



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA
Bundesamt für Umwelt BAFU

Dokumentation

Ausgabe 2010 V1.00

Strassenabwasserbehandlungsverfahren: Stand der Technik

ASTRA 88 002

ASTRA OFROU USTRA UVIAS

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
3003 Bern

Bundesamt für Umwelt BAFU
3003 Bern

Das ASTRA und das BAFU sind Ämter des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren/Arbeitsgruppe

Steiner Michele	wst21, Zürich (Vorsitz)
Goosse Patrice	wst21, Zürich
Rutz Felix	ilu AG, Uster
Brodmann René	Holinger AG, Liestal
Pazeller Albert	Agrarökologie Pazeller, Richterswil

Begleitung ASTRA/BAFU

Draslar Stanislav	ASTRA, Fachunterstützung
Fischer Patrick	BAFU, Sektion Oberflächengewässer Qualität
Lehmann Sébastien	BAFU, Sektion Oberflächengewässer Qualität (Vorsitz)
Trocme Marguerite	ASTRA, Standards, Forschung, Sicherheit

Zitervorschlag

Steiner M. 2010: Strassenabwasserbehandlungsverfahren - Stand der Technik. Dokumentation ASTRA 88002, Bern 130 S.

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch oder www.umwelt-schweiz.ch herunter geladen werden.

© ASTRA 2010

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – unter Angabe der Quelle gestattet.

Vorwort

Strassenabwasser, das verschmutzt ist, muss gemäss Gewässerschutzgesetz (GSchG) behandelt werden, bevor es versickert oder in einen Vorfluter eingeleitet werden kann.

Die Behandlung von Strassenabwasser ist eine Herausforderung, denn es gilt zahlreiche Anforderungen möglichst gut zu erfüllen. Dazu zählen eine hohe Reinigungsleistung, ein geringer Flächenbedarf sowie möglichst tiefe Bau-, Unterhalts- und Entsorgungskosten. Zur Erfüllung dieser Kriterien stehen heute zahlreiche Behandlungsmöglichkeiten für Strassenabwasser zur Verfügung. Zudem befinden sich einige Behandlungsverfahren noch im Entwicklungsstadium.

Diese Dokumentation beschreibt den aktuellen Stand der Technik (Anfangs 2009) für die Behandlung von Strassenabwasser. Das Ziel ist es, einen Überblick über die Vielfalt von Behandlungsverfahren zu vermitteln und deren Charakteristika und Spezialitäten sowie ihre Reinigungsleistung aufzuzeigen. Darauf basierend können letztlich Behandlungsanforderungen für die unterschiedlichen Typen von Behandlungsanlagen formuliert werden.

Vieles bewegt sich noch und nicht alle Fragen zu Behandlungsanlagen sind geklärt. In einem Ausblick wird aufgezeigt, welche Entwicklungen bei der Behandlung von Strassenabwasser künftig erwartet werden können.

Dank der zunehmenden Informationsdichte aus bereits gestarteten und sich noch in Planung befindenden Überwachungsprogrammen von Strassenabwasserbehandlungsanlagen (SABA) wird es möglich sein, die noch vorhandenen Wissenslücken immer besser zu schliessen. Für die nächsten Jahre werden die Entwicklung und der Bau von Platz sparenden, leistungsstarken und kostengünstigen SABA somit eine Herausforderung bleiben. In Zukunft wird die Technik, nebst der Reinigungsleistung und den Kosten, immer mehr auf ihrer Nachhaltigkeit und Robustheit bewertet.

Bundesamt für Strassen

Marguerite Trocmé Maillard
Fachverantwortliche Umwelttechnik

Bundesamt für Umwelt

Stephan Müller
Chef der Abteilung Wasser

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
	Vorwort	3
	Zusammenfassung	7
	Résumé	10
	Riassunto	13
	Summary	16
1	Ausgangslage	19
2	Projektziel, Vorgehen und Berichtstruktur	20
3	Systemabgrenzung	22
4	Ergebnisse	23
4.1	Stoffe zur Leistungsbeurteilung von Behandlungsverfahren.....	23
4.2	Kriterien zur Charakterisierung von Behandlungsverfahren.....	24
4.3	Charakterisierung von Behandlungsverfahren.....	25
4.4	Kriterien zur Leistungsbeurteilung von Behandlungsverfahren.....	27
4.4.1	Übersicht.....	27
4.4.2	Festlegung der Leistungsklassen.....	28
4.5	Leistungsbeurteilung.....	29
4.5.1	Hydraulische Leistung, spezifischer Flächenbedarf.....	29
4.5.2	GUS-Entfernung.....	31
4.5.3	Entfernung von Kupfer und Zink.....	31
4.5.4	Entfernung von DOC und PAK.....	32
4.5.5	Bauwerkshöhe, Druckhöhe.....	33
4.5.6	Unterhalt und Entsorgung.....	33
4.5.7	Baukosten.....	34
4.6	Behandlungsanforderungen für Verfahren.....	35
4.6.1	Übersicht.....	35
4.6.2	Bankette.....	35
4.6.3	Bewachsene Filter.....	36
4.6.4	Sandfilter mit einer Adsorbierschicht.....	36
4.6.5	Adsorber.....	36
4.6.6	Splitt-Kiesfilter.....	36
4.6.7	Polstofffilter und Mikrosiebe.....	37
4.6.8	Absetzbecken und Lamellenabscheider.....	37
4.7	Behandlungskategorien für Verfahren.....	37
4.8	Vergleich der Leistungsklassen mit Vorgaben.....	38
4.8.1	Übersicht.....	38
4.8.2	GUS.....	38
4.8.3	Cu, Zn und DOC.....	39
4.8.4	Interpretation.....	39
5	Bestimmung der Leistungsfähigkeit von SABA	41
5.1	Leistungsprüfung von SABA (Typenprüfung).....	41
5.2	Leistungsüberwachung von SABA.....	42
5.2.1	Übersicht.....	42
5.2.2	Retentionsfilterbecken.....	42
5.2.3	Hydraulisch hoch belastete Adsorber.....	44
5.2.4	Polstofffilter, Mikrosiebe.....	44
5.2.5	Modulare SABA.....	44
5.2.6	Absetzbecken, Lamellenabscheider.....	44
6	Folgerungen	45

7	Empfehlungen	47
7.1	Komplettierung der Datengrundlage	47
7.1.1	Leistungsprüfungen von SABA-Typen.....	47
7.1.2	Forschungsbedarf bei neuartigen Verfahren	49
7.1.3	Ergänzung der Datenerhebung bei bestehenden SABA	49
7.1.4	Systematische Analyse der Trübungsdaten	50
7.1.5	Kostenberechnungen für unterschiedliche SABA-Typen.....	50
7.2	Retention und Behandlung in ARA	50
7.2.1	ARA als Behandlung (inkl. Mischwasser und Kosten).....	50
7.2.2	Retentionsvolumen und Entlastungsmengen	50
7.3	Schlammmentsorgung, Wertstoffrückgewinnung	51
7.4	Auswirkungen auf die Gewässer.....	51
7.5	Projektierungshilfe für SABA.....	51
	Anhänge	53
	Glossar	127
	Literaturverzeichnis	128
	Auflistung der Änderungen.....	130

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Leistungsfähigkeit der heute zur Verfügung stehenden Behandlungsanlagen für Strassenabwasser (SABA), stellt Leistungsanforderungen für die unterschiedlichen SABA-Typen auf und leitet daraus Kategorien für die Behandlung von Strassenabwasser ab. Ergänzend wird das Vorgehen zur Leistungsprüfung von verfahrenstechnisch neuartigen SABA-Typen sowie zur Leistungsüberwachung von bereits bekannten SABA-Typen aufgezeigt.

Die Kriterien zur Leistungsbeurteilung sind die absoluten Werte der Ablaufkonzentrationen und Wirkungsgrade der gesamten ungelösten Stoffe (GUS), der beiden Indikator-Schwermetalle Kupfer und Zink, sowie des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC). Die hydraulische Leistung wird mit Hilfe des spezifischen Durchflusses pro Quadratmeter Behandlungsfläche und pro Zeit bewertet. Ebenfalls bewertet werden die Bauwerkshöhe, die benötigte Druckhöhe und soweit möglich die Bau-, Unterhalts- und Entsorgungskosten.

Zum Vergleich der Kriterien wird eine Klassifizierung von 1-5 eingeführt. Dabei ist 5 die beste und 1 die schlechteste Wertung. Die Bewertung ist somit technologiebasiert. Die Skalierung der Kriterien für hydraulische Leistung und Schadstoffrückhalt ist in folgender Tabelle beschrieben.

Klassifizierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit sowie der Schadstoffentfernung (5 = beste Bewertung, 1 = schlechteste Bewertung). ¹⁾Gesamte Gehalte ²⁾PAK-Einzelsubstanzen.

Leistungs- klasse	Hydrauli- sche Leis- tung q _w , q _v [l/m ² /min]	Spez. Flä- chenbe- lastung [m ² /m ²]	Konzentrationen					Wirkungsgrad		
			GUS	Cu ¹⁾	Zn ¹⁾	PAK ²⁾	DOC	GUS	Cu ¹⁾	Zn ¹⁾
			[mg/l]	[ug/l]	[ug/l]	[ug/l]	[mg/l]	[%]	[%]	[%]
5	> 8	>400	<10	<5	<10	<0.1	<4	>90	>90	>90
4	4	200	20	10	20	0.2	6	80	80	80
3	2	100	30	15	30	0.3	8	70	70	70
2	1	50	40	20	40	0.4	10	60	60	60
1	<1	< 50	>40	>20	>40	>0.4	>10	<60	<60	<60

Aufgrund der Leistungsfähigkeit der SABA-Typen werden folgende Behandlungskategorien A-E vorgeschlagen. Die Kategorien A-E unterscheiden sich hauptsächlich darin, ob nur GUS oder auch Schwermetalle und DOC aus dem Strassenabwasser entfernt werden.

Kategorien für die Behandlung von Strassenabwasser (siehe Abb.4.17).

Kategorie	GUS	Kupfer	Zink	DOC	Verfahren
A	5	4-5	4-5	4-5	Bankette, Mulden-Rigolen, bepflanzte Filter, Sandfilter+Adsorber, Adsorber
B	4-5	3-4	3-4	3-4	Splitt-Kiesfilter
C	3-4	1	1	1	Polstofffilter, Mikrosieb
D	1-2	1	1	1	Lamellenabscheider
E	1	1	1	1	Absetzbecken

Kategorie A: Bepflanzte Retentionsfilter, Bankette und Sandfilter ergänzt mit einer Adsorbenschicht sowie der hydraulisch hoch belastbare Adsorber weisen bei den Ablaufkonzentrationen die beste Leistung auf. Während bei GUS 10 mg/l in der Regel unterschritten werden (Klasse 5), wird von bepflanzten Retentionsfiltern und vom Bankett bei Kupfer und Zink die Klasse 4-5 erreicht. Die Sandschicht mit Adsorber erzielt bei Zink Klasse 5 und verpasst Klasse 5 bei Kupfer knapp. Verfahren der Kategorie A erzielen auch den höchsten DOC-Rückhalt.

Kategorie B: Der hydraulisch hoch belastbare Splitt-Kiesfilter erzielt aufgrund der derzeitigen Datenlage bei GUS die Klasse 5, bei Kupfer und Zink die Klassen 3-4. Die weitergehende Leistungsprüfung bei diesem SABA-Typ wird die Datengrundlage verbreitern. Der Splitt-Kiesfilter schneidet beim Schwermetallrückhalt somit 1-2 Klassen schlechter ab als die besten Anlagen.

Kategorie C: Polstofffilter und Mikrosiebe erzielen bei GUS Ablaufkonzentrationen, die der Klasse 3-4 und sind für GUS somit weniger wirksam als bepflanzte Filter, Sandschichten mit Adsorber oder als der Splitt-Kiesfilter. Bei Kupfer und Zink erzielen Polstofffilter und Mikrosiebe nur Klasse 1, was auf den hohen feinpartikulären und gelösten Anteil von Kupfer und Zink im Strassenabwasser zurückzuführen ist. DOC-Rückhalt ist bei diesen beiden Systemen verfahrensbedingt nicht zu erwarten.

Kategorie D/E: Der Lamellenabscheider kann bei GUS Klasse 2 erzielen, bei Kupfer, Zink und DOC Klasse 1. Das Absetzbecken schliesslich erzielt bei allen Parametern Klasse 1. Der Wirkungsgrad des untersuchten Lamellenabscheiders beträgt für GUS 50 %, derjenige des Absetzbeckens liegt zwischen 20 und 30 %.

Optimierung: Hydraulische Leistung und Schadstoffentfernung

Bei bisherigen Verfahren geht eine hohe hydraulische Leistung zu Lasten des Schadstoffrückhalts. Diejenigen SABA mit bester Schadstoffentfernung (Klasse 4-5) und gleichzeitig höchster hydraulischer Leistung sind der mit Schilf bepflanzte Sandfilter sowie der Sandfilter mit Adsorberschicht mit einer hydraulischen Leistung der Klasse 2-3. Diese beiden Typen brauchen weniger Fläche als Bodenfilter mit einer hydraulischen Leistung der Klasse 1-2. Eine bessere hydraulische Leistung der Klasse 3-4, dafür einen geringeren Schwermetallrückhalt (Klasse 3-4) zeigt bisher der Splitt-Kiesfilter. Eine weitere Erhöhung der hydraulischen Leistung (Klasse 5) ermöglichen der Polstofffilter sowie das Mikrosieb. Der Rückhalt von GUS ist mit Klasse 3-4 reduziert, ebenso der Rückhalt von Kupfer, Zink und DOC (Klasse 1). Der Lamellenabscheider schliesslich zeigt bei höchster hydraulischer Leistung einen GUS-Rückhalt von maximal Klasse 2.

Für eine hohe Schadstoffentfernung bei gleichzeitig hoher hydraulischer Leistung (Klasse 4-5) könnten neuartige, mehrstufige technische Verfahrenskombinationen, wie beispielsweise der hydraulisch hoch belastbare Splittfilter mit einem Adsorber zur Nachbehandlung eine Lösung sein. Leistungsprüfungen (Typenprüfungen) können zeigen, ob die gewünschte Schadstoffentfernung erreicht wird und ob der Aufwand für den Unterhalt und den Betrieb verhältnismässig sind.

Einordnung der Leistungsklassen

Der Vergleich der Leistungsklassen mit der Einleitbedingung für kommunales Abwasser zeigt für GUS, dass Kategorie A (<10 mg/l GUS) die Einleitbedingung von 15 oder 20 mg/l unterschreitet. Die GUS-Zusammensetzung im Strassenabwasser unterscheidet sich von geklärtem, kommunalem Abwasser und verursacht damit andere Umweltbelastungen. Damit können die Einleitbedingungen für kommunales Abwasser nicht immer voll auf Strassenabwasser übertragen werden. Die Behandlungsanforderung gemäss Kategorie A kann bei schwachen Vorflutern wegen der geringeren Verdünnung besonders angebracht sein.

Der Vergleich der Leistungsklassen mit den Anforderungen an die Wasserqualität gemäss Gewässerschutzverordnung für Kupfer, Zink und DOC zeigt, dass die Anforderungen von den besten Behandlungsverfahren bei Kupfer eingehalten und bei Zink unterschritten werden [1]. Bei DOC werden die Anforderungen knapp eingehalten. Die Anforderungen gelten im Vorfluter nach weitgehender Durchmischung sowie bei jeder Wasserführung.

Bauwerkshöhe, Druckhöhe

Lamellenabscheider können Bauhöhen von über 4 m aufweisen, im Gegensatz zum Bankett mit weniger als 1 m. Die notwendige Druckhöhe ist am geringsten beim Ölab-scheider und beim Lamellenabscheider, gefolgt vom Polstofffilter und vom Mikrosieb im Bereich von 0.5 m. Damit sind diese Verfahren auch bei geringen Höhendifferenzen zwischen Zu- und Ablauf einsetzbar. Retentionsfilter und auch hydraulisch hoch belastete Adsorber können Einstauhöhen von über 1 m aufweisen.

Baukosten, Unterhalts- und Entsorgungskosten

Die spezifischen Baukosten von SABA bewegen sich zwischen 75'000 – 500'000 CHF pro Hektar Strassenfläche. Die Baukosten sind einerseits SABA-Typ abhängig. Andererseits spielen die Topographie, der Baugrund, die Lage des Grundwasserspiegels, die Grösse der entwässerten Strassenfläche sowie die hydraulische Dimensionierung einer SABA eine wichtige Rolle. Aufgrund fehlender Angaben können noch keine vergleichbaren typenspezifischen Kennzahlen berechnet werden. Fest steht, dass sich das Bankett bezüglich Leistung und Kosten als vorteilhaft erweist¹.

Kostenangaben für den Betrieb und den Unterhalt einer SABA sowie für die Entsorgung von Schlamm oder auch Filterschichten sind lückenhaft und erlauben daher noch keine Beurteilung der unterschiedlichen Verfahren. Der Aufwand für Betrieb und Unterhalt reicht von weniger als 5 bis über 20 Arbeitsstunden/ha/Jahr. Die Entsorgungskosten bewegen sich zwischen 50 bis über 400 CHF/ha/Jahr.

Leistungsprüfungen (Typenprüfungen)

Leistungsprüfungen (Typenprüfungen) werden bei neuartigen SABA-Typen angewendet. Sie haben zum Ziel, die hydraulische Leistungsfähigkeit und die Schadstoffentfernung festzustellen und zu beurteilen sowie Dimensionierungsgrundlagen zu erarbeiten. Das für die Leistungsprüfung notwendige Konzept (zeitlicher Ablauf, Messtechnik, Datenaufbereitung und -Interpretation) ist auf die Verfahrenscharakteristik des zu prüfenden SABA-Typs abzustimmen.

Leistungsüberwachung

Leistungsüberwachungen kontrollieren periodisch die hydraulische Leistungsfähigkeit sowie die Schadstoffentfernung einer SABA. Dank der Erkennung von vermindertem Durchfluss oder erhöhten Ablaufkonzentrationen können der Betrieb und der Unterhalt sowie die Leistungsfähigkeit der SABA optimiert werden. Die wenigen baulich notwendigen Massnahmen zum Einbau der Messtechnik werden am besten bereits bei der Planung einer SABA berücksichtigt. Die Messgeräte müssen nicht permanent auf einer SABA installiert sein, sondern können nach einer Messdauer von 2-3 Monaten ausgebaut und bei einer anderen SABA wieder installiert werden.

