RBF}$	l/s	Drosselabfluss
$t_{E,n=1}$	h	Mittlere 1-jährliche Einstaudauer des Retentionsraumes
$VQ_{Dr,RRA}$	m ³ /a	(mittleres) jährliches durch die Drossel einer integrierten Rückhalteanlage abgeleitete Wasservolumen
VQ_F	m ³ /a	(mittleres) hydraulisches Filterdurchsatzvolumen (entspricht dem Volumen des Ablaufs der Drosseleinrichtung)
$VQ_{Fü}$	m ³ /a	(mittleres) jährliches Entlastungsvolumen am Filterbeckenüberlauf
$VQ_{F,zu}$	m ³ /a	(mittlere) jährliche Zuflusssumme zum Bodenfilter
VQR	m ³ /a	(mittlere) jährliche Niederschlagsabflusssumme
V_{RBF}	m ³	Volumen des Retentionsraumes

Fachbegriffe

Begriff	Abkürzungen	Definition
Beckenüberlauf	BÜ	vor einem Regenüberlaufbecken, Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung oder Regenklärbecken angeordneter Überlauf, der nach Füllung des Beckens anspringt
Durchlaufbecken	DB	Becken mit Sedimentationskammer sowie Klärüberlauf und ggf. Beckenüberlauf, das mechanisch geklärte Mischwasser (Regenüberlaufbecken) bzw. mechanisch geklärtes Regenwasser (Regenklärbecken) entlastet
Filterbeckenüberlauf	FÜ	Entlastungsbauwerk eines Retentionsbodenfilterbeckens
Retentionsbodenfilterbecken	RBF	Bauwerk zur Retention und Filtration von Misch- oder Regenwasser mit einem über dem Filterkörper liegenden Retentionsraum
Retentionsbodenfilteranlage	RBFA	Anlage zur Vorbehandlung, Retention und Filtration von Regen- und Mischwasser, bestehend aus einer Vorstufe und einem Retentionsfilterbecken
Regenklärbecken	RKB	Regenbecken im Regenwasserkanal eines Trennsystems, das aus dem Regenwasser sedimentierbare Stoffe (Schlamm) und Schwimmstoffe (Fette, Öle) abtrennt
Regenklärbecken mit Dauerstau	RKBmD	Regenklärbecken, das ständig mit Wasser gefüllt ist und in größeren Zeitabständen entschlammt wird
Regenklärbecken ohne Dauerstau	RKBuD	Regenklärbecken, das in kurzen, regenereignisabhängigen Zeitabständen zu einer Abwasserbehandlungsanlage entleert und gereinigt wird
Regenüberlauf	RÜ	Entlastungsbauwerk ohne zusätzlichen Speicherraum, das den kritischen Mischwasserabfluss im Kanalnetz weiterleitet
Regenüberlaufbecken	RÜB	Sammelbegriff für Becken mit Entlastungsfunktion sowie Rückhaltung und/ oder Behandlung von Mischwasser
Regenrückhaltelamelle	RRL	über dem Retentionsraum von Retentionsbodenfilterbecken angeordnetes Regenrückhaltebecken
Stauraumkanal mit Entlastung	SK	Abwasserspeicher in langgestreckter Bauform mit planmäßiger Entlastungsfunktion
Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung	SKU	Stauraumkanal mit einem in Fließrichtung unten (am Ablauf) direkt oder nahe vor dem Drosselbauwerk angeordneten Stauraumüberlauf
Trennbauwerk	TB	Überlaufbauwerk eines Regenbeckens zur Abtrennung des Zuflusses zum Drosselbauwerk

Abbildungsverzeichnis

SEITE

Bild 2.1	Filteraufbau eines Retentionsbodenfilters	12
Bild 2.2	Bauwerkskomponenten einer Retentionsbodenfilteranlage mit vorgeschaltetem Filterbeckenüberlauf und Regenüberlaufbecken als Vorstufe	12
Bild 2.3	Regelanordnung eines Retentionsbodenfilters im Mischsystem, Vorstufe: RÜB im Nebenanschluss, RBF mit vorgeschaltetem Filterüberlauf	14
Bild 2.4	Anordnung eines Retentionsbodenfilters im Mischsystem Vorstufe: RÜB im Nebenanschluss, RBF mit nachgeschaltetem Filterüberlauf	14
Bild 2.5	Anordnung eines Retentionsbodenfilters im Trennsystem/ Straßenentwässerung, Vorstufe: Geschiebeschacht, RBF: Durchlaufilterbecken mit nachgeschaltetem Filterüberlauf	15
Bild 2.6	Anordnung eines Retentionsbodenfilters im Trennsystem/ Straßenentwässerung, Vorstufe: RKBoD, RBF: Durchlaufilterbecken mit nachgeschaltetem Filterüberlauf	15
Bild 2.7	Sonderlösung für Anordnung eines Bodenfilters im Trennsystem, RBF für die biologische Behandlung des Drosselabflusses des RKBoD	16
Bild 2.8	Anordnung eines Retentionsbodenfilters für die Straßenentwässerung, Vorstufe: RKBmD, z. B. RiStWag-Anlage, RBF: Durchlaufilterbecken mit nachgeschaltetem Filterüberlauf	16
Bild 5.1	Grobsteinsetzung als lange Schwelle	31
Bild 5.2	Grobsteinsetzung Detail	31
Bild 5.3	Mittiges zweigeteiltes Zulaufgerinne zur alternierenden Befüllung zweier Filterflächen, im Hintergrund Geschiebeschacht	31
Bild 5.4	Geschiebeschacht als Vorstufe im Trennsystem mit Anschluss an zweigeteiltes Zulaufgerinne	32
Bild 5.5	Filterbeschickung über lange Wehrschwelle unmittelbar im Anschluss an die Vorstufe	33
Bild 5.6	Rechteckbecken als Vorstufe mit integrierter Beschickungsschwelle zum RBF	33
Bild 5.7	Sohlabdichtung von Retentionsbodenfiltern mit Kunststoff-Dichtungsbahn (KDB)	33
Bild 5.8	Verlegevariante eines Dränsystems mit Dränsammler	34
Bild 5.9	Aufbau des Dränsystems	35

Abbildungsverzeichnis

SEITE

Bild 5.10

Wurzeleinwuchs in ein Dränsystem mit Teilsickerrohren
links: Verlegung mit Schlitzen unten zur Vermeidung von Wurzeleinwuchs,
rechts: verdreht eingebaut mit Schlitzen nach oben

36

Bild 5.11

Oberhalb der Dichtung hochgezogene Inspektionsleitungen mit
verschließbaren, belüfteten Kontrollstutzen

36

Bild 5.12

Abschnittsweiser Filteraufbau

37

Bild 5.13

Retentionsraum mit Gabionen

38

Bild 5.14

UV-Bestahlung zur Entkeimung des Filterablaufes an einem Ablaufbauwerk

39

Bild 5.15

Ablaufschacht mit Drosselorgan und MSR-Technik

39

Bild 5.16

einfacher Ablaufschacht mit zwei Drosselstufen, Skizze

40

Bild 5.17

einfacher Ablaufschacht mit zwei Drosselstufen für zwei Filterflächen

40

Bild 5.18

Überlaufwehr im Retentionsraum

41

Bild 5.19

einfacher Ablaufschacht mit zwei Drosselstufen für zwei Filterflächen

41

Bild 5.20

Pflanzen des Schilfs mit einem Pflanzrohr

42

Bild 5.21

üppig entwickelter Schilfbestand bei ausreichender Filterbelastung
(Trennsystem)

42

Bild 5.22

Investitionen (netto) für Retentionsbodenfilter im Trennsystem abhängig
vom Speichervolumen (Stand 4. Quartal 2014, n=18)

44

Bild 5.23

Investitionen (netto) für Retentionsbodenfilter im Trennsystem abhängig
von der Filterfläche (Stand 4. Quartal 2014, n=18)

44

Bild 5.24

Investitionen (netto) für Retentionsbodenfilter im Mischsystem abhängig
vom Speichervolumen (Stand 4. Quartal 2014, n=28)

45

Bild 5.25

Investitionen (netto) für Retentionsbodenfilter im Mischsystem abhängig
von der Filterfläche (Stand 4. Quartal 2014, n=28)