Ausblick

Mit diesem Bericht können der Rahmen und die Möglichkeiten für die Behandlung von Strassenabwasser aufgezeigt werden. Die Datenlage und Datenqualität ist jedoch noch nicht bei allen SABA-Typen ausreichend, um eine abschliessende Leistungsbeurteilung vorzunehmen. Dies gilt insbesondere für die Betriebs- und Unterhaltskosten. Zudem ist die Leistungsfähigkeit von neuartigen technischen Verfahrenskombinationen noch nicht bekannt. Es wird deshalb empfohlen, die Datengrundlage bei bestehenden SABA zu verdichten und Leistungsdaten bei neuartigen SABA-Typen zu erheben.

Bei der Behandlung von Strassenabwasser sind immer zahlreiche Faktoren in Betracht zu ziehen und gleichzeitig zu optimieren, denn jede SABA hat ihre eigenen Rahmenbedingungen. Einmal ist die Topographie für den Einsatz von bestimmten Verfahren begrenzend, ein anderes Mal ist es das beschränkte Platzangebot. Die Herausforderung bei der Planung und beim Bau von SABA ist es letztlich, die finanziellen Mittel im Sinn eines effektiven Gewässerschutzes möglichst optimal einzusetzen.

¹ Im Sinne der BAFU-Wegleitung [2] ist das Bankett keine Behandlungsanlage, weil das Wasser nach der Bypasspassage nicht gefasst wird. Eine Alternative ist das Mulden-Rigolen-System.

Résumé

Le présent rapport décrit l'efficacité des divers types d'installations de traitement des eaux de chaussée (*Strassenabwasserbehandlungsanlagen*, SABA) disponibles à ce jour, formule des exigences de performance pour chacun d'entre eux et en établit une classification. Il indique en outre comment tester l'efficacité des nouvelles techniques et comment contrôler la performance des SABA actuelles anciennes.

Les critères utilisés pour évaluer l'efficacité des divers procédés sont les concentrations de matières en suspension (MES, c.-à-d. substances non dissoutes totales selon l'OEaux), de cuivre et de zinc (deux métaux lourds servant d'indicateurs) et de carbone organique dissous (COD) rejetées ainsi que les rendements d'élimination. La capacité hydraulique est appréciée à l'aide du débit spécifique par m² de surface de traitement et par unité de temps. La hauteur des ouvrages, le niveau de pression hydrostatique requise et, dans la mesure du possible, les coûts de construction, d'entretien et d'élimination sont également évalués.

Une classification a été établie pour comparer les critères. Comprenant 5 classes (5 étant la meilleure note, 1 la plus mauvaise), celle-ci permet de baser l'évaluation sur la technologie. Le tableau qui suit présente l'échelle des critères pour la capacité hydraulique et la rétention des polluants.

Classification de la capacité hydraulique et de la rétention des polluants (5 = meilleure note, 1 = note la plus mauvaise).

Classe d'efficacité	Capacité hydraulique	Charge superficielle	Concentrations					Degré d'efficacité		
	q _w , q _v [l/m ² /min]	spécifique [m ² /m ²]	MES [mg/l]	Cu ¹⁾ [ug/l]	Zn ¹⁾ [ug/l]	HAP ²⁾ [ug/l]	COD [mg/l]	MES [%]	Cu ¹⁾ [%]	Zn ¹⁾ [%]
5	> 8	>400	<10	<5	<10	<0.1	<4	>90	>90	>90
4	4	200	20	10	20	0.2	6	80	80	80
3	2	100	30	15	30	0.3	8	70	70	70
2	1	50	40	20	40	0.4	10	60	60	60
1	<1	< 50	>40	>20	>40	>0.4	>10	<60	<60	<60

¹⁾ teneurs totales; ²⁾ hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Il est proposé de répartir les divers types de SABA dans les catégories qui suivent en fonction de leur efficacité. Ils se distinguent principalement par leur capacité ou leur incapacité à éliminer les métaux lourds et le COD en plus des MES.

Catégorie pour le traitement des eaux de chaussée (voir Fig.4.17).

Catégorie	MES	Cu	Zn	COD	Procédé
A	5	4-5	4-5	4-5	Bas-côté, système de cuvettes-rigoles, filtre végétalisé, filtre à sable+lit adsorbant, adsorbant
B	4-5	3-4	3-4	3-4	Filtre à gravier
C	3-4	1	1	1	Filtre avec tissu pelucheux, microtamis
D	1-2	1	1	1	Séparateur à lamelles
E	1	1	1	1	Bassin de décantation

Catégorie A: les procédés les plus efficaces pour faire baisser les concentrations dans les rejets sont les bassins de rétention filtrants végétalisés, les bas-côtés, les filtres à sable munis d'un lit adsorbant et les adsorbants à forte charge hydraulique. En règle générale, ils permettent tous de maintenir les MES en-dessous des 10 mg/l (classe 5). Les bassins de rétention filtrants végétalisés et les bas-côtés s'avèrent cependant un peu moins performants pour le cuivre et le zinc (classe 4-5). Alors que le filtre à sable avec lit adsorbant atteint la classe 5 pour le zinc, il manque de justesse pour le cuivre. Ce sont également les procédés de cette catégorie qui assurent le mieux la rétention du COD.

Catégorie B: selon les données disponibles, le filtre à gravier à forte charge hydraulique est très efficace pour les MES (classe 4-5), mais un peu moins pour le cuivre et le zinc (classe 3-4). Ainsi son efficacité de rétention des métaux lourds est de 1 ou 2 classes inférieure à celle des meilleures installations. Ce procédé étant encore en phase de test, on disposera bientôt de nouvelles données.

Catégorie C: les filtres à tissu pelucheux et les microtamis sont moins efficaces que les filtres végétalisés, les filtres à sable avec lit adsorbant ou les filtres à gravier puisqu'ils permettent seulement d'atteindre la classe 3-4 pour les concentrations de MES rejetées. Ils s'avèrent encore moins performants pour le cuivre et le zinc (classe 1), ce qui est dû à la part élevée en particules fines et dissoutes de ces deux métaux dans les eaux de chaussée. Ces deux systèmes ne sont pas capables de retenir le COD.

Catégorie D/E: le séparateur à lamelles peut atteindre la classe 2 pour les MES, la classe 1 pour le cuivre, le zinc et le COD. Quant au bassin de décantation, il entre dans la classe 1 pour l'ensemble des critères. Le degré d'efficacité du séparateur à lamelles testé est de 50 % pour les MES, alors que celui du bassin de décantation varie entre 20 et 30 %.

Optimisation: capacité hydraulique et élimination des polluants

Avec les techniques utilisées jusqu'à maintenant, plus la capacité hydraulique est élevée et plus la rétention des polluants est limitée. Les types de procédés qui éliminent le mieux les polluants (classe 4-5) tout en ayant une bonne capacité hydraulique (classe 2-3) sont le filtre à sable planté de roseaux et le filtre à sable avec couche adsorbante. Ceux-ci occupent en outre moins de place que les bassins filtrants présentant une capacité hydraulique de classe 1-2. Le filtre à gravier affiche quant à lui une meilleure capacité hydraulique (classe 3-4), mais parvient moins bien à retenir les métaux lourds (classe 3-4). Si le filtre à tissu pelucheux et le microtamis permettent d'augmenter encore la capacité hydraulique (classe 5), ils assurent cependant une moins bonne rétention des MES (classe 3-4), du cuivre, du zinc et du COD (classe 1). Pour terminer, la capacité hydraulique du séparateur à lamelles est excellente, mais la rétention des MES atteint au mieux la classe 2.

Grâce à de nouveaux procédés combinant plusieurs techniques et comprenant plusieurs étapes, il devrait être possible d'améliorer en même temps l'élimination des polluants et la capacité hydraulique (classe 4-5). Des tests d'efficacité (expertise) peuvent indiquer si l'élimination des polluants répond aux attentes et si les coûts d'entretien et d'exploitation sont raisonnables.

Classes d'efficacité

En ce qui concerne les MES, on observe, en comparant les classes d'efficacité aux exigences applicables au déversement des eaux usées communales, que la catégorie A (MES <10 mg/l) permet d'atteindre des concentrations inférieures aux 15 à 20 mg/l prescrits pour les rejets de STEP. Les MES n'ont pas la même composition dans les eaux de chaussée que dans les eaux communales épurées et causent des impacts différents. Ainsi les exigences applicables aux déversements des eaux usées ne peuvent être repris tel quelles pour les eaux de chaussée. L'exigence de traitement selon la catégorie A peut se justifier quand le débit des émissaires est trop faible pour assurer une bonne dilution.

En comparant les classes d'efficacité aux exigences de qualité des eaux prescrites par l'ordonnance sur la protection des eaux pour le cuivre, le zinc et le COD, on observe que les meilleurs procédés de traitement satisfont les exigences fixées pour le cuivre, mais ne retiennent pas suffisamment le zinc [1]. Pour leur part, les concentrations de DOC respectent tout juste les exigences. Ces dernières s'appliquent lorsque les eaux du cours d'eau récepteur et les eaux déversées forment un mélange homogène, quel que soit le débit.

Hauteur des ouvrages, niveau de pression hydrostatique

Les séparateurs à lamelles peuvent mesurer plus de 4 m de haut, les bas-côtés moins de 1 m. Les procédés requérant le niveau de pression hydrostatique la plus faible sont le séparateur d'hydrocarbures et le séparateur à lamelles, suivis par le filtre à tissu pelucheux et par le microtamis (env. 0,5 m). Il est donc aussi possible d'y recourir lorsque la différence de niveau entre l'amenée et l'évacuation des eaux est faible. La hauteur de retenue des bassins de rétention filtrants et des adsorbants à forte charge hydraulique peut dépasser 1 m.

Coûts de construction, d'entretien et d'élimination

Les coûts de construction spécifiques des SABA varient entre 75 000 et 500 000 francs par ha de route. Ils dépendent du type d'installation et de son dimensionnement hydraulique, mais aussi de la topographie, du terrain, du niveau des nappes phréatiques et de la surface de la route drainée. Par manque de données, on ne peut pas encore calculer de chiffres clés permettant de comparer les différents types. Ce qui est sûr, c'est que l'évacuation par les bas-côtés s'avère prometteuse du point de vue du rapport coûts-efficacité².

Comme les informations relatives aux coûts d'exploitation et d'entretien d'une SABA et aux coûts d'élimination des boues ou des couches filtrantes sont lacunaires, il est encore impossible d'évaluer les divers procédés. Le nombre d'heures de travail requis par l'exploitation et l'entretien des installations va de moins de 5 à plus de 20 par ha et par an. Les coûts d'élimination varient entre 50 et 400 francs ou plus par ha et par an.

Tests d'efficacité (expertises)

Les nouveaux types de SABA subissent des tests d'efficacité (expertises) qui ont pour but d'établir et d'évaluer la capacité hydraulique ainsi que l'élimination des polluants et d'élaborer des bases de dimensionnement. Le programme requis par le test d'efficacité (déroulement dans le temps, technique de mesure, traitement et interprétation des données) est défini en fonction des caractéristiques du type de SABA à tester.

Contrôle de l'efficacité

La capacité hydraulique des SABA et leur capacité à éliminer les polluants font l'objet de contrôles réguliers. L'exploitation, l'entretien et l'efficacité des installations peuvent être optimisés grâce à la détection d'une diminution du débit ou d'une augmentation des concentrations de rejet. La planification d'une SABA doit si possible prévoir dès le début les quelques travaux de construction nécessaires à la mise en place du matériel de mesure. L'installation des instruments de mesure n'est pas définitive; ils peuvent être démontés après une période de mesure de 2 ou 3 mois et réinstallés sur une autre SABA.

Perspectives

Ce rapport indique le cadre et les possibilités existantes pour le traitement des eaux de chaussée. L'efficacité de l'ensemble des SABA ne peut cependant pas être évaluée de façon définitive, car les données disponibles ainsi que leur qualité sont encore insuffisantes. Ceci vaut surtout pour les coûts d'exploitation et d'entretien. En outre, on ne sait pas encore si les nouvelles combinaisons de techniques sont efficaces. Il est donc recommandé de densifier la base de données relative aux installations existantes et de recueillir des informations sur la performance des nouveaux types de SABA.

Chaque installation ayant son propre contexte, le traitement des eaux de chaussée doit toujours tenir compte d'une multitude de facteurs et les optimiser. Parfois c'est la topographie qui empêche de recourir à certains procédés, parfois c'est le manque de place. En fin de compte, la planification et la construction de SABA doivent relever le défi suivant: utiliser les moyens financiers de la façon la plus optimale possible pour assurer une protection efficace des eaux.

² Selon les instructions de l'OFEV, le bas-côté n'est pas une installation de traitement, car l'eau n'est pas captée après le passage dans le sol. Le système de cuvettes-rigoles constitue une alternative.

Riassunto

Il presente rapporto descrive il rendimento dei diversi tipi di impianti di trattamento delle acque di scarico stradali (*Strassenabwasserbehandlungsanlage*, SABA) disponibili attualmente, formula i requisiti di rendimento e in base a tali requisiti definisce delle categorie di trattamento delle acque di scarico stradali. Il rapporto illustra inoltre la procedura per valutare il rendimento dei SABA basati su tecniche innovative e monitorare il rendimento delle tecniche collaudate.

I criteri utilizzati per valutare il rendimento delle diverse procedure sono due: da un lato le concentrazioni di solidi sospesi (SS, cioè sostanze totali non disciolte secondo l'OPAc) di rame e zinco (due metalli pesanti che fungono da indicatori) e di carbonio organico disciolto (DOC) riscontrate nelle acque di scarico e dall'altro il rendimento della loro eliminazione. Il rendimento idraulico è valutato in base alla portata specifica per metro quadrato di superficie di trattamento e per unità di tempo. Sono valutati anche l'altezza dell'opera, l'altezza piezometrica necessaria e, nei limiti del possibile, i costi di costruzione, manutenzione e smaltimento.

Per paragonare i criteri è introdotta una classificazione da 1 a 5, dove 5 è il punteggio migliore e 1 quello peggiore. Questo sistema di classificazione consente quindi di basare la valutazione sulla tecnologia. La seguente tabella mostra la scala dei criteri per il rendimento idraulico e la ritenzione degli agenti inquinanti.

Classificazione del rendimento idraulico e dell'eliminazione degli inquinanti (5 = miglior punteggio, 1 = peggior punteggio). ^{1) Tenore totale} ^{2) Singoli PAH}

Classe di rendimento	rendimento idraulico q _w , q _v [l/m ² /min]	Carico superficiale specifico [m ² /m ²]	Concentrazione					Rendimento		
			SS	Cu ¹⁾	Zn ¹⁾	PAH ²⁾	DOC	SS	Cu ¹⁾	Zn ¹⁾
			[mg/l]	[ug/l]	[ug/l]	[ug/l]	[mg/l]	[%]	[%]	[%]
5	> 8	>400	<10	<5	<10	<0.1	<4	>90	>90	>90
4	4	200	20	10	20	0.2	6	80	80	80
3	2	100	30	15	30	0.3	8	70	70	70
2	1	50	40	20	40	0.4	10	60	60	60
1	<1	< 50	>40	>20	>40	>0.4	>10	<60	<60	<60

Si propone di suddividere i diversi tipi di SABA nelle categorie elencate qui di seguito in funzione del loro rendimento. I SABA si distinguono principalmente per la capacità di trattare solo i solidi sospesi o anche i metalli pesanti e il DOC.

Categorie di trattamento delle acque di scarico stradali (vedi Fig.4.17).

Categoria	SS	Rame	Zinco	DOC	Metodo
A	5	4-5	4-5	4-5	Banchina, sistema a canalette e cunette, filtro vegetalizzato, filtro a sabbia+letto adsorbente, adsorbente
B	4-5	3-4	3-4	3-4	Filtro a pietrisco/ghiaia
C	3-4	1	1	1	Filtro a tela (su tessuti «Polstoff»), microsetaccio
D	1-2	1	1	1	Separatore a lamelle
E	1	1	1	1	Bacino di decantazione

Categoria A: i metodi più efficaci per ridurre le concentrazioni nelle acque di scarico sono i filtri a ritenzione vegetalizzati, le banchine e i filtri a sabbia dotati di uno strato adsorbente, come pure gli adsorbenti ad alto carico idraulico. Se per i solidi sospesi di norma non sono mai raggiunti 10 mg/l (classe 5), per il rame e lo zinco i filtri a ritenzione vegetalizzati e le banchine raggiungono le classi 4-5, mentre lo strato di sabbia con adsorbente raggiunge la classe 5 per lo zinco e sfiora la classe 5 per il rame. I metodi della categoria A garantiscono anche la maggior ritenzione del DOC.

Categoria B: in base ai dati disponibili attualmente, il filtro a pietrisco/ghiaia, ad alto carico idraulico, raggiunge la classe 5 per i solidi sospesi e le classi 3-4 per il rame e lo zinco. Ulteriori verifiche del rendimento di questo tipo di SABA consentiranno di ampliare la base di dati. Per quanto riguarda la ritenzione dei metalli pesanti, l'efficacia del filtro a pietrisco/ghiaia è quindi di 1-2 classi inferiore rispetto ai migliori impianti.

Categoria C: per i solidi sospesi, il filtro a tela (su tessuti «Polstoff») e il microsetaccio raggiungono concentrazioni delle classi 3-4 e sono quindi meno efficaci dei filtri vegetalizzati, degli strati di sabbia con adsorbitore o dei filtri a pietrisco/ghiaia. Per il rame e lo zinco, i filtri a tela (su tessuti «Polstoff») e i microsetacci raggiungono solo la classe 1, a causa all'alta percentuale di particelle fini di rame e zinco disciolte nelle acque di scarico stradali. Questi due sistemi non sono in grado di trattenerne il DOC.

Categorie D/E: il separatore a lamelle può raggiungere la classe 2 per i solidi sospesi e la classe 1 per il rame, lo zinco e il DOC. Il bacino di decantazione, infine, rientra nella classe 1 per tutti i parametri. Per i solidi sospesi, il rendimento del separatore a lamelle esaminato è del 50 per cento, contro il 20-30 per cento del bacino di decantazione.

Ottimizzazione: rendimento idraulico ed eliminazione degli inquinanti

Con i metodi impiegati finora, un elevato rendimento idraulico va a scapito della separazione degli inquinanti. I SABA che eliminano meglio gli inquinanti (classi 4-5) e che vantano al contempo il miglior rendimento idraulico (classi 2-3) sono il filtro a sabbia piantato a canne e il filtro a sabbia con strato adsorbente. Questi due sistemi occupano inoltre una superficie minore dei suoli filtranti, il cui rendimento idraulico rientra nelle classi 1-2. Per ora, il filtro a pietrisco/ghiaia registra un rendimento idraulico pari alle classi 3-4, ma una separazione dei metalli pesanti inferiore (classe 3-4). Un ulteriore aumento del rendimento idraulico (classe 5) è possibile con i filtri a tela (su tessuti «Polstoff») e i microsetacci, che tuttavia offrono una separazione ridotta (classi 3-4 per i solidi sospesi e classe 1 per il rame, lo zinco e il DOC). Il separatore a lamelle, infine, vanta il maggior rendimento idraulico ma la sua capacità di trattenerne i solidi sospesi non va oltre la classe 2.

Grazie alla combinazione di procedure tecniche innovative, articolate in più fasi, dovrebbe essere possibile migliorare sia l'eliminazione degli inquinanti che il rendimento idraulico (classi 4-5). Le prove di rendimento (standard) possono indicare se l'eliminazione degli inquinanti risponde alle aspettative e se i costi di manutenzione ed esercizio sono ragionevoli.

Classi di rendimento

Per i solidi sospesi, dal confronto delle classi di rendimento con le condizioni per l'immissione delle acque di scarico comunali nella rete fognaria emerge che la categoria A (SS <10 mg/l) non supera i limiti di 15 o 20 mg/l prescritti. La composizione dei solidi sospesi nelle acque di scarico stradali è tuttavia differente da quella delle acque di scarico comunali depurate e ha quindi un altro impatto ambientale. Di conseguenza, le condizioni per l'immissione delle acque di scarico comunali nella rete fognaria non sono sempre applicabili alle acque di scarico stradali. L'obbligo di trattamento conformemente alla categoria A può essere opportuno in particolare in caso di corpi idrici ricettori con una portata troppo debole per garantire una diluizione sufficiente.

Il confronto delle classi di rendimento con i requisiti di qualità dell'acqua sanciti dall'ordinanza sulla protezione delle acque per il rame, lo zinco e il DOC mostra che i migliori metodi di trattamento rispettano i requisiti per il rame, ma sono insufficienti per lo zinco [1]. Per il DOC, i requisiti sono appena rispettati. I requisiti sono applicabili alla miscela omogenea delle acque del corpo idrico ricettore e per qualsiasi portata.

Altezza dell'opera e altezza piezometrica

L'altezza dei separatori a lamelle può superare i 4 m, a differenza di quella delle banchine, che non supera 1 m. I sistemi che richiedono la minore altezza piezometrica sono il separatore di idrocarburi e il separatore a lamelle, seguiti dal filtro a tela (su tessuti «Polstoff») e dal microsetaccio, attorno a 0,5 m. Questi sistemi possono quindi essere utilizzati anche in caso di limitato dislivello tra l'entrata e l'uscita. I filtri a ritenzione e gli adsorbenti ad alto carico idraulico possono raggiungere altezze piezometriche di oltre 1 m.

Costi di costruzione, manutenzione e smaltimento

I costi di costruzione specifici dei SABA sono compresi tra 75 000 e 500 000 CHF per ettaro di superficie stradale e dipendono da un lato dal tipo di SABA e dall'altro dalla topografia, dal terreno, dal livello della falda, dalla superficie stradale drenata nonché dal dimensionamento idraulico del SABA. In mancanza di dati, non è ancora possibile calcolare degli indicatori specifici paragonabili per i vari tipi di SABA. Quello che è certo è che la banchina è il sistema che vanta il miglior rapporto costi-benefici³.

I dati sui costi di esercizio e di manutenzione dei SABA e quelli relativi allo smaltimento dei fanghi o degli strati filtranti sono lacunosi e non consentono una valutazione dei vari metodi. Per l'esercizio e la manutenzione si va da meno di 5 a più di 20 ore di lavoro per ettaro all'anno. I costi di smaltimento sono compresi tra 50 e più di 400 CHF per ettaro all'anno.

Prove di rendimento (standard)

I nuovi tipi di SABA sono sottoposti a prove di rendimento (standard) volte sia a rilevare e valutare il rendimento idraulico e l'eliminazione degli inquinanti che a elaborare le basi per il dimensionamento. Lo schema delle prove di rendimento (tempistica, tecnica di misurazione, elaborazione e interpretazione dei dati) va adattato alle caratteristiche del tipo di SABA da esaminare.

Controllo del rendimento

Il monitoraggio del rendimento verifica periodicamente sia il rendimento idraulico che l'eliminazione degli inquinanti dei SABA. L'identificazione dei cali della portata o degli aumenti delle concentrazioni permette di ottimizzare l'esercizio, la manutenzione e il rendimento dei SABA. Si raccomanda di tener conto delle poche misure costruttive necessarie a integrare la tecnica di misurazione già in sede di pianificazione del SABA. Gli apparecchi di misurazione non devono essere installati sul SABA in permanenza, ma possono essere smontati dopo 2-3 mesi di misurazione e reinstallati su un altro SABA.

Prospettive

Il presente rapporto descrive le condizioni e le possibilità di trattamento delle acque di scarico stradali. La quantità e la qualità dei dati disponibili non sono tuttavia ancora sufficienti per una valutazione definitiva del rendimento di tutti i tipi di SABA, e in particolare dei costi di esercizio e di manutenzione. Inoltre non è ancora noto il rendimento delle combinazioni innovative di più tecniche. Si raccomanda pertanto di ampliare la base di dati sui SABA esistenti e di rilevare dati sul rendimento dei nuovi tipi di SABA.

Il trattamento delle acque di scarico stradali deve sempre considerare e contemporaneamente ottimizzare numerosi fattori, poiché le condizioni generali variano per ogni SABA. Talvolta è la topografia a limitare l'impiego di determinati sistemi, altre volte è lo spazio esiguo. La vera e propria sfida nell'ambito della progettazione e della costruzione di SABA consiste nell'ottimizzare l'impiego delle risorse finanziarie per garantire una protezione efficace delle acque.

³ Secondo le istruzioni dell'UFAM, la banchina non è considerata un impianto di trattamento poiché l'acqua non è captata dopo il passaggio attraverso il suolo. Un'alternativa è rappresentata dai sistemi a cabalette e cunette.

Summary

This report describes the performance of currently available road runoff treatment plants (RRTP) and sets up treatment standards for different types of RRTP. Furthermore, general categories for road runoff treatment are developed. Finally, the methodology for performance measurement of new types of RRTP as well as a methodology for performance monitoring of RRTP already in operation are described.

Treatment performance was evaluated on the basis of absolute effluent concentrations and removal efficiency of total suspended solids (TSS), as well total copper and zinc as indicators for heavy metal pollution. For DOC only effluent concentrations were considered. Hydraulic performance is measured as the specific flow rate per square meter treatment surface and per time. Moreover, construction height, head loss and building as well as maintenance and disposal cost are taken into account.

To compare the various indicators, a scale was set up. Rank 5 represents the results of the best available treatment unit, rank 1 the lowest. Consequently, the presented assessment is technology based. The scale of the indicators for hydraulic performance and pollutant removal is given in the following Table.

Scaling of hydraulic performance and pollutant removal (5 = best ranking, 1 = lowest ranking). ¹⁾Total content ²⁾PAH single substances.

Level	Hydraulic performance q _w , q _v [l/m ² /min]	Specific surface loading [m ² /m ²]	Concentrations				Removal efficiency			
			TSS	Cu ¹⁾	Zn ¹⁾	PAH ²⁾	DOC	TSS	Cu ¹⁾	Zn ¹⁾
			[mg/l]	[ug/l]	[ug/l]	[ug/l]	[mg/l]	[%]	[%]	[%]
5	> 8	>400	<10	<5	<10	<0.1	<4	>90	>90	>90
4	4	200	20	10	20	0.2	6	80	80	80
3	2	100	30	15	30	0.3	8	70	70	70
2	1	50	40	20	40	0.4	10	60	60	60
1	<1	< 50	>40	>20	>40	>0.4	>10	<60	<60	<60

Based on the treatment performance of the different RRTP, treatment categories A-E are suggested. Categories A-E differs mainly from each other based on whether a treatment is able to remove only TSS or also heavy metals and DOC from road runoff.

Treatment categories of road runoff (s. Pic 4.17).

Category	TSS	Copper	Zinc	DOC	Treatment
A	5	4-5	4-5	4-5	Road shoulders, vegetated swales, vegetated filters, sandfilter+adsorber, adsorber
B	4-5	3-4	3-4	3-4	Split-gravelfilter
C	3-4	1	1	1	Polfabric filter, microsieve
D	1-2	1	1	1	Lamellae separator
E	1	1	1	1	Settling basin

Category A: Vegetated retention filters, vegetated swales and sand filters including a fer-ric hydroxide adsorber layer, as well as single adsorbers with high hydraulic capacity achieve the best performance in relation to these four treatment criteria. For TSS, 10 mg/l are not exceeded (level 5). For dissolved copper and zinc as well as DOC level 4 and 5 is achieved. A sand filter with an adsorber layer achieves level 5 for zinc and marginally misses level 5 for copper. All effluent concentrations of category A RRTP for DOC correspond all to treatments levels 5 or 4.

Category B: Category B is achieved by the hydraulically high capacity split-gravel filter. However the data basis is still small and further monitoring is necessary. For TSS, category B achieves level 4-5 and for copper and zinc, levels 3-4, which is 1-2 levels below the best available RRTP.

Category C: Category C is set up for a reduced TSS removal (level 3-4) and low heavy metal removal equal to level 1. Polfabric filters, which are a special type of textile filters, as well as microsieves comply with category C. DOC removal is not expected of these two treatment options, due to their technical characteristics (level 1). The low removal for heavy metals demonstrates that copper and zinc consist of a large fraction of fine particular, colloidal or chemically dissolved species.

Category D/E: Category D combines relatively low TSS removal (level 1-2) with low heavy metal and DOC removal. The lamellae separator matches these requirements. Compared to category D, category E has lower TSS removal capabilities equal to level 1, achieved by the settling basin. For the lamellae separator, the removal efficiency for TSS can be expected to be 50 %, and between 20 and 30 % for the settling basin.

Optimisation: Hydraulic performance and pollutant removal

According to the investigated treatment types a higher hydraulic performance results in a lower pollutant removal. The RRTP with the best pollutant removal, (level 4-5) and the best hydraulic performance (level 2-3) are the reed-vegetated sand filter as well as the sand filter with adsorber layer. As a consequence, these two types require less space than vegetated soil filters with hydraulic performance of level 1-2. The split-gravel filter achieves level 3-4 in hydraulic performance, level 4-5 in TSS removal but only level 3-4 in pollutant removal. Polfabric filter and microsieves have a high hydraulic performance (level 5), but with a simultaneous loss in heavy metal and DOC removal down to level 1. The lamellae separator finally shows only limited TSS removal equal to level 1-2, but the highest hydraulic performance.

In order to achieve high pollutant removal and high hydraulic performance, it is possible to combine several treatment steps. This opens up the possibility of more compact systems adapted to urban areas or countries where land availability is an issue. In any case, it is important to monitor the performance of such new RRTP schemes at full-scale plants. It must be assured that these new compact systems combining high removal of pollutants and high hydraulic performance do not result in disproportional operating and maintenance cost.

Discussion of treatment categories

The comparison of treatment levels with the discharge requirements for TSS for treated municipal wastewater reveals that category A (<10 mg/l TSS) undercuts the discharge requirements of 15 or 20 mg/l. Road runoff TSS has different composition than treated municipal effluent and causes other impacts. The requirement of a category A treatment can be reasonable, when discharged into small receiving waters with poor dilution.

A comparison between the categories and the requirements on water quality (Swiss Water Protection Ordinance GSchV) for copper, zinc and DOC shows that the requirements for copper can be achieved and the ones for zinc are undercut. For DOC, the requirements are within reach. These requirements are to be reached in receiving waters after wide mixing and for all flow conditions.

Construction height, head loss

Construction heights for lamellae separator may exceed 4 m, while in contrast, construction heights for road shoulders are mostly below 1 m. Head loss is lowest for the settling basin and the lamellae separator, followed by the polfabric filter and the microsieve within the range of 0.5 m. Therefore, these treatments options are to be applied whenever low differences in height between inlet and outlet occur. Retention filters as well as adsorbers may develop head losses of more than 1 m.

Construction, maintenance and disposal cost

The specific RRTP construction cost is between 75'000 and 500'000 CHF per hectare road runoff. On one hand, the construction cost depends on the type of RRTP. On the other hand, topography, construction ground, groundwater level as well as the size of connected road surface and the hydraulic design play an important role. Due to the lack of data, RRTP-type specific cost can be calculated but are not comparable across RRTP. The road shoulder remains the most favourable in terms of construction cost⁴.

Data regarding cost for maintenance as well as for disposal of sludge or soil layers are incomplete. Therefore, a comparison among different RRTP is not possible. The range for maintenance and disposal effort is between 5 and 20 working hours per hectare and year and disposal cost range between 50 and 400 CHF/ha/year.

Performance tests

Performance tests are applied, when new types of RRTP are put into full scale operation. Their goals are the evaluation of hydraulic performance and pollutant removal as well as the development of design principles. Concepts of performance tests have to be adapted to the applied treatment technology in terms of schedule, instrumentation, and data acquisition and interpretation.

Performance monitoring

The monitoring of RRTP performance aims at controlling the hydraulic performance as well as the pollutant removal. Due to early recognition of significant loss of hydraulic performance or enhanced pollutant concentration in the effluent, maintenance and performance of the RRTP can be optimised. It is recommended to integrate measurement equipment in the construction details as early as possible during the planning process of RRTP. The measurement equipment do not need to be installed permanently on site, because measurement intervals last only 2-3 months. After that, the installations can be removed and used in a different RRTP.

Outlook

With this report, the basic possibilities for road runoff treatment are presented. For a few RRTP-types, the data quality and quantity is not yet sufficient to draw final conclusions of the RRTP's performance. This is especially true for maintenance cost. Additionally, for new types of RRTP, the performance has not yet been assessed. It is recommended to further close the information gaps for existing RRTP and to run performance tests on new treatment types.

Many factors have to be included and optimised for optimal road runoff treatment, because each RRTP has its own basic conditions. In one case, topography allows only limited choice of treatments, and in another case, space may be the limiting factor. Finally, the challenge for planning and constructing a RRTP is to allocate the financial resources in a way to realise the most effective water protection possible.

⁴ According to the BAFU-guideline, the road shoulder is not to be considered as a treatment plant, because water is not collected after soil layer passage. Swales are an alternative.

1 Ausgangslage

Die Wegleitung „Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen“ des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verlangt, dass Strassenabwasser von Verkehrswegen mit hohem Verkehrsaufkommen behandelt werden muss [2]. Das Standardverfahren zur Behandlung von stark belastetem Strassenabwasser ist die Versickerung über den bewachsenen Oberboden mit anschliessender Unterbodenpassage. Der Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch der verhältnismässig grosse Flächenbedarf, da die spezifische Versickerungsleistung von Boden gering ist. In urbanen, dicht bebauten Gebieten ist die benötigte Fläche oft nicht vorhanden.

Strassenabwasserbehandlungsanlagen (SABA), welche auf der Versickerung über den bewachsenen Oberboden basieren, werden auf unterschiedliche Art und Weise seit Jahren gebaut. Bewachsener Oberboden eignet sich als guter Filter für Schadstoffe. Allerdings gibt es heute noch keine abschliessende Beurteilung bezüglich der hydraulischen Leistungsfähigkeit und des Schadstoffrückhalts von Anlagentypen mit Oberboden- und Unterbodenpassage (Typ BAFU) oder von SABA nur mit Oberbodenpassage. Die Entwicklung von technischen SABA hat in der Schweiz in den letzten Jahren begonnen. Im Fokus standen und stehen technische Behandlungsverfahren und Verfahrenskombinationen, welche bei deutlich geringerem Platzbedarf gleichzeitig eine möglichst hohe Reinigungsleistung erbringen. In einigen Fällen wurden technische SABA bereits gebaut, in anderen befinden sie sich noch im Pilotstadium.

Zum heutigen Zeitpunkt existiert allerdings noch keine vergleichbare Übersicht bezüglich der Leistungsfähigkeit sowohl von bepflanzten Bodenfiltern als auch von technischen SABA. Somit ist der Stand der Technik bei der Behandlung von Strassenabwasser nicht bekannt.

Die Ursache der schwierigen Vergleichbarkeit der Leistung von SABA liegt in der unterschiedlichen Methodik von untersuchten SABA. Die Unterschiede beziehen sich dabei auf die Auswahl der untersuchten Schad- oder Indikatorstoffe, die Anzahl und Art der Probenahmen sowie die Art der Anlage. Im Vergleich zu realisierten SABA sind bei Testanlagen die Betriebs-, Unterhalts- und Entsorgungskosten schwierig übertragbar. Somit fehlte bisher eine vergleichbare Methodik sowohl zur Leistungsbestimmung von neuen SABA-Typen als auch zur Leistungsüberwachung von bereits bekannten SABA-Typen.

Die geschilderte Ausgangslage erschwert den Vollzug des Gewässerschutzes bei der Entsorgung von stark belastetem Strassenabwasser von Autobahnen aber auch die Planung, Dimensionierung und Leistungsüberwachung von SABA. Zur Klärung der offenen Fragen bezüglich der Behandlung von stark belastetem Strassenabwasser von Autobahnen haben das BAFU und das ASTRA deshalb das Projekt „Strassenabwasserbehandlungsanlagen (SABA) – Stand der Technik“ initiiert.

2 Projektziel, Vorgehen und Berichtstruktur

Das Ziel dieses Berichtes ist es, den Vollzug des Gewässerschutzes bei der Entsorgung von stark belastetem Strassenabwasser von Autobahnen zu unterstützen. Dazu wird in folgenden Schritten vorgegangen:

- Festlegen des Stands der Technik bei der Behandlung von Strassenabwasser.
- Festlegen von Leistungsanforderungen für unterschiedliche SABA-Typen.
- Festlegen von Leistungskategorien für die Behandlung von Strassenabwasser.
- Konzept zur Erhebung der Leistungsfähigkeit von neuartigen SABA-Typen.
- Konzept zur Überwachung von SABA, deren Leistungsfähigkeit bekannt ist.