45

Bild 6.1

exemplarische Messdatenauswertung für einen RBF im Trennsystem
mit zwei Filterteilen

52

Bild A 1.1

Amplituden-Kennwerte (9er-Matrix) für die Sauerstoffkonzentration in
Abhängigkeit von Dauer und Frequenz der auftretenden Störungen; als
farbige Linien dargestellt sind die Grenzwerte der EG-Fischgewässerricht-
linie, der AGA (MURL 1991), des BWK-M3 (BWK 2000) und der ATV-AG 2.1.1
(ATV 1993)

60

Abbildungsverzeichnis

SEITE

Bild A 1.2	Amplituden-Kennwerte für die AFS-Konzentration in Abhängigkeit von Dauer und Frequenz der auftretenden Störungen	61
Bild A 2.1	Modellierungsbeispiel RBF im Mischsystem	63
Bild A 2.2	Modellierungsbeispiel RBF im Trennsystem/Straßenentwässerung	63
Bild A 2.3	mittlere jährliche Zuflusssumme zum Bodenfilter in Abhängigkeit der Niederschlagsstation und des RÜB-Volumen	67
Bild A 2.4	AFS _{fein} - und NH ₄ -N-Zulaufkonzentrationen zum RBF in Abhängigkeit der Niederschlagsstation, (AFS _{fein} -Frachtpot. b _{R,a} = 530 kg/ha, mittleres RÜB-Volumen)	68
Bild A 2.5	hydraulischer Wirkungsgrad und Beschickungshöhe für RBF im Mischsystem für unterschiedliche Niederschlagsstationen	69
Bild A 2.6	hydraulischer Wirkungsgrad und AFS _{fein} -Filterflächenbelastung für RBF im Mischsystem für unterschiedliche Niederschlagsstationen	69
Bild A 2.7	AFS _{fein} -Filterbelastung in Abhängigkeit des AFS _{fein} -Frachtpotentials, Mischsystem	70
Bild A 2.8	Entlastungshäufigkeit des RBF für unterschiedliche Niederschlagsstationen, Mischsystem	70
Bild A 2.9	hydraulischer Wirkungsgrad und Einstaudauer (n=1) in Abhängigkeit unterschiedlicher spezifischer Drosselleistung, Mischsystem	71
Bild A 2.10	mittlere einjährige Trockenperioden für unterschiedliche Niederschlagsstationen und unterschiedliche Vorstufengrößen	72
Bild A 2.11	mittlere jährliche Zuflusssumme zum Bodenfilter in Abhängigkeit der Niederschlagsstation und von r _{krit}	73
Bild A 2.12	hydraulischer Wirkungsgrad und Beschickungshöhe für RBF im Trennsystem/Straßenentwässerung für unterschiedliche Niederschlagshöhen	73
Bild A 2.13	hydraulischer Wirkungsgrad und AFS _{fein} -Filterflächenbelastung für RBF im Trennsystem für unterschiedliche Niederschlagsstationen	74
Bild A 2.14	AFS _{fein} -Filterbelastung in Abhängigkeit des AFS _{fein} -Frachtpotentials, Trennsystem	75
Bild A 2.15	Entlastungshäufigkeit des RBF für unterschiedliche Niederschlagsstationen, Trennsystem	75
Bild A 2.16	hydraulischer Wirkungsgrad und Einstaudauer (n=1) in Abhängigkeit unterschiedlicher spezifischer Drosselleistung, Trennsystem	76