Der Stand der Technik bezieht sich auf bewachsene Retentionsbodenfilter gemäss BAFU-Wegleitung, andersartige bewachsenen Filtertypen wie beispielsweise mit Schilf bepflanzte Sandfilter und auf technische SABA. Als technische SABA werden Verfahren bezeichnet, welche nicht auf der Behandlung mit bewachsenen Filterschichten basieren. Beispiele für technische SABA sind Lamellenabscheider, Adsorbierschichten oder Sandfilter ohne Bewuchs. Als Datengrundlage wird hauptsächlich Literatur aus der Schweiz und Deutschland verwendet und zwar von Behandlungsanlagen, die Strassenabwasser mit einem DTV von mehr als 16'000 Fahrzeugen behandeln.

Das Vorgehen zur Erarbeitung der Ziele orientiert sich an den in Abb. 2.1 beschriebenen Teilschritten. Die Teilschritte sind so gewählt, dass sie ein nachvollziehbares und flexibles Gerüst bilden. Dies ist notwendig, damit neue Erkenntnisse aus beispielsweise künftigen Leistungsprüfungen einfach integriert und mit den bestehenden Informationen verglichen werden können.

Abb. 2.1 Beschreibung der einzelnen Schritte.

Teilschritt	Beschreibung
Relevante Schadstoffe	Beschreibung der relevanten Schad- und Indikatorstoffe zur Beurteilung der Schadstoffentfernung. Als Schadstoffe gelten beispielsweise Kupfer und Zink, welche gleichzeitig auch Indikatoren für andere Schwermetalle sind.
Kriterien zur Charakterisierung von Verfahren	Auswahl der Kriterien zur Charakterisierung von Behandlungsverfahren beispielsweise anhand der Einordnung in Vor-, Haupt- oder Nachbehandlung.
Charakterisierung von Verfahren	Charakterisierung der Behandlungsverfahren anhand der Kriterien.
Kriterien zur Leistungsbeurteilung und Klassifizierung der Kriterien	Beschreibung der Kriterien zur Leistungsbeurteilung von Behandlungsverfahren. Kriterien sind beispielsweise der spezifische hydraulische Durchfluss oder die erzielten Ablaufkonzentrationen von Schad- oder Indikatorstoffen. Bei der Klassifizierung werden die Kriterien anhand einer Skala von 1 – 5 bewertet.
Leistungsbeurteilung von Behandlungsverfahren	Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Behandlungsverfahren anhand der Kriterien. Zuerst werden die Behandlungsverfahren beurteilt und anschliessend vergleichend interpretiert.
Behandlungsanforderungen	In diesem Schritt werden die verfahrenstypischen Behandlungsanforderungen festgelegt. Diese stützen sich auf die Leistungsbeurteilung der Verfahren
Behandlungskategorien für die Strassenabwasserbehandlung	Ausgehend vom heutigen Stand der Technik werden die Kategorien A - E für die Strassenabwasserbehandlung vorgeschlagen.
Leistungsprüfung (Typenprüfung)	In diesem Schritt wird die Methodik von Leistungsprüfungen von SABA diskutiert. Leistungsprüfungen sind dann notwendig, wenn ein neuartiges Behandlungsverfahren erstmals in der Praxis eingesetzt wird.
Konzept zur Leistungsüberwachung	Leistungsüberwachungen von SABA werden dann durchgeführt, wenn die Leistungsfähigkeit eines SABA-Typs bereits bekannt ist und somit Behandlungsanforderungen vorliegen. Bei der Leistungsüberwachung wird somit die Einhaltung der Behandlungsanforderungen überprüft sowie die Aufwendungen für den Betrieb, den Unterhalt sowie die Entsorgung erfasst und optimiert.

Die Ergebnisse sind in diesem Bericht im Hauptdokument und im Anhang zu finden. Im Anhang befinden sich die detaillierten Angaben zu jedem Teilschritt, während im Hauptdokument die zusammenfassenden Beschreibungen und Interpretationen wiedergegeben sind. Beispielsweise ist die zusammenfassende Charakterisierung von Behandlungsverfahren in Kapitel 4.3 beschrieben, während die detaillierte Charakterisierung der einzelnen Behandlungsverfahren im Anhang III geschildert ist.

3 Systemabgrenzung

Damit unterschiedliche Behandlungsverfahren miteinander verglichen werden können, stellt sich die Frage nach der Systemabgrenzung des „Systems“ SABA, insbesondere bezüglich der Entlastungen (Abb.3.1). Werden Entlastungen berücksichtigt, erfolgt eine Vermischung zwischen der Dimensionierung einer SABA und der Leistungsfähigkeit des Behandlungsverfahrens. Beispielsweise erzielt eine auf 20 Überlaufereignisse pro Jahr dimensionierte SABA infolge der häufigen Entlastungen einen geringen Gesamtwirkungsgrad, obwohl das Behandlungsverfahren an sich wirkungsvoll sein kann.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Stand der Technik bezüglich der Schadstoffentfernung zu beurteilen. Somit stehen die Behandlungsverfahren im Mittelpunkt und die Systemgrenzen werden um die einzelnen Behandlungsverfahren gezogen. Dies bedeutet, dass die hydraulische Dimensionierung einer SABA nicht berücksichtigt wird. Auf die Grobstoffabtrennung für Zigarettenstummel, Blätter etc. wird in diesem Bericht nicht eingegangen.

Die Behandlungseinheit einer SABA kann mehrstufig sein und somit aus mehreren Verfahrensschritten bestehen. Wenn es die Datenlage ermöglicht, werden Wirkungsgrade und Ablaufkonzentrationen für Schadstoffe für jede Verfahrensstufe einer SABA bestimmt.

Entlastungen werden nicht berücksichtigt, es sei denn, sie geben Hinweise auf eine abnehmende hydraulische Leistungsfähigkeit einer SABA. Die hydraulische Leistungsfähigkeit eines Behandlungsverfahrens oder einzelner Verfahrensschritte beziehen sich deshalb auf die Menge Strassenabwasser, welche pro Zeit von einem Behandlungsverfahren bewältigt werden kann.

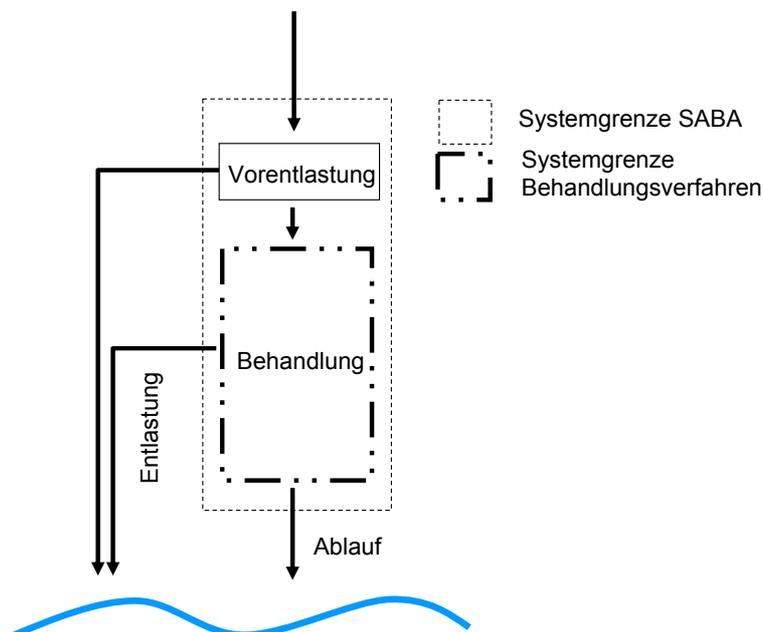


Abb. 3.1 Schematische Darstellung der Systemgrenzen. In dieser Arbeit wird die Systemgrenze um die Behandlungseinheit gezogen.

4 Ergebnisse

4.1 Stoffe zur Leistungsbeurteilung von Behandlungsverfahren

Die zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von SABA verwendeten Stoffe müssen die folgenden drei Bedingungen erfüllen:

- Die Stoffe sind für die Gewässer problematisch oder sind Indikatoren für andere problematische Stoffe.
- Von den Schadstoffen oder deren Indikatoren liegen bei einem Grossteil der Anlagen Messdaten vor.
- Die Stoffe können von SABA gemäss heutigem Stand der Technik entfernt werden.

In der Gewässerschutzverordnung (GSchV) sind die gewässerrelevanten Stoffe aufgeführt⁵, welche für diese Studie in Betracht gezogen werden [1]. Anhand des Vergleichs der Einleitbedingung für kommunales Abwasser in Fließgewässer bei GUS und den Anforderungen an die Wasserqualität gemäss GSchV mit den gemessenen Konzentrationen im Strassenabwasser kann beurteilt werden, inwiefern ein Stoff als problematisch zu klassifizieren ist. Dies ist beispielsweise für GUS der Fall, da die Einleitbedingung überschritten wird. Aber auch Zink und Kupfer werden als problematisch klassifiziert, da deren Konzentrationen im Strassenabwasser die Anforderungen an die Wasserqualität gemäss GSchV um bis zu einer Grössenordnung überschreiten⁶.

Es gilt jedoch zu erwähnen, dass sich künftig noch weitere Stoffe im Strassenabwasser für Vorfluter oder für die Versickerung in den Untergrund als problematisch erweisen können. Mögliche Beispiele sind Katalysatormetalle sowie organische Verbindungen.

Für die zur Leistungsbeurteilung verwendeten Stoffe müssen Messdaten zumindest im Ablauf von SABA vorliegen. Ist dies nicht der Fall, kann durch die Verwendung von Indikatorstoffen Abhilfe geschaffen werden. Beispielsweise werden auf diese Art und Weise Kupfer und Zink als Indikatorstoffe für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom und Nickel verwendet. Schliesslich müssen Stoffe von SABA gemäss heutigem Stand der Technik auch entfernt werden können. Dies ist beispielsweise bei MTBE nicht der Fall.

Die zur Leistungsbeurteilung verwendeten Stoffe sind in Abb. 4.1 zusammengefasst und im Anhang I.4 detailliert beschrieben. Die Datengrundlage zur Identifikation der relevanten Schadstoffe sind Untersuchungen von behandeltem Strassenabwasser von Verkehrsflächen mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastung (DTV) von mehr als 16'000 Fahrzeugen pro Tag⁷.

⁵ Anhang 2 und Anhang 3.1 der GSchV [1].

⁶ Auf die Bedeutung der Einleitbedingungen und Anforderungen gemäss Gewässerschutzverordnung bezüglich Strassenabwasser wird in Kapitel 4.8 eingegangen.

⁷ Bei diesem DTV gilt das Strassenabwasser als hochbelastet [2].

Abb. 4.1 *Verwendete Stoffe zur Leistungsbeurteilung von SABA. Eine Übersicht mit Konzentrationsangaben ist in Abb. 1.2 und Abb. 1.3 dargestellt.*

	Schadstoffe	Bemerkungen
Zur Leistungsbeurteilung verwendete Stoffe	GUS	Die GUS-Konzentrationen im Strassenabwasser liegen deutlich über der Einleitbedingung für kommunales Abwasser in Fliessgewässer von 15 oder 20 mg/l. Zudem wurde GUS bei den meisten Anlagen gemessen, womit die Datenbasis genügend gross ist.
	Cu	Kupfer weist neben Zink im Strassenabwasser die höchsten Konzentrationen bei den Schwermetallen auf und ist ökotoxikologisch relevant. Kupfer wurde bei zahlreichen Anlagen gemessen, womit die Datenbasis genügend gross ist.
	Zn	Zink weist die höchsten Konzentrationen bei den Schwermetallen auf und ist ökotoxikologisch relevant. Zink wurde bei zahlreichen Anlagen gemessen, womit die Datenbasis genügend gross ist.
	Cu/Zn	Kupfer und Zink sind die am schwierigsten aus dem Strassenabwasser zu entfernenden Schwermetalle, weil sie zu einem grossen Anteil feinpartikulär/kolloidal bzw. in chemisch gelöster Form vorliegen. Damit sind Cu und Zn eigentliche Indikator-Schwermetalle (Anhang I.4).
	DOC	Die Einleitbedingung für DOC für kommunales Abwasser in Fliessgewässer wird bei einigen Messungen erreicht und teilweise überschritten. Strassenabwasser-DOC kann problematischer sein als DOC aus der kommunalen Abwasserreinigung, weil daran mehr PAK und Schwermetalle gebunden sein können. DOC kann zudem als Tracer für gelöste Stoffe betrachtet werden.
	PAK	Die Konzentration von PAK-Einzelsubstanzen in unbehandeltem Strassenabwasser können die Anforderungen für Grundwasser, welches als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist, überschreiten.

4.2 Kriterien zur Charakterisierung von Behandlungsverfahren

SABA oder auch einzelne Behandlungsverfahren unterscheiden sich hinsichtlich zahlreicher Eigenschaften. Zur Charakterisierung der Behandlungsverfahren werden diejenigen Eigenschaften oder Komponenten berücksichtigt, welche die stoffliche bzw. hydraulische Leistung oder den Aufwand für den Betrieb und den Unterhalt massgeblich beeinflussen und bei denen wesentliche Leistungsunterschiede bestehen oder zu erwarten sind. Diese Eigenschaften sind in Abb. 4.2 zusammengefasst. Die Grobstoffabtrennung ist in der Regel einfach zu realisieren und wird daher nicht als Kriterium verwendet. Die Kriterien sind detailliert im Anhang II beschrieben.

Abb. 4.2 *Kriterien zur Charakterisierung von Behandlungsverfahren.*

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Ist das Verfahren eine Vorbehandlung, eine Hauptbehandlung oder eine Nachbehandlung?
Schadstoffentfernung	Welche Prozesse der Schadstoffentfernung sind massgebend?
Variabilität der Schadstoffentfernung	Zeigt ein Verfahren Einbrüche bei der Schadstoffentfernung, beispielsweise bei variablen Durchflüssen?
Abflussdrosslung	Findet durch ein Verfahren eine Drosslung des Abflusses statt?
Retentionsvolumen	Weist das Verfahren normalerweise ein Retentionsvolumen auf?
Entlastungen	Wo und welche Entlastungen sind vorhanden (Hauptsächlich bei Verfahrenskombinationen)?
Havarierückhalt	Eignet sich das Verfahren für den Havarierückhalt?
Betrieb	Welche Installationen müssen für den Betrieb vorgesehen sein?
Unterhalt	Welche Unterhaltsarbeiten sind notwendig?
Entsorgung	Welche Materialien müssen wie entsorgt werden?
Temperaturempfindlichkeit	Sind Hitze oder Kälte (Frost) für ein Verfahren problematisch?
Materialbeschaffung	Ist die Materialbeschaffung schwierig (Boden, Adsorber etc.)?
Inbetriebnahmezeit	Ist eine Inbetriebnahme unmittelbar nach Baubeginn möglich?
Unterschiedliche Realisierung	Gibt es unterschiedliche Fabrikate oder unterschiedliche bauliche Realisierungen eines Verfahrens oder einer Verfahrenskombination?

4.3 Charakterisierung von Behandlungsverfahren

Die Behandlungsverfahren sind anhand der Kriterien gemäss Kapitel 4.2 in Abb. 4.3 beschrieben. Zur Übersicht und zum Vergleich sind die Ergebnisse anschliessend in Abb. 4.4 summarisch dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der Verfahren, auch bezüglich Betrieb und Unterhalt sowie bezüglich der Entsorgung ist in Anhang III zu finden. Die Entwicklung von neuartigen Behandlungsverfahren ist weiterhin im Gang. Die Aufzählung der Verfahren ist deshalb nicht abschliessend.

Im letzten Abschnitt von Abb. 4.4 sind drei mehrstufige, bereits realisierte SABA charakterisiert. Anhand dieser Beispiele wird die Wirkung von Verfahrenskombinationen sichtbar, indem die Vorteile einzelner Behandlungsstufen so kombiniert werden, dass die hydraulische Leistung und der Schadstoffrückhalt sowie der Aufwand für Betrieb und Unterhalt optimiert werden.

Abb. 4.3 Zusammenfassende Charakterisierung der Behandlungsverfahren.

Kriterium	Beurteilung
Behandlungstypen	Die Verfahren mit bewachsenen Boden- oder Sandschichten sind aufgrund der vielfältigen Prozesse der Schadstoffentfernung als Hauptbehandlungsverfahren geeignet. Als Nachbehandlung eignen sich solcher Verfahren bei der Versickerung in den Untergrund. Technische Verfahren eignen sich nur bei genügender Schadstoffentfernung als Hauptbehandlung. Dazu zählen der Sandfilter, der Splitt-Kiesfilter sowie möglicherweise der Polstofffilter und das Mikrosieb. Ein Adsorptionsverfahren eignet sich nur nach weitgehender Partikelabtrennung zur Hauptbehandlung und wird daher als Nachbehandlung eingestuft. Typische Vorbehandlungsverfahren sind das Absetzbecken und der Lamellenabscheider. Die meisten technischen Verfahren eignen sich zur Vorbehandlung. Ausnahmen sind Sandfilter, Membrane und Adsorber.
Prozesse der Schadstoffentfernung	Bewachsene Filterschichten weisen bedingt durch die Bodenmatrix die vielfältigsten Schadstoffentfernungsprozesse wie Raumfiltration, Siebfiltration, Adsorption und biologischen Abbau auf. Unterschiede gibt es in der Siebfiltration, welche beim bewachsenen Sandfilter ausgeprägter sein kann als bei bewachsenen Oberbodenschichten. Umgekehrt findet Ionenaustausch und Adsorption hauptsächlich in Oberbodenschichten statt. Die Schadstoffentfernungsprozesse bei technischen Verfahren sind selektiver. Abgesehen von der Sedimentation basieren die meisten Verfahren auf der Siebfiltration (Polstofffilter, Mikrosieb, Sandfilter und Membrane) gefolgt von der Raumfiltration beim Sand- und Splitt/Kiesfilter und beim Rückspülfilter. Adsorption findet auch im Sand- und Splitt/Kiesfilter statt, sobald sich eine ausreichende Kolmations- oder Substratschicht entwickelt hat. Diese Adsorption ist weniger stark ausgeprägt als bei Verfahren mit selektivem Adsorbentmaterial. Biologische Aktivität ist bei Boden, Sand-, Splitt- oder Adsorbenschichten zu erwarten.
Variabilität der Schadstoffentfernung	Die höchste Variabilität bei der Schadstoffentfernung ist beim Absetzbecken und Lamellenabscheider zu erwarten. Alle anderen Verfahren zeigen keine starken Leistungsschwankungen. Bei Polstofffiltern und Mikrosieben muss die Leistungsvariabilität noch grosstechnisch untersucht werden. Bei bewachsenen Filtern kann sich die Schadstoffentfernung mit zunehmender Standzeit durch die sich bildende Kolmationsschicht verbessern und beim Splitt-Kiesfilter nach periodischem Entfernen der Schlammsschicht verschlechtern.
Abflussdrosselung	Die verfahrensbedingte Abflussdrosselung ist am geringsten bei Absetzbecken und Lamellenabscheidern gefolgt vom Polstofffilter und Mikrosieb und nimmt mit zunehmender Filtrationswirkung bei konstanter Behandlungsfläche zu.
Retentionsvolumen	Retentionsvolumina sind bei bewachsenen Filtern mit Ausnahme des Banketts immer vorhanden. Sand- und Splitt/Kiesfilter weisen konstruktionsbedingt ebenfalls ein Retentionsvolumen auf. Lamellenabscheider und Absetzbecken können auch als Retention verwendet werden, was allerdings die Installation von Pumpen und einer Steuerung bedingt. Alle anderen technischen Verfahren haben kein Retentionsvolumen. Dieses muss, abhängig von der Leistungsfähigkeit und der Dimensionierung, durch zusätzliche Bauwerke bereitgestellt werden.
Entlastungen	Entlastungen können bei Behandlungsverfahren mit bewachsenen Boden-, Sand- oder Splitt/Kies-RFB einfach realisiert werden. Bei technischen Verfahren müssen Entlastungen entsprechend der Anordnung der Verfahren angebracht werden.
Havarierückhalt	Der Rückhalt von Havariestoffen lässt sich mit Ausnahme des Banketts bei allen Verfahren mit bewachsenen Boden- oder Sandschichten bewerkstelligen. Bei technischen Behandlungsverfahren ist ein Havarierückhalt überall dort möglich, wo verfahrensbedingt ein Speichervolumen zur Verfügung steht. Dies ist vor allem beim Splitt- oder Sandfilter der Fall. Ein Volumen für die Havarie kann aber auch in Absetzbecken oder Lamellenabscheidern eingerichtet werden.

Betrieb	Technische Behandlungsverfahren weisen möglicherweise höhere Anforderungen für den Betrieb auf, weil mehr elektrische oder mechanische Installationen notwendig sind. Die Anforderungen von bewachsenen Boden-, Sand- oder Splitt/Kies-RFB sind vergleichsweise geringer.
Unterhalt	Bei Flächenfiltern liegt die Entfernung einer Schlammschicht oder das Mähen der Vegetation im Vordergrund. Bei technischen Verfahren ausschlaggebend sind die Kontrolle, die Wartung und die Instandhaltung von mechanischen oder elektrischen Installationen wie Pumpen, Schiebern und Motoren. Einige technische SABA brauchen eine Spülwasserbehandlung, was den Betriebs- und Unterhaltsaufwand erhöht.
Entsorgung	Bei bewachsenen Behandlungsverfahren steht die fachgerechte Entsorgung des Schnittguts und der möglicherweise kontaminierten Bodenschichten im Vordergrund. Bei nicht bewachsenen Sand- oder Splitt/Kies-RFB ist mit der Entsorgung von Schlamm-schichten zu rechnen. Bei den anderen technischen Verfahren muss hauptsächlich der abgetrennte Schlamm entsorgt werden. Der Einsatz von Adsorbentschichten bedingt deren Entsorgung bzw. Aufbereitung bei Erreichen der Kapazitätsgrenze.
Temperaturempfindlichkeit	Die Temperaturempfindlichkeit ist bei den meisten Verfahren generell gering. Bei bewachsenen Sandfiltern und Boden/Sand- bzw. Boden/Kiessandfiltern ist die Auswirkung allenfalls eine geringere biologische Aktivität. Bodenfrost bewirkt periodisch eine erneute Strukturierung und damit auch eine stabile der Durchlässigkeit. Bei technischen Verfahren steht hauptsächlich die Frostproblematik von technischen Geräten wie Pumpen, Schläuche und Steuerungen im Vordergrund.
Materialbeschaffung	Die Materialbeschaffung ist bei bewachsenen Bodenfiltern dann problematisch, wenn nicht das vor Ort vorhandene Bodenmaterial verwendet werden kann. Dessen Eignung ist in der Projektierungsphase zu prüfen. Bei Sandfiltern muss auf die geeignete Qualität (Körnung, Kornform, Kalkgehalt) geachtet werden, welche unter Umständen lange Transportwege vom Kieswerk bedingen kann.
Inbetriebnahme	Der Inbetriebnahmezeitpunkt nach Einbau ist bei bewachsenen Bodenfiltern ein wichtiges Kriterium. Setzung des Bodens, Stabilisierung des Bodengefüges und Durchwurzelung benötigen mindestens ein Jahr. Während dieser Phase darf die Anlage nicht oder nur reduziert betrieben werden. Auch bei neu angesetzten Banketten muss auf diese Problematik geachtet werden. Technische Verfahren können nach der Installation in Betrieb genommen werden.
Unterschiedliche Realisierung	Viele Behandlungsverfahren können auf unterschiedliche Art und Weise realisiert und kombiniert werden. Bei der Planung vor allem von mehrstufigen Verfahren ist deshalb ein grosser Spielraum vorhanden.

Abb. 4.4 Charakterisierung von Verfahren zur Behandlung von Strassenabwasser.
 ● = trifft zu, ○ = trifft teilweise zu.

		Vorbehandlung	Hauptbehandlung	Nachbehandlung	Sedimentation	Siebfiltration	Raumfiltration	Adsorption	Ionenaustausch	Biologischer Abbau	Var. Stoffentfernung gering	Abflussschlusung	Retentionsvolumen vorhanden	Havarierückhalt möglich	Temp. Empfindlichkeit gering	Materialbeschaffung einfach	Sofortige Inbetriebnahme	Diverse Realisierung
Bewachsene Systeme	Versickerung Bankett	●				●	●	●	●		●				●	●	○	●
	Bodenfilter Typ BAFU	●	●			●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●
	Sandfilter bewachsen	●				●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Kombinierte Filter Boden/Sand bzw. Boden/Kiessand	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Technische Einzelverfahren	Absetzbecken, Absetzteiche	●			●									○	●	●	●	●
	Lamellenabscheider	●			●								○	●	●	●	●	●
	Flockung/Fällung	●			●						○			●	○	●	●	●
	Mikrosiebe	●	○		●						○	○			○	●	●	●
	Polstofffilter	●	○		●						●	○			○	●	●	●
	Sandfilter	●			●	○	○			●	●	●	●	●	○	○	●	●
	Splitt/Kiesfilter	●	○		○	●	○			●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Schnellsandfilter	●			●		○				●	●	○	●	●	●	●	●
	Membrane	●			●						●	●			○	●	●	●
	Adsorber	○	●				○	●	●	○	●	●	○	○	●	●	●	●
Mehrstufige SABA	Lamellen+ Sandfilter+ Adsorber	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Splitt-Kies+Schilffilter	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●
	Sedimentation+ Filtration	●	●		●	●					○	○	●	●	●	●	●	○
	Sedimentation+ Filtration+ Adsorption	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●

4.4 Kriterien zur Leistungsbeurteilung von Behandlungsverfahren

4.4.1 Übersicht

Die Aufgabe einer SABA ist es, möglichst viel Strassenabwasser auf möglichst kleiner Fläche so gut wie möglich zu reinigen. Dabei soll der Aufwand für den Betrieb, den Unterhalt sowie die Entsorgung möglichst gering sein genauso wie die Bauwerkshöhe und der Druckverlust.

Zum Vergleich der Behandlungsverfahren, werden die in Abb. 4.6 beschriebenen Leistungskriterien verwendet. Zur Klassifizierung der dieser Kriterien wird eine Fünferskala verwendet mit fünf als bester und eins als schlechtester Bewertung. Mit Hilfe dieser Bewertungsmethode ist es möglich, alle Kriterien in zwei „SABA-Spidern“ vergleichbar darzustellen (Abb. 4.5). Im „SABA-Spider“ links werden die hydraulischen Leistungsdaten sowie die Schadstoffentfernung beurteilt, im „SABA-Spider“ rechts die Druck- und Bauwerkshöhe sowie der spezifische Aufwand für den Unterhalt und die Entsorgung. Die Leistungskriterien sind im Anhang IV und die Leistungsbestimmung der betrachteten Anlagen im Anhang V anhand dieser Methodik detailliert beschreiben.

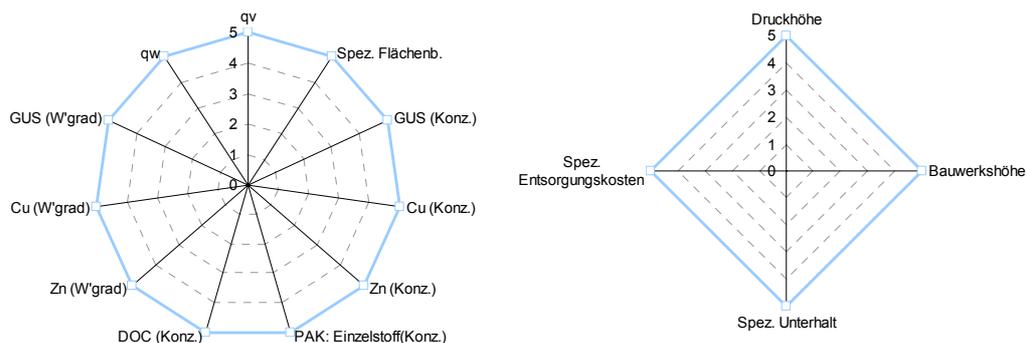


Abb. 4.5 Darstellung zur Beurteilung von Behandlungsverfahren am Beispiel einer idealen SABA (fiktives Beispiel)

Abb. 4.6 Kriterien zur Leistungsbeurteilung von Behandlungsverfahren.

Kriterium	Beschreibung
Spezifische hydraulische Leistungsfähigkeit	q_w : Durchfluss pro m^2 wirksame Behandlungsfläche [$l/m^2/min$]. q_v : Durchfluss pro m^2 Anlagefläche [$l/m^2/min$]. Die Unterscheidung in der Bezugsfläche ist notwendig, damit bei technischen Verfahren auch der Platzbedarf für Aggregate etc. berücksichtigt wird.
Spezifische Flächenbelastung	Die spezifische Flächenbelastung ist der Quotient aus angeschlossener Strassenfläche zur wirksamen Behandlungsfläche eines Behandlungsverfahrens. Die wirksame Behandlungsfläche ist beispielsweise die Filteroberfläche eines Sandfilters oder die Filterfläche eines Trommelfilters.
Wirkungsgrad	Der Wirkungsgrad eines Behandlungsverfahrens setzt die Zulaufkonzentrationen oder -frachten in Bezug zu denjenigen im Ablauf. Bei der Beurteilung von Wirkungsgraden sind wenn immer möglich die erzielten Ablaufkonzentrationen zu berücksichtigen (Anhang IV.2.1).
Ablaufkonzentration	Die erzielten Ablaufkonzentrationen sind direkt relevant für die Gewässerbelastung. Sie werden mit den Einleitbedingungen für die Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer oder mit den Anforderungen an die Wasserqualität gemäss GSchV verglichen ⁸ .
Druckhöhe	Die benötigte Druckhöhe eines Verfahrens besagt, mit welcher hydrostatischen Höhendifferenz oder mit welchem Pumpendruck ein Verfahren betrieben wird.
Bauwerkshöhe	Die Bauwerkshöhe eines Verfahrens ist wichtig bei hohem Grundwasserspiegel und felsigem Untergrund.
Spezifischer Unterhaltsaufwand	Der Unterhalt einer SABA setzt sich zusammen aus: <ul style="list-style-type: none"> • Reinigungsarbeiten • Funktionskontrollen • Instandhaltungsarbeiten Als Vergleichsgrösse wird die Anzahl Stunden pro ha angeschlossene Strassenfläche und pro Jahr verwendet.
Spezifische Entsorgungskosten	Kosten für die zu entsorgenden Stoffe in CHF pro ha angeschlossene Strassenfläche und pro Jahr.
Spezifische Baukosten	Baukosten pro ha angeschlossene Strassenfläche. Wenn erhältlich sind die Kosten ohne Landerwerb aufgeführt.

4.4.2 Festlegung der Leistungsklassen

Die Zuordnung der Leistungsklassen zu den einzelnen Kriterien gemäss Abb. 4.6 basiert auf dem Stand der Technik der untersuchten Behandlungsverfahren. Klasse 5 entspricht somit den besten Leistungen von Behandlungsverfahren, die gemäss Stand der Technik heute möglich sind. Bei GUS beispielsweise entspricht Klasse 5 mittleren Ablaufkonzentrationen von weniger als 10 mg/l. Klasse 1 entspricht der jeweils schlechtesten Bewertung. Die Abstufung der Leistungsklassen von 5 bis 1 erfolgt so, dass die Leistungsunterschiede der Behandlungsverfahren am besten sichtbar werden. Dies ist beispielsweise bei GUS am besten möglich, indem die Abstufung in Schritten von 10 mg/l erfolgt. Insofern orientiert sich auch die Abstufung der Leistungsklassen an den Stand der Technik.

⁸ Die Interpretation der Einleitbedingungen und der Anforderungen gemäss Gewässerschutzverordnung erfolgt in Anhang I.

Die Festlegung der Leistungsklassen basiert auf der Analyse der Leistungsdaten der Behandlungsverfahren. Die Leistungsklassen sind in Abb. 4.7 und Abb. 4.8 zusammengefasst. Eine detaillierte Beschreibung ist im Anhang IV.1 bis IV.5 zu finden, die Ergebnisse der Leistungsbeurteilung werden in Kapitel 4.5 diskutiert.

Abb. 4.7 Klassifizierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit sowie der Schadstoffentfernung (5 = beste Bewertung, 1 = schlechteste Bewertung). ¹⁾Totale Gehalte ²⁾PAK-Einzelsubstanzen. Lesebeispiel: Klasse 4 (GUS) = 10-20 mg/l.

Leistungs- klasse	qw, qv [l/m ² /min]	Spez. Flä- chenbe- lastung [m ² /m ²]	Konzentrationen					Wirkungsgrad		
			GUS [mg/l]	Cu ¹⁾ [ug/l]	Zn ¹⁾ [ug/l]	PAK ²⁾ [ug/l]	DOC [mg/l]	GUS [%]	Cu ¹⁾ [%]	Zn ¹⁾ [%]
5	> 8	>400	<10	<5	<10	<0.1	<4	>90	>90	>90
4	4	200	20	10	20	0.2	6	80	80	80
3	2	100	30	15	30	0.3	8	70	70	70
2	1	50	40	20	40	0.4	10	60	60	60
1	<1	< 50	>40	>20	>40	>0.4	>10	<60	<60	<60

Abb. 4.8 Klassifizierung der Kriterien Druckhöhe, Bauwerkshöhe, spezifischer Unterhaltsaufwand, spezifische Entsorgungskosten sowie spezifische Baukosten (5 = beste Bewertung, 1 = schlechteste Bewertung).

Leistungs- klasse	Druckhöhe [m]	Bauwerkshöhe [m]	Spez. Unterhalts- aufwand [h/ha/Jahr]	Spez. Entsor- gungskosten (CHF/ha/Jahr)	Spez. Baukos- ten [CHF/ha]
5	<0.1	<1	<5	<100	<100'000
4	0.5	2	10	200	150'000
3	1	3	15	300	200'000
2	1.5	4	20	400	250'000
1	>1.5	>4	>20	>400	>250'000

4.5 Leistungsbeurteilung

4.5.1 Hydraulische Leistung, spezifischer Flächenbedarf

Die hydraulische Leistungsfähigkeit sowie der spezifische Flächenbedarf der untersuchten Behandlungsverfahren sind in Abb. 4.9 dargestellt. Bei den bepflanzten Verfahren erreicht der spezifische Durchfluss q_w bei drei Anlagen die Klasse 2, bei einem mit Schilf bepflanzten Sandfilter die Klasse 3. Der spezifische Durchfluss bezogen auf die gesamte Anlagenfläche (q_v) ist bei zwei SABA erwartungsgemäss geringer (Klasse 1). Eine dieser Anlagen ist der mit Schilf bepflanzte Sandfilter, dessen q_v um 2 Klassen tiefer ist als q_w . Die andere Anlage ist der mit Schilf bepflanzte Boden-Kiesfilter mit einem 1 Klasse tieferen q_v .

Die technischen Einzelverfahren (Ölabscheider bis Adsorber) erreichen ein q_w bzw. ein q_v von mehr als 8 l/min/m² und damit die höchste Leistungsklasse 5. Der Splitt-Kiesfilter erzielt Klasse 4 (4-8 l/min/m²) und die SABA mit Lamellenabscheider, Sandfilter+Adsorbierschicht die Klasse 3 und Klasse 2 für q_w bzw. q_v . Der Splitt-Kiesfilter sowie die SABA mit Lamellenabscheider, Sandfilter+Adsorbierschicht haben somit eine höhere hydraulische Leistungsfähigkeit als bepflanzte Filter.

Der spezifische Flächenbedarf widerspiegelt die Betrachtungen beim spezifischen hydraulischen Durchfluss, indem die bepflanzten Anlagen in der Regel den höchsten spezifischen Flächenbedarf aufweisen (Klasse 1). Die technischen Einzelverfahren (Ölabscheider bis Adsorber) weisen den geringsten spezifischen Flächenbedarf auf. Der Splitt-Kiesfilter erzielt Leistungsklasse 4, die SABA mit Lamellenabscheider, Sandfilter+Adsorbierschicht Klasse 3.

Die technische Verfahrenskombination bestehend aus Lamellenabscheider und Sandfilter mit einer Adsorberschicht weist bisher einen etwas höheren spezifischen Durchfluss auf als zahlreiche bepflanzte Filter⁹. Einzig der bepflanzte Sandfilter kann einen vergleichbaren Durchfluss aufweisen. Informationen über die Langzeitstabilität der hydraulischen Leistungsfähigkeit sind jedoch bei bewachsenen Filtern nur spärlich vorhanden. Es wird deshalb empfohlen, bei typischen Referenzanlagen den spezifischen Durchfluss langfristig zu überwachen. Dies ist insbesondere wichtig für die Planung von Unterhaltsarbeiten und die Bestimmung des Unterhaltsaufwands.