Tabellenverzeichnis

SEITE

Tabelle 1.1	Erzielbare Ablaufkonzentrationen (Dränablauf) von Retentionsbodenfiltern	10
Tabelle 2.1	Bauwerkskomponenten von Retentionsbodenfiltern und ihre Funktion	13
Tabelle 3.1	Zielgrößen der Niederschlagswasserbehandlung	19
Tabelle 3.2	Drosselabflussspenden RBF Mischsystem bezogen auf die Filteroberfläche	21
Tabelle 3.3	Wirkungsgrade RBF im Mischsystem	21
Tabelle 3.4	Drosselabflussspenden RBF Trennsystem bezogen auf die Filteroberfläche	22
Tabelle 3.5	Wirkungsgrade RBF im Trennsystem	23
Tabelle 4.1	Grundanforderungen an Filtersubstrate für Bodenfilter	27
Tabelle 5.1	Beispiel für das Zusammenwirken der Regeltechnik bei unterschiedlichen Betriebszuständen des Filters	40
Tabelle 5.2	Abschätzung der Gewerkeanteile an der Bausumme (Basis: BOFITEC 2001)	43
Tabelle 6.1	Maßnahmen zum Betrieb und zur Unterhaltung von Retentionsbodenfiltern	48
Tabelle 6.2	Interpretation sensorischer und optischer Indikatoren aus der Überwachung von Retentionsbodenfiltern	49
Tabelle 6.3	Maßnahmen zur Selbstüberwachung von Retentionsbodenfiltern	50
Tabelle A 1.1	Basis-Kennwerte für die fließende Welle sowie Kennwerte bestehender Richtlinien und Anforderungen von potenziellen Salmonidenlaichgewässern	59
Tabelle A 1.2	Amplituden-Kennwerte für Ammoniak (NH ₃ -N) in Abhängigkeit von Dauer und Frequenz	60
Tabelle A 1.3	Amplituden-Kennwerte für AFS (abfiltrierbare Feststoffe) in Abhängigkeit von Dauer und Frequenz	61
Tabelle A 2.1	zulässige Filterflächenbelastung nach altem und neuem Bemessungsansatz	62
Tabelle A 2.2	unveränderliche Eingangswerte der Simulation	63
Tabelle A 2.3	verwendete Niederschlagsreihen	64
Tabelle A 2.4	Eingangsparameter für die Schutzfrachtberechnung	64
Tabelle A 2.5	variierte Eingangsparameter für die Sensitivitätsuntersuchung	65
Tabelle A 2.6	RÜB-Volumen, mittlere jährliche Beschickungshäufigkeit und mittlere jährliche Zuflusssumme zum Bodenfilter in Abhängigkeit der Niederschlagsstation und des RÜB-Volumens	66

Impressum

Herausgeber

**Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)**
40190 Düsseldorf

www.mkulnv.nrw.de

Inhaltliche Bearbeitung

**Die Bearbeitung erfolgte durch ein Projektteam
bestehend aus:**

Dr.-Ing. Dieter Grotehusmann,
Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH,
Hannover

Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl
Institut für Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU)
Fachhochschule Münster

Dr.-Ing. Stephan Fuchs,
Karlsruher Institut für Technologie,
Universität Karlsruhe

Dipl.-Ing. Benedikt Lambert,
Bioplan Landeskulturgesellschaft,
Sinsheim

Gestaltung

ID-Kommunikation

Agentur für umweltorientierte Kommunikation
S 1, 1
68161 Mannheim
Tel. 0621-102924
Fax 0621-102991
E-Mail: id-kommunikation@t-online.de
www.idkommunikation.de

Fotos

- Wasserverband Eifel-Ruhr: Seite 11, 17, 26, 35, 59
- Erftverband: Seite 8, 29, 30, 46,
- Bezirksregierung Detmold, Region OWL: Seite 18, 47, 53,
54, 63, 70
- Herr Diefenthal, Straßen.NRW: Seite 1, 25, 66, 75
- Dr. Seidel, ÖKON Vegetationstechnik GmbH: Seite 6
- Fotolia Bildagentur: Seite 28, 55, 76
- BIOPLAN, ifs: Seite 17, 24, 31 (3x), 33, 36 (2x), 37, 40, 42 (2x)
- WAG: Seite 39

Herstellung

ColorDruck Solutions GmbH

Gutenbergstr. 4
69181 Leimen-St.Ilgen
www.colordruck.com

Gedruckt auf Papier aus
verantwortungsvoller
Waldwirtschaft



Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Nordrhein-Westfalen herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen sowie für die Wahl des Europäischen Parlaments. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Eine Verwendung dieser Druckschrift durch Parteien oder sie unterstützende Organisationen ausschließlich zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder bleibt hiervon unberührt. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger bzw. der Empfängerin zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen,
Schwannstraße 3,
40476 Düsseldorf