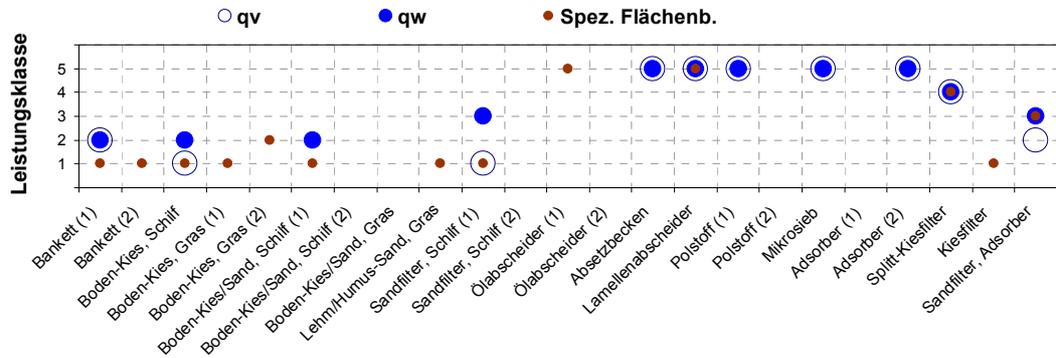


Abb. 4.9 Vergleich der hydraulischen Leistungsfähigkeit und des spezifischen Flächenbedarfs. Zuordnung der Anlagen in Abb. VI.2.

⁹ Die Leistungsüberwachung, welche bis 2012 dauert wird zeigen, wie lange diese Leistung möglich ist.

4.5.2 GUS-Entfernung

Die erzielten Leistungsklassen für die GUS-Ablaufkonzentrationen sind in Abb. 4.10 dargestellt. Ablaufkonzentrationen von weniger als 10 mg/l (Klasse 5) können von Banketten, bepflanzten Flächenfiltern sowie von Retentionsfilterbecken bestehend aus einer Sandschicht kombiniert mit einer Adsorbierschicht sowie von hydraulisch höher belasteten Adsorbierschichten erzielt werden (Vorbereitung mit Lamellenabscheider). Kies-Splittfilter sind aufgrund bisheriger Erkenntnisse ebenfalls in der Lage, Ablaufkonzentrationen von weniger als 10 mg/l zu erzielen.

Einzelne bewachsene Filter erzielen GUS-Ablaufkonzentrationen zwischen 10 und 20 mg/l (Klasse 4). Der Polstofffilter kann ebenfalls Ablaufwerte in diesem Bereich erzielen. Ob das Mikrosieb bis Klasse 4 vorstossen kann, müssen Versuche an einer gross-technischen Anlage bestätigen. Klasse 3 beinhaltet den Polstofffilter, das Mikrosieb und einen Kiesfilter. Klasse 2 wird vom Lamellenabscheider erreicht. Aufgrund der vorliegenden Daten kann erwartet werden, dass ein Lamellenabscheider bei hoher GUS-Zulaufkonzentration bzw. nicht geeigneter Dimensionierung nur Klasse 1 erzielt. In Klasse 1 sind schliesslich Absetzbecken zu finden. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass zur GUS-Entfernung ein breites Leistungsspektrum an Verfahren zur Verfügung steht.

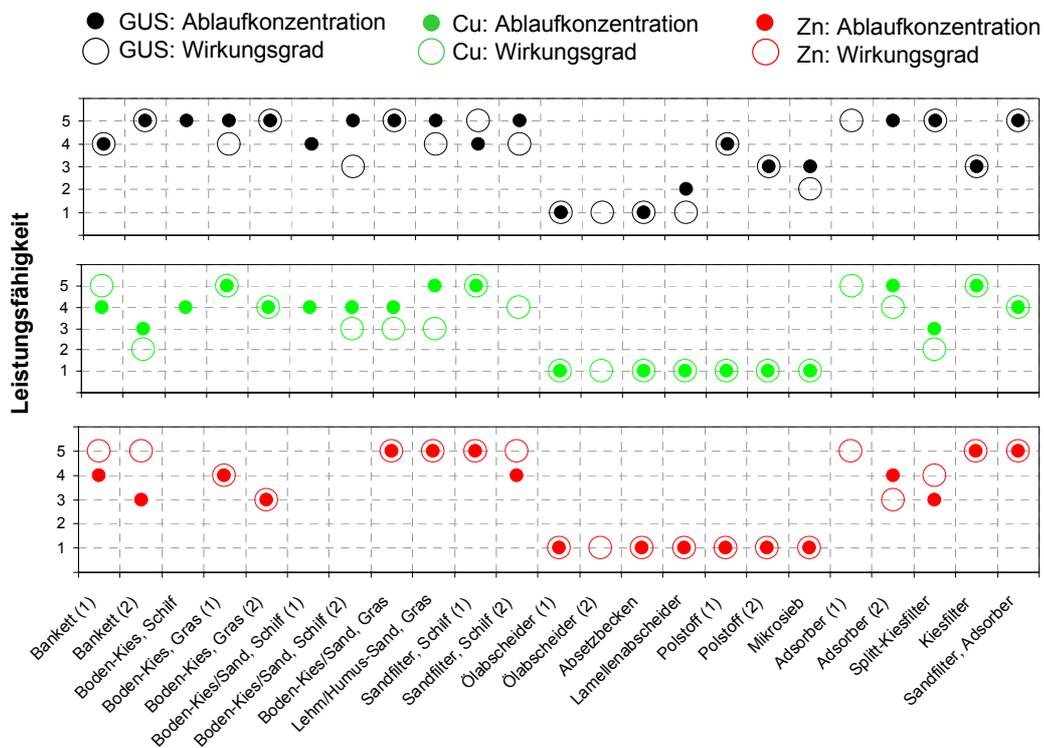


Abb. 4.10 Erzielte Ablaufkonzentrationen und Wirkungsgrade für GUS, Kupfer und Zink. Zuordnung der Anlagen in Abb. VI.2.

4.5.3 Entfernung von Kupfer und Zink

Die von den Behandlungsverfahren erzielten Leistungen bezüglich der Kupfer- und Zinkentfernung sind in Abb. 4.10 dargestellt. Die Ablaufkonzentrationen von Kupfer und Zink zeigen, dass diese beiden Schwermetalle im Vergleich zu GUS von einigen technischen Einzelverfahren schlechter zurückgehalten werden. Insbesondere Absetzbecken, der untersuchte Lamellenabscheider sowie die auf der Siebfiltration basierenden Verfahren (Polstofffilter und Mikrosieb) vermögen Kupfer und Zink nur geringfügig zu reduzieren und zeigen somit hohe Ablaufkonzentrationen (Klasse 1).

Dieser Sachverhalt ist auf die hohen Anteile von feinpartikulärem, kolloidalem und gelöstem Kupfer und Zink zurückzuführen, welche von Sedimentations- und Siebfiltrationsverfahren technisch bedingt schwierig bzw. gar nicht zu entfernen werden können (Anhang I.4.1). Im Vergleich dazu zeigen Raumfilter, Adsorber und der Splitt-Kiesfilter einen deutlich besseren Rückhalt von Kupfer und Zink. Splitt-Kiesfilter bzw. Kiesfilter erzielen bei Kupfer und Zink die Klassen 3 bis 5. Sandfilter mit Adsorbierschichten erzielen bei Zink Klasse 5 und bei Kupfer Klasse 4.

Ebenfalls geringe Ablaufkonzentrationen werden von bepflanzten Flächenfiltern erzielt, bei Zink häufig Klasse 5, ansonsten Klasse 4. Kupfer ist auch für bepflanzte Filterschichten schwieriger zurückzuhalten als Zink, was sich in der erhöhten Anzahl der bepflanzten Filterschichten mit Leistungsklasse 4 äussert. Klasse 3 für das Bankett (2) ist auf wenige hohe Messwerte zurückzuführen und verfehlt Klasse 4 nur knapp (11 µg/l Cu).

Die Leistungsklassen der Wirkungsgrade unterscheiden sich vor allem bei bepflanzten Filterschichten, indem sie zwischen Klasse 3 und Klasse 5 liegen. Auch bei den technischen Verfahren ergeben sich im Vergleich zu den Ablaufkonzentrationen unterschiedliche Klassen und zwar beim Mikrosieb, beim Adsorber und auch beim Splitt-Kiesfilter¹⁰.

4.5.4 Entfernung von DOC und PAK

Die Ergebnisse für die Ablaufkonzentrationen von DOC sind in Abb. 4.11 dargestellt. Daten für DOC-Ablaufkonzentrationen liegen hauptsächlich für bepflanzte Filterschichten vor. Die Ergebnisse zeigen, dass bei solchen SABA-Typen in den meisten Fällen Klasse 5 und mindestens Klasse 3 erreicht werden kann. Technische Verfahren, welche auf der Siebfiltration oder der Sedimentation beruhen, können DOC verfahrensbedingt nur minimal zurückhalten, was beispielsweise beim Polstofffilter aber auch beim Lamellenabscheider der Fall ist¹¹. Sobald bei technischen Verfahren Raumfilter oder Adsorber zum Zuge kommen, ist der DOC im Ablauf der SABA reduziert. Beispiele dazu sind der Kiesfilter oder der Sandfilter mit einer Adsorbierschicht.

Daten für PAK sind rar. Die vorhandenen Angaben zeigen, dass PAK-Einzelstoffkonzentrationen im Ablauf von weniger als 0.1 µg/l realisierbar sind.

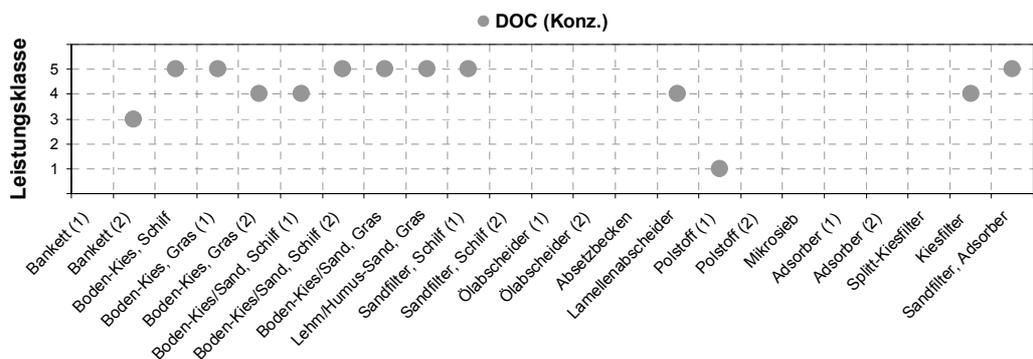


Abb. 4.11 Vergleich der erzielten Leistungsklassen DOC-Ablaufkonzentrationen. Zuordnung der Anlagen in Abb. VI.2.

¹⁰ Die Unterschiede zwischen Ablaufkonzentrationen und Wirkungsgraden werden im Anhang IV.2.1 diskutiert.

¹¹ Klasse 4 beim Lamellenabscheider wurde nur aufgrund der tiefen Zulaufkonzentrationen erzielt. Der Wirkungsgrad für DOC beträgt lediglich 5%.

4.5.5 Bauwerkshöhe, Druckhöhe

Die erzielten Leistungsklassen für die Bauwerkshöhen und Druckhöhen sind in Abb. 4.12 dargestellt. Der Ölabscheider sowie der Lamellenabscheider weisen die grössten Bauwerkshöhen auf (Klasse 1). Der Polstofffilter sowie das Mikrosieb benötigen eine geringere Bauwerkshöhe (Klasse 2). Im Vergleich dazu zeigt das Bankett die geringste Bauwerkshöhe (Klasse 5), gefolgt von bepflanzt Filtern, dem hydraulisch hoch belasteten Adsorber sowie dem Splitt-Kiesfilter (Klassen 3-4). Das Verfahren mit Sandfilter+Adsorber (Retentionsfilter) erreicht bei der Bauwerkshöhe Klasse 3.

Die Unterschiede bei der Druckhöhe sind weniger stark ausgeprägt als bei der Bauwerkshöhe. Das Bankett erzielt analog zur Bauwerkshöhe die beste Klasse 5, zusammen mit dem Ölabscheider, dem Absetzbecken und dem Lamellenabscheider. Diese Verfahren können deshalb bei geringen zur Verfügung stehenden Höhenunterschieden zwischen Zu- und Ablauf eingesetzt werden. Ebenfalls geringe Druckhöhen werden vom Polstofffilter und vom Mikrosieb benötigt (Klasse 4). Bei den bepflanzt Retentionsfiltern entspricht die Druckhöhe der maximalen Aufstauhöhe im Retentionsfilter. Bei üblichen Aufstauhöhen von 1 m entspricht dies Klasse 3.

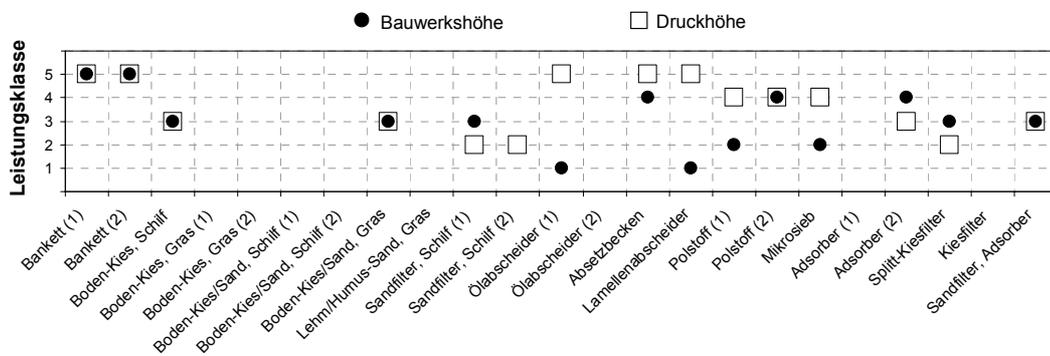


Abb. 4.12 Bauwerkshöhen und Druckhöhen der untersuchten Anlagen. Zuordnung der Anlagen in Abb. VI.2.

4.5.6 Unterhalt und Entsorgung

Angaben für den Unterhalts- und Entsorgungsaufwand sind erst bei wenigen der untersuchten Anlagen vorhanden. Gründe dafür sind:

- Von Pilotanlagen sind situationsbedingt keine Daten vorhanden.
- Die grosstechnisch realisierte SABA mit Lamellenabscheider, Sandfilter und Adsorberschicht sowie die SABA mit Splitt-Kiesfilter und anschliessendem bepflanzt Retentionsfilter sind noch zu wenig lange in Betrieb, als dass aussagekräftige Informationen vorliegen.

Die vorhandenen Daten sind in Abb. 4.13 zusammengestellt. Zu erkennen ist ein Unterhaltsaufwand der Klasse 1 und 5 bei bepflanzt Anlagen sowie der Klasse 5 bei einem Lamellenabscheider. Der Aufwand für die SABA mit Lamellenabscheider und zwei nachgeschalteten Retentionsfiltern (Sandfilter+Adsorber) entspricht demjenigen des Lamellenabscheiders, da an den beiden Retentionsfilterbecken bisher noch kein Unterhalt betrieben werden musste (SABA Attinghausen). Die grossen Unterschiede bei den bepflanzt Anlagen sind auf die wenigen Messdaten zurückzuführen. Die Datenlage des bepflanzt Sandfilters (1) mit Klasse 5 ist am ehesten aussagekräftig.

Die Entsorgungskosten der Boden-Kies/Schilf-SABA und des Lamellenabscheiders entsprechen Klasse 3 und 5 (100-300, <100 CHF/ha/Jahr). Um die Datenlage zu verbreitern, wird deshalb empfohlen, die Erhebungen für den Unterhaltsaufwand sowie für die Entsorgungskosten weiterzuführen. Anschliessend können die Unterhalts- und Entsorgungskosten der Behandlungsverfahren als Funktion der Grösse der entwässert Strassenfläche berechnet werden.

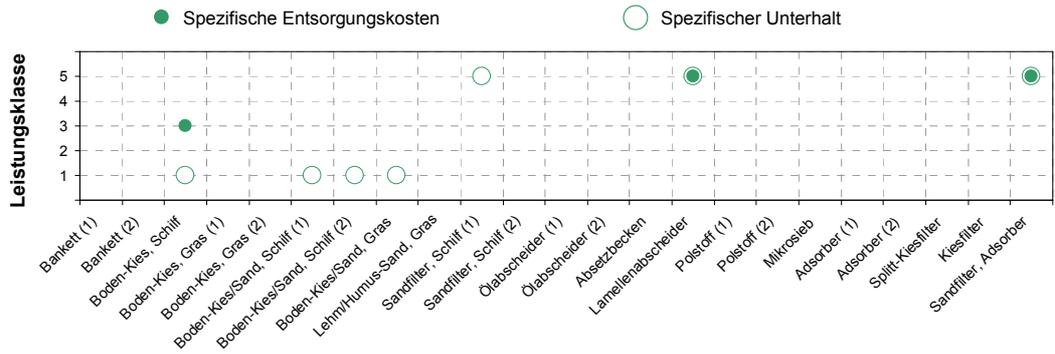


Abb. 4.13 Spezifischer Unterhaltsaufwand und spezifische Entsorgungskosten der untersuchten Anlagen. Zuordnung der Anlagen in Abb. VI.2.

4.5.7 Baukosten

Die spezifischen Baukosten der erhobenen Anlagen sind in Abb. 4.14 dargestellt. Sie bewegen sich von weniger als 100'000 CHF pro Hektare (Klasse 5) bis über 250'000 CHF pro Hektare (Klasse 1). Trotz der im Anhang IV.6 diskutierten eingeschränkten Vergleichbarkeit der Baukosten unterschiedlicher SABA sind folgende Aussagen möglich:

- Der untersuchte Lamellenabscheider sowie der Splitt-Kiesfilter sind kostengünstige Behandlungsverfahren (Klasse 5).
- Bei bepflanztan Behandlungsverfahren zeigen sich grosse Unterschiede. Bestenfalls kann Klasse 4 erzielt werden.
- Die technische Verfahrenskombination bestehend aus Lamellenabscheider mit Sandfilter und Adsorberschicht ist teurer als beplanzte Behandlungsverfahren.

Ein Vergleich der Baukosten mit der Leistungsfähigkeit der Schadstoffentfernung ist noch nicht generell möglich. So zeigen beplanzte Filter eine hohe Schadstoffentfernung bei unterschiedlichen Baukosten, der Splitt-Kiesfilter vergleichsweise geringere Schadstoffentfernung dafür aber tiefere Baukosten.

Ebenfalls eine hohe Schadstoffentfernung erzielt die technische Verfahrenskombination aus Lamellenabscheider und Sandfilter mit Adsorberschicht, allerdings im Verhältnis zu beplanzten Anlagen mit höheren Baukosten.

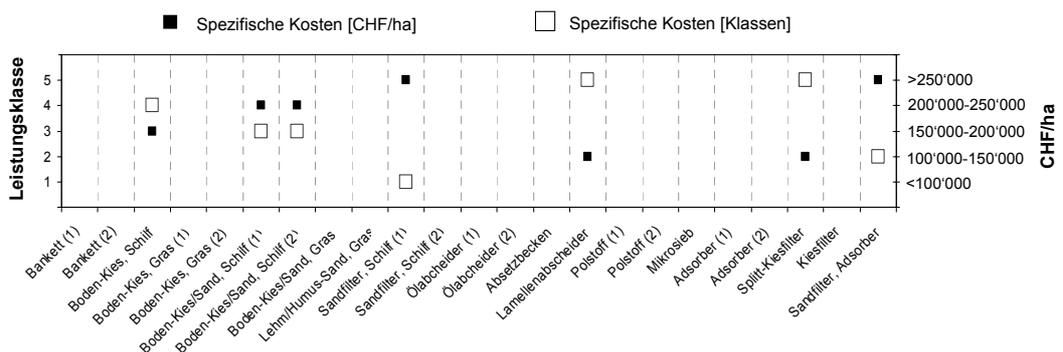


Abb. 4.14 Spezifische Baukosten der erhobenen Anlagen. Zuordnung der Anlagen in Abb. VI.2.

4.6 Behandlungsanforderungen für Verfahren

4.6.1 Übersicht

Behandlungsanforderungen ermöglichen es, die Leistungsfähigkeit von SABA anhand messtechnischer Kriterien zu überprüfen. Behandlungsanforderungen sind SABA-Typ spezifisch und beziehen sich auf die folgenden Kriterien.

- Spezifischer hydraulischer Durchfluss (q_w)
- Ablaufkonzentrationen von GUS, Kupfer, Zink und DOC

Auf die Verwendung von Wirkungsgraden wird verzichtet, weil die messtechnische Erhebung von Wirkungsgraden einen im Vergleich zum Informationsgewinn unverhältnismässigen messtechnischen Aufwand bedingt. In Einzelfällen kann es jedoch sinnvoll sein, den Wirkungsgrad bzw. die Zu- und Ablaufkonzentration von GUS, Kupfer, Zink und allenfalls DOC zu bestimmen. In Abb. 4.15 sind die Grundlagen für die Behandlungsanforderungen dargestellt, welche in Abb. 4.16 schliesslich festgelegt sind. Die Diskussion der Behandlungsanforderungen erfolgt anschliessend in Kapitel 4.6.2 bis 4.6.7.

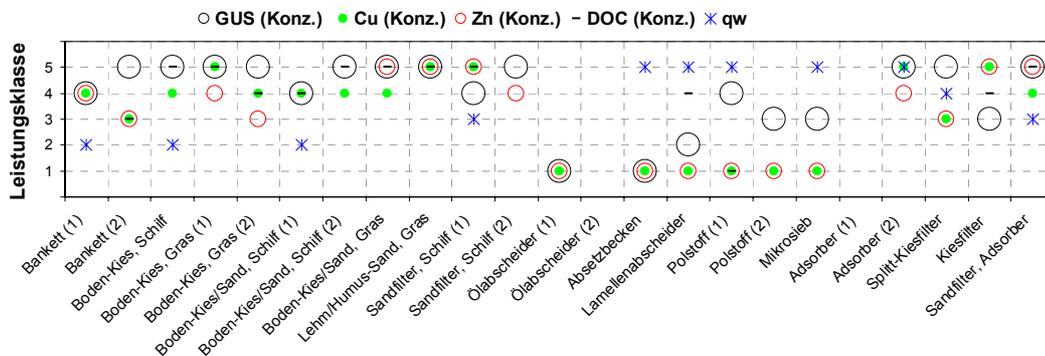


Abb. 4.15 Klassierung der Leistungsfähigkeit: Spezifischer Durchfluss (q_w), Ablaufkonzentrationen von GUS, Kupfer, Zink und DOC. Zuordnung der Anlagen in Abb. VI.2.

Abb. 4.16 Anforderungen für unterschiedliche Behandlungsverfahren.

	GUS	Kupfer	Zink	DOC	q_w
Bankette, Mulden-Rigolen, bepflanzte Filter	5	4-5	4-5	4-5	1-3
Sandfilter+Adsorber	5	4-5	5	4-5	2-3
Adsorber	5	4-5	5	4	5
Splitt-Kiesfilter	4-5	3-4	3-4	3-4	3-4
Polstofffilter	3-4	1	1	1	5
Mikrosieb	3	1	1	1	5
Lamellenabscheider	1-2	1	1	1	5
Absetzbecken, Ölabscheider	1	1	1	1	5

4.6.2 Bankette

Bankette können, die richtige bauliche Ausführung vorausgesetzt, die Schadstoffe wirkungsvoll zurückhalten. Bankette sind unterhaltsarm und damit kostengünstig. Sie sind deshalb wo immer möglich zu empfehlen. Es ist zu beachten, dass Bankette gemäss BAFU-Wegleitung [2] nicht als Behandlungsverfahren gelten, weil das gereinigte Wasser nicht gefasst wird. Im Sinn der Wegleitung entsprechen Mulden-Rigolen einer Behandlung. Bei einer Havarie können Bankette nicht alle Schadstoffklassen wirkungsvoll zurückhalten.

4.6.3 Bewachsene Filter

Die Behandlungsanforderungen an Verfahren mit bewachsenen Filtern sind bei GUS Klasse 5, bei Kupfer, Zink und DOC Klasse 4-5. Bei den unterschiedlichen bewachsenen Retentionsfiltertypen sind, eine sinnvolle bauliche Umsetzung vorausgesetzt, nur geringe Unterschiede zu erwarten. Die Anforderungen an den Durchfluss q_w sind bei bepflanzten Verfahren unterschiedlich. Während bei bepflanzten Retentionsfiltern mit Oberboden Klasse 1-2 erwartet werden kann, ist Klasse 2-3 bei mit Schilf bepflanzten Sandfiltern möglich. Die Datengrundlage ist bei folgenden beiden Typen dürftig. Es wird deshalb empfohlen, bei geeigneten Anlagen Leistungsprüfungen oder -überwachungen durchzuführen.

- SABA Typ BAFU (Leistungsprüfung)
- Sandfilter, mit Schilf bewachsen (Leistungsprüfung / Leistungsüberwachung)

Erhärtert sich die hydraulische Leistungsfähigkeit und der Schadstoffrückhalt von mit Schilf bewachsenen Sandfiltern ebenso wie der geringe Aufwand für den Unterhalt und die Entsorgung, ist der mit Schilf bepflanzte Sandfilter eine Platz sparende Alternative zu Oberbodenfiltern.

4.6.4 Sandfilter mit einer Adsorberschicht

Der Sandfilter mit einer Adsorberschicht erzielt bei der Schadstoffentfernung die höchsten Leistungsklassen und ist mit bepflanzten Retentionsfiltern vergleichbar. Bei der hydraulischen Leistungsfähigkeit ist Klasse 2-3 möglich, womit ein Sandfilter mit einer Adsorberschicht mit Schilf bepflanzten Sandfiltern vergleichbar ist. Dies schlägt sich auch im Flächenbedarf nieder.

Aussagen über den Unterhaltsaufwand und die Entsorgungskosten sind bisher noch nicht möglich. Nach bisher 4-jährigem Betrieb einer solchen SABA mussten lediglich die Grobstoffabtrennung und der Lamellenabscheider unterhalten sowie der Schlamm aus dem Lamellenabscheider abgepumpt und entsorgt werden.

4.6.5 Adsorber

Ein hydraulisch hoch belasteter Adsorber wird als Nachbehandlungsstufe nach einer leistungsfähigen Partikelabtrennung eingesetzt. Der Unterschied zu einer Adsorberschicht in einem Sandfilter besteht darin, dass beim hoch belasteten Adsorber nur Adsorbermaterial besteht, was einen höheren Durchfluss ermöglicht. Bei den erzielbaren Ablaufkonzentrationen kann, wie bei bepflanzten Retentionsfiltern und dem Sandfilter mit Adsorberschicht die Leistungsklasse 5 bei GUS und Zink und Klasse 4-5 bei Kupfer erwartet werden¹². Bei DOC wird, infolge der geringen Aufenthaltszeit von Klasse 4 ausgegangen. Der Vorteil eines hydraulisch hoch belasteten Adsorbers liegt in der hohen hydraulischen Leistungsfähigkeit (Klasse 5), was kompakte, Platz sparende Adsorber und somit SABA ermöglicht. Die Unterhalts- und Entsorgungskosten können in der Regel anhand der Schadstoffbelastung sowie der Hydraulik berechnet werden.

4.6.6 Splitt-Kiesfilter

Die Behandlungsanforderungen für Splitt-Kiesfilter können aufgrund der heutigen Datengrundlage noch nicht festgelegt werden. Bei GUS kann von Klasse 4-5 und bei Kupfer, Zink und DOC von den Leistungsklassen 3-4 ausgegangen werden. Die DOC-Ablaufkonzentration ist, wie auch bei anderen technischen Verfahren, voraussichtlich abhängig von der Höhe der Zulaufkonzentration.

¹² Eine richtige, dem Betrieb angepasste Dimensionierung bezüglich Schadstoffrückhalt und Hydraulik vorausgesetzt.

Die hydraulische Leistungsfähigkeit des Splitt-Kiesfilters ist höher als diejenige von bepflanzen Retentionsfiltern und von Sandfiltern mit einer Adsorbierschicht, was kompakte Anlagen ermöglicht. Allerdings noch Fragen offen, welche insbesondere die Stabilität des Durchflusses während langen Regenperioden betreffen. Diese und weitere Fragen werden im Verlauf der Leistungsprüfung der SABA Hagnau geklärt.

Bestätigen sich der Schadstoffrückhalt sowie der hohe spezifische Durchfluss in den nächsten Jahren und bleiben der Unterhalts- und Entsorgungsaufwand gering, ist der Splitt-Kiesfilter eine kostengünstige und Platz sparende Option für Entwässerungsabschnitte, bei welchen ein hoher GUS-Rückhalt und ein hoher Schwermetall- und DOC-Rückhalt verlangt ist.

4.6.7 Polstofffilter und Mikrosiebe

Die Behandlungsanforderungen an Polstofffilter und Mikrosiebe sind ähnlich und unterscheiden sich aufgrund der heutigen Datenlage geringfügig bei der GUS-Ablaufkonzentration. Beim Polstofffilter kann bei GUS von Klasse 3-4 und beim Mikrosieb von den Klasse 3 ausgegangen werden. Für Kupfer, Zink und DOC ist Klasse 1 zu erwarten, da der Rückhalt dieser Stoffe sowohl vom Polstofffilter als auch vom Mikrosieb verfahrenstechnisch bedingt gering ist¹³.

Die hydraulische Leistungsfähigkeit entspricht bei beiden Verfahren der Klasse 5 und ermöglicht somit eine Platz sparende Partikelabtrennung. Ein weiterer Vorteil sowohl vom Polstofffilter als auch vom Mikrosieb ist die geringe benötigte Druckhöhe von weniger als 0.5 m, was den Einsatz bei geringen Höhendifferenzen zwischen Zu- und Ablauf ermöglicht. Beide Systeme benötigen eine zusätzliche Schlammbehandlung, welche wie die beiden Behandlungsverfahren selbst noch nicht grosstechnisch getestet worden ist.

4.6.8 Absetzbecken und Lamellenabscheider

Die Behandlungsanforderungen an Absetzbecken und Lamellenabscheider unterscheiden sich lediglich beim GUS-Rückhalt. Beim Absetzbecken ist Klasse 1 zu erwarten. Vorbehalten bleiben Situationen mit GUS-Zulaufkonzentrationen von weniger als 40-50 mg/l. Beim Lamellenabscheider kann bei richtiger Dimensionierung und GUS-Zulaufkonzentrationen im Bereich von 100 mg/l Klasse 2 erzielt werden. Bei GUS-Zulaufkonzentrationen von über 100 mg/l ist aufgrund heutiger Erkenntnisse unsicher, ob Klasse 2 erreicht wird. Bei Kupfer, Zink und DOC ist bei beiden Verfahren von Klasse 1 auszugehen. Die hydraulische Leistungsfähigkeit entspricht bei beiden Verfahren Klasse 5.

4.7 Behandlungskategorien für Verfahren

Gestützt auf die Leistungsfähigkeit der Behandlungsverfahren werden Behandlungskategorien vorgeschlagen, die sich an den Ablaufkonzentrationen von GUS, Kupfer, Zink und DOC gemäss Abb. 4.16 orientieren. Die Behandlungskategorien sind in Abb. 4.17 beschrieben.

- A Kategorie A erzielt bei GUS, Kupfer, Zink und DOC die tiefsten Ablaufkonzentrationen gemäss heutigem Stand der Technik.
- B Kategorie B erzielt tiefe Ablaufkonzentrationen bei GUS (Klasse 4-5), bei Kupfer und Zink und DOC sind die Anforderungen mit Klasse 3-4 weniger streng.
- C Kategorie C ist auf GUS-Rückhalt ausgelegt. Es werden GUS-Ablaufkonzentrationen der Klassen 3-4 vorausgesetzt. An den Schwermetallrückhalt werden keine Anforderungen gestellt.
- D Kategorie D verlangt nur einen geringen GUS-Rückhalt (Klasse 2). An den Schwermetallrückhalt werden keine Anforderungen gestellt.
- E Keine Anforderungen im Sinn der Klassierung.

¹³ Bei Zulaufkonzentrationen deutlich unterhalb der Werte gemäss Abb. I.2 können die Anforderungen höher ausfallen.

Abb. 4.17 Kategorien für die Behandlung von Strassenabwasser basierend auf heutigen Erkenntnissen und Technologien.

Kategorie	GUS	Kupfer	Zink	DOC
A	5	4-5	4-5	4-5
B	4-5	3-4	3-4	3-4
C	3-4	1	1	1
D	2	1	1	1
E	1	1	1	1

4.8 Vergleich der Leistungsklassen mit Vorgaben

4.8.1 Übersicht

Zur Einordnung der Leistungsklassen bezüglich GUS-, Kupfer-, Zink-, DOC und PAK-Ablaufkonzentrationen werden die folgend aufgeführten gesetzlichen Grundlagen und Richtlinien hinzugezogen. Ein Vergleich ist grafisch in Abb. 4.18 dargestellt.

1. Anforderungen an die Wasserqualität (Anhang 2 GSchV).
2. Anforderungen an die Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer (Anhang 3.1 GSchV).
3. Die Forderung der BAFU-Wegleitung „Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen“, dass bei künstlichen Filtermaterialien eine mindestens ebenbürtige Wirkung nachzuweisen ist, wie jene eines Bodenfilters.

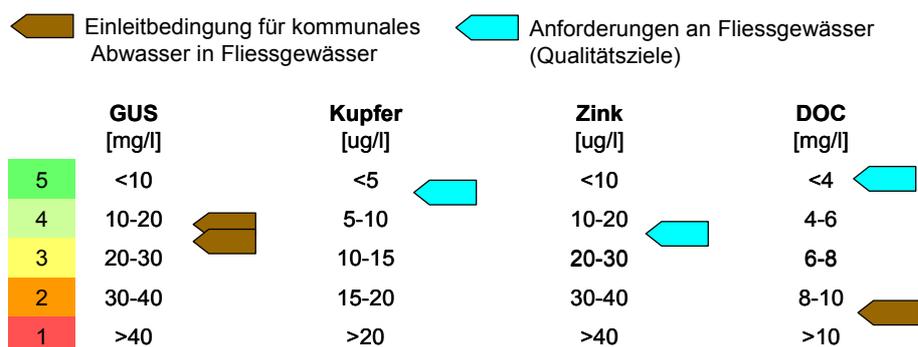


Abb. 4.18 Vergleich der Leistungsklassen mit der Einleitbedingung für gereinigtes kommunales Abwasser in Fließgewässer (GUS) und mit den Anforderungen an die Wasserqualität gemäss GSchV Anhang 2. Gesamte Gehalte für Kupfer und Zink.

4.8.2 GUS

Als Vergleichswert für GUS wird die Einleitbedingung für geklärtes kommunales Abwasser gemäss Anhang 3.1 GSchV von 15 und 20 mg/l verwendet¹⁴. Die Leistungsklasse 5 unterschreitet mit mittleren Ablaufkonzentrationen von weniger als 10 mg/l GUS beide Einleitbedingungen. Die Leistungsklasse 4 (10-20 mg/l) liegt im Bereich beider Einleitbedingungen. Abb. 4.16 zeigt, dass sowohl bepflanzte Filter als auch mehrstufige SABA, welche entweder einen Flächenfilter oder einen hydraulisch hoch belasteten Adsorber aufweisen, Klasse 5 entsprechen und beide Einleitbedingungen unterschreiten.

¹⁴ 15 mg/l für mehr als 10'000 EW, 20 mg/l für weniger als 10'000 EW.

4.8.3 Cu, Zn und DOC

Bei Kupfer, Zink und DOC werden die Anforderungen für Oberflächengewässer zum Vergleich der Leistungsklassen hinzugezogen (Gesamte Gehalte, Anhang 2, GSchV). Bei Kupfer entspricht die Anforderung von 5 µg/l der Leistungsklasse 5, welche nur bei optimal gebauten bepflanzten Filterschichten sowie von Verfahren mit Adsorbieren erzielt werden kann (Abb. 4.16). Die Anforderung von 20 µg/l bei Zink entspricht Leistungsklasse 4. Mit bepflanzten Filterschichten sowie mit Adsorbieren ist es möglich, diesen Wert um das Zweifache zu unterschreiten.

Anhand der bisher erhobenen Daten kann DOC von einer SABA mit Lamellenabscheider, Sandfilter und Adsorbierschicht um 50 % reduziert werden. Auch bepflanzte Bodenfilter zeigen eine ähnliche Reduktion. Bei hohen DOC-Zulaufkonzentrationen können Ablaufkonzentrationen von 4 mg/l somit voraussichtlich nicht erreicht werden¹⁵.

4.8.4 Interpretation

Sowohl die Einleitbedingungen für gereinigtes kommunales Abwasser für GUS als auch die Anforderungen an die Qualität von Fliessgewässern können mit SABA gemäss heutigem Stand der Technik erreicht bzw. unterschritten werden. Die Einleitbedingungsbedingung für GUS bei kommunalem Abwasser gilt am Ort der Einleitung. Zudem wird an der Einleitstelle von einem Verdünnungsverhältnis von 1:10 ausgegangen. Die Anforderungen an die Wasserqualität in Fliessgewässern gelten im Gegensatz dazu nach weitgehender Einmischung in ein Fliessgewässer sowie bei jedem Wasserstand. Die Anforderungen an Fliessgewässer unterscheiden sich somit von Einleitbedingungen.

Im Vergleich zur Einleitung von gereinigtem, kommunalem Abwasser weist Strassenabwasser eine deutlich höhere Abfluss- und Schadstoffdynamik auf (Pulsbelastungen). Gerade bei schwachen Vorflutern kann dadurch das „mittlere“ Einleitverhältnis von 1:10 bei intensiveren Niederschlägen¹⁶ häufig unterschritten werden, was eine geringe Verdünnung zur Folge hat. Die Vorgabe der BAFU-Wegleitung nach einem Einleitverhältnis grösser 1 (Q347 des Gewässers zu Einleitungsmenge bei einer Jährlichkeit von 1) kann ohne aufwändige Retention meistens nicht eingehalten werden. Dies bedeutet, dass auch nach weitgehender Durchmischung im Vorfluter die Konzentrationen von beispielsweise Schwermetallen deutlich über den Anforderungen der GSchV liegen können. Verschärfend wirkt die Einleitung von mehreren Entwässerungsabschnitten einer Autobahn oder von zusätzlichen Einleitungen aus der Siedlungsentwässerung in dasselbe Fliessgewässer.

Die GUS-Zusammensetzung bezüglich Schwermetallen und PAK im Strassenabwasser unterscheidet sich von derjenigen im geklärten, kommunalen Abwasser, indem die Schwermetall- und auch die PAK-Gehalte höher sind. Deshalb sind die GUS-Einleitbedingungen von 20 und 15 mg/l nicht direkt auf Strassenabwasser übertragbar. Dasselbe gilt auch für DOC. Zusammenfassend kann somit zweierlei festgestellt werden:

1. GUS-Ablaufkonzentrationen im behandelten Strassenabwasser von weniger als 20 oder 15 mg/l können vor allem bei schwachen Vorflutern oder geringer Retention sinnvoll sein.
2. Kupfer-, Zink- und DOC-Konzentrationen im behandelten Strassenabwasser unterhalb oder im Bereich der Anforderungen für Fliessgewässer können bei schwachen Vorflutern oder geringer Retention und bei mehreren Einleitstellen in dasselbe Fliessgewässer sinnvoll sein.

¹⁵ Vorbehalten bleiben tiefe DOC-Zulaufkonzentrationen.

¹⁶ Sofern keine entsprechende Retention erfolgt.

Die BAFU-Wegleitung verlangt, dass sich die Schadstoffentfernung von SABA am Behandlungsverfahren mit bepflanzter Ober- und Unterbodenpassage orientiert (SABA Typ „BAFU“). Heute kann die Leistungsfähigkeit dieses SABA Typs noch nicht beschrieben werden. Es wird deshalb empfohlen, für den SABA-Typ „BAFU“ Leistungsprüfungen durchzuführen¹⁷. Es kann jedoch vermutet werden, dass solche SABA eine vergleichbare oder bessere Schadstoffentfernung zeigen wie andersartig aufgebaute bepflanzte Retentionsfilter und somit der höchsten Leistungsklassen entsprechen können. Vorbehalten bleiben die Auswirkungen des präferenziellen Flusses sowie der Kolmation.

¹⁷ Vorzugsweise geschieht dies bei SABA, welche bereits in Betrieb sind und eine vorgeschaltete Partikelabtrennung aufweisen.

5 Bestimmung der Leistungsfähigkeit von SABA

5.1 Leistungsprüfung von SABA (Typenprüfung)

Die Leistungsprüfung einer SABA oder auch Typenprüfung genannt, wird bei neuartigen Verfahrenstypen durchgeführt. Das Ziel der Typenprüfung ist es somit, die Leistungsfähigkeit zu bestimmen und die Leistungsgrenzen aufzuzeigen und Dimensionierungsgrundlagen zu schaffen. Der Aufwand einer Typenprüfung ist massgeblich von der Verfahrenscharakteristik (Kapitel 4.3) sowie von der Anzahl der zu testenden Verfahrensstufen im Fall einer mehrstufigen SABA abhängig. Anhand der Leistungsprüfung einer einzelnen Verfahrensstufe können die wesentlichen Elemente einer Leistungsprüfung aufgezeigt werden (Abb. 5.1). Bei mehrstufigen SABA gilt es zudem, die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Verfahrensstufen einzubeziehen.

Die Leistungsprüfung sollte gemäss den Kriterien zur Leistungsbeurteilung von Behandlungsverfahren (Abb. 4.6) durchgeführt werden. Anhand der Ergebnisse der Leistungsprüfung kann das geprüfte Verfahren schliesslich klassiert werden. Merkblätter der geprüften Verfahrenstypen können den Strasseneigentümer sowie den Gewässerschutzämtern den Vollzug erleichtern.

Abb. 5.1 Typenprüfungen von SABA.

Parameter	Beschreibung
Hydraulische Leistung	Die hydraulische Leistung ($l/min/m^2$) ist zu Beginn der Beschickung mit Strassenabwasser zu erheben. Dies betrifft hauptsächlich Flächenfilter: Bepflanzte Filter, Splitt-Kiesfilter, Sandfilter und Adsorberschichten. Anschliessend ist die kontinuierliche Aufzeichnung des Durchflusses durch die Verfahrensstufe notwendig. Bei Bodenfiltern ist zusätzlich das Ausmass des präferenziellen Flusses zu bestimmen.
Zu- und Ablaufkonzentrationen	Die Konzentrationen der Schadstoffe sind im Zu- und Ablauf eines zu testenden Behandlungsverfahrens zu messen. In der Regel werden GUS, Kupfer, Zink, DOC und PAK analysiert. Das Hauptgewicht der Analysen sollte auf GUS, Kupfer und Zink liegen.
Trübungsmessung	Als Indikator für die partikuläre Belastung wird die Trübungsmessung empfohlen, da diese ein Messsignal im Minutentakt ermöglicht. Damit kann das Verhalten eines Verfahrens während Regenereignissen oder während eines Spülvorgangs detailliert aufgezeichnet werden. Die Trübungsmessung bei Leistungsprüfungen ermöglicht zudem, die Kennzahlen zur groben Korrelation zwischen GUS und Trübung für die anschliessende Leistungsüberwachung zu erheben.
Probenahme	Die Probenahmen sind mit Autosamplern und durchflussproportionaler (bezüglich des Zu- oder Abflusses) Ansteuerung der Probenahmen zu realisieren. Bei der Art der Probenahme ist zu unterscheiden zwischen Einzel- und Sammelproben. In der Regel ist es ausreichend, wenn von Ereignissen Sammelproben genommen werden. Die Anzahl der Proben ist von der Verfahrenscharakteristik abhängig. Richtwerte sind in Abb. IV.6 zu finden. Bei neuen Verfahren und nicht reproduzierbaren Ablaufwerten sind Einzelprobenahmen hilfreich.
Wirkungsgrad	Die Wirkungsgrade sind frachtbasiert zu berechnen.
Bodenqualität	Bei bepflanzten Filtern ist die Qualität des Bodens mit den Bodenparametern und dem Schadstoffgehalt vor der Beschickung mit Strassenabwasser zu bestimmen. Das Ziel der Untersuchung ist, Schwermetall- oder auch PAK-Belastungen bei der Verwendung von bereits schadstoffhaltigem Boden zu erkennen, um eine Verfälschung der Ablaufwerte und Fehlinterpretationen der Schadstoffgehalte im Boden während des Monitorings auszuschliessen. Die zu untersuchenden Parameter sind Zink, Kupfer, Blei, Chrom, Cadmium und PAK. Es ist noch zu untersuchen, wie weit die Verwendung von schwach belastetem Boden (nach VBBo) in Retentionsfilterbecken zulässig und sinnvoll ist.
Betrieb- und Unterhaltsaufwand	Zur Erhebungen des Betriebs- und Unterhaltsaufwands sind die Erfahrungen der Werkhöfe einzubeziehen.
Testanlagen	Neue Verfahren sind wenn möglich unter realistisch Bedingungen zu prüfen, denn die Resultate von Typenprüfungen mit kleinmassstäblichen Testanlagen sind oft nur beschränkt übertragbar. Mögliche Ursachen sind: <ul style="list-style-type: none"> nicht repräsentative Beschickung (Pumpen statt Freispiegelzufluss). fehlende oder zu gute Vorreinigung.

	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiede in der baulichen Ausführung zwischen Versuchs- und grosstechnischen Anlagen (Gestaltung der Drainageschicht, Zuleitung etc.). • Der Aufwand für Betrieb und Unterhalt kann nur beschränkt auf grosstechnische Anlagen übertragen werden.
Planung, Durchführung	<p>Die Planung von Typenprüfungen ist spätestens in das Ausführungsprojekt zu integrieren, damit die bauseitig notwendigen Einbauten (Schächte, Kabelrohre etc.) vorgenommen werden können.</p> <p>Bei der Durchführung der Leistungsprüfung ist darauf zu achten, dass die Anlage regelmässig visuell kontrolliert wird. Am besten wird diese Aufgabe vom Werkhof durchgeführt. Damit ist sichergestellt, dass die Betriebserfahrungen in die Datenauswertung einfließen.</p>

5.2 Leistungsüberwachung von SABA

5.2.1 Übersicht

Die Überwachung von SABA hat erstens zum Ziel, die langfristige Funktions- und Leistungsfähigkeit einer SABA zu überprüfen. Die Überwachung setzt voraus, dass die Leistungsfähigkeit des Anlagentyps bekannt ist, beispielsweise aus einer Typenprüfung, und somit Behandlungsanforderungen (Kapitel 4.6, Abb. 4.16) angewendet werden können. Die zweite wichtige Aufgabe der Überwachung ist es, die Betriebs-, Unterhalts- und Entsorgungsarbeiten zu unterstützen und zu optimieren. Analog zur Überwachung von Kläranlagen kann die Leistungsüberwachung von SABA routinemässig und standardisiert durchgeführt und dokumentiert werden. Das folgende beschriebene Vorgehen zur Leistungsüberwachung kann in den Betriebshandbüchern von SABA festgeschrieben werden.

Die Realisierung der Leistungsüberwachung ist vom Verfahrenstyp abhängig. Dabei wird unterschieden zwischen Behandlungsverfahren, die nur GUS und solchen, die GUS, Schwermetalle, DOC und PAK aus dem Strassenabwasser entfernen. Ein gemeinsames Element der Leistungsüberwachung aller Anlagentypen ist die

- periodische visuelle Kontrolle der neuralgischen Punkte einer SABA (Grobstoffabtrennung, Zustand von Filteroberflächen, Abspülungen im Schachtbereich, Veränderung der Einstellung von Schiebern, Dammbalken und Wehren etc.).
- Erfassung des Aufwands für den Betrieb, den Unterhalt sowie für die Entsorgung von Schlamm und Filterschichten.

5.2.2 Retentionsfilterbecken

Messtechnik: Schadstoffrückhalt und Kolmation

Die Eigenschaften von Retentionsfilterbecken (RFB) sind ein stabiler Schadstoffrückhalt (GUS, Schwermetalle, DOC und PAK) sowie deren Anfälligkeit auf Kolmation. Der Schwerpunkt der Leistungsüberwachung liegt deshalb auf der Überwachung der hydraulischen Leistungsfähigkeit. Eine Kolmation kann dann festgestellt werden, wenn der Durchfluss pro Quadratmeter Behandlungsfläche und pro Zeit bei gleichem Wasserstand im RFB abnimmt. Messtechnisch sind dazu die folgenden Einrichtungen notwendig:

- Messung des Wasserstands im RFB sowie Messung des Durchflusses im Ablauf des RFB. Mit Hilfe der Wasserstandsmessung kann bei Starkregen die Beziehung zwischen Wasserstand und Abfluss ermittelt werden (Q-h-Beziehung), welche ein sicheres Mass für den Verlauf der Kolmation darstellt.
- Abhängig vom Filtertyp hilft der Einsatz einer Trübungssonde im Ablauf des RFB zum Erkennen von Filterdurchbrüchen und präferenziellem Fluss.

Zur Feststellung der Kolmation ist die Messung auch nur des Wasserstands im RFB möglich. Dies bedingt zusätzlich eine Kontaktsonde zur Feststellung eines Zuflusses zur Anlage.

Die Messung des Wasserstands kann entweder mit einer Drucksonde oder einem Echolot erfolgen. Die Durchflussmessung wird am einfachsten mit einem V-Wehr und der Messung des Wasserstands über dem V-Wehr mittels Echolot durchgeführt. Alternative Messmethoden sind Magnet-Induktive Sonden, die allerdings teurer sind als Echolote und je nach Typ vollgefüllte Ablaufrohre benötigen (U-Leitung). Es wird deshalb empfohlen, bereits beim Bau von SABA darauf zu achten, dass eine Durchflussmessung im Ablauf mittels V-Wehr und Echolot erfolgen kann. Ein weiterer Vorteil des Echolots sowie der Drucksonde ist die einfache Installation auf der SABA, was periodische Messungen ermöglicht.

Messtechnik: Schadstoffentfernung

Nach etwa einem Betriebsjahr, wenn die SABA eingefahren ist, wird die Schadstoffentfernung überprüft. Dazu werden Proben im Ablauf der SABA genommen. Die Probenahme erfolgt mittels Autosamplern, die entweder von der Durchflussmessung oder der Wasserstandsmessung¹⁸ im RFB angesteuert werden. Die Probenahmen erfolgen im Sammelprobenmodus. Eine Messperiode dauert erfahrungsgemäss 2-3 Monate, vorausgesetzt es fallen genügend Niederschläge. Während dieser Messperiode sollten mindestens 3 Sammelproben von mindestens 3 Abflussereignissen analysiert werden. Das Probenahmenvolumen kann in jedem Fall so angepasst werden, dass auch mehr als 3 Ereignisse beprobt werden können. Die Analyseparameter sind GUS, Kupfer, Zink, und DOC und PAK. Die Bestimmung von PAK kann aus Kostengründen nur in ausgewählten Proben erfolgen.

Aus heutiger Sicht können mit Trübungssonden alleine keine GUS- oder Schwermetallkonzentrationen bestimmt werden. Der Einsatz von Trübungssonden kann sich jedoch eignen, um präferenziellen Fluss mit damit verbundenen Durchbrüchen von partikulärem Material zu erkennen. Ergebnisse aus Leistungsprüfungen werden zeigen, ob eine Trübungssonde im Ablauf von RFB generell empfohlen werden kann oder nicht.

Messtechnik: Schadstoffakkumulation in den Filterschichten

Nach 5 Betriebsjahren kann die Schadstoffakkumulation in den Filterschichten überprüft werden. Dazu werden Feststoffproben aus unterschiedlichen Tiefen der Filterschichten analysiert. Ziel dieser Kontrollen ist die Beobachtung der Schadstoffanreicherung und die rechtzeitige Feststellung von Filterdurchbrüchen mit der Einleitung entsprechender Unterhaltmassnahmen.

Messtechnik: Datenübermittlung und Auswertung

Die aufgezeichneten Daten werden mit GPRS oder GSM übertragen. Um die Messperiode möglichst effizient auszunutzen, müssen die Daten kontinuierlich, das heisst im Regenfall mindestens täglich, ausgewertet werden. Dies ermöglicht die Einstellung der optimalen Ansteuerung der Probenehmer (Probenahmenvolumen, Probenahmeintervalle), die richtige Auswahl der Proben für die Analyse sowie das frühzeitige Erkennen von Messfehlern.

Durchführung der Leistungsüberwachung

Die Leistungsüberwachung einer Retentionsfilter-SABA kann periodisch erfolgen. Damit ist es möglich, mit einem Set von Messgeräten während eines Jahres mehrere SABA zu überwachen und damit Kosten zu sparen. Als ideale Messperiode wird eine Dauer von 2-3 Monaten betrachtet, genügend Niederschlag vorausgesetzt. Nach der Inbetriebnahme einer SABA hat die Überwachung während 3 Jahren jährlich zu erfolgen, es sei denn die Leistungsdaten (Durchfluss, Schadstoffrückhalt) sind bereits nach 2 Jahren stabil und entsprechen den Anforderungen. Anschliessend kann das Überwachungsintervall auf 2-4 Jahre ausgedünnt werden.

Bauliche Voraussetzungen

Bei der Planung von SABA ist dafür zu sorgen, dass V-Wehre und Echolot im Ablauf von Retentionsfiltern eingebaut werden können. Zudem sollte die Zugänglichkeit zum V-Wehr gewährleistet sein, damit das Echolot ein- und ausgebaut werden kann.

¹⁸ Falls nur der Wasserstand im RFB gemessen wird, nicht aber der Durchfluss.

Damit während Messperioden die Einheit für die Datenaufzeichnung und -übermittlung diebstahlsicher montiert werden kann, sollte ein betonierter Sockel oder eine ähnliche Einrichtung (Splittkiste, etc.) an einer geeigneten Stelle vorhanden sein. Ebenfalls ist zu gewährleisten, dass die Probenehmer diebstahlsicher installiert sind.

5.2.3 Hydraulisch hoch belastete Adsorber

Analog zur Leistungsüberwachung von Retentionsfiltern.

5.2.4 Polstofffilter, Mikrosiebe

Polstofffilter und Mikrosiebe zeichnen sich durch einen hohen spezifischen Durchfluss sowie durch GUS-Ablaufkonzentrationen der Klasse 2-4 aus. Beide Behandlungsverfahren wurden bisher noch nicht grosstechnisch eingesetzt. Es wird deshalb empfohlen, mit einem Konzept zur Leistungsüberwachung abzuwarten, bis Ergebnisse von Leistungsprüfungen vorliegen.

5.2.5 Modulare SABA

Modulare SABA beinhalten unterschiedliche Behandlungsverfahren, die oft noch nicht im grosstechnischen Einsatz geprüft worden sind. Analog zur Situation bei Polstofffiltern und Mikrosieben wird deshalb empfohlen, ein Konzept zur Leistungsüberwachung modularer SABA erst nach Vorliegen von Daten von Leistungsprüfungen zu erstellen.

5.2.6 Absetzbecken, Lamellenabscheider

Schwerpunkte der Überwachung

Die Eigenschaften von Absetzbecken und Lamellenabscheidern sind variable und geringe Schadstoffentfernung bei GUS ohne Kolmationsanfälligkeit. Verfahrenstechnisch bedingt liegt der Wirkungsgrad von Absetzbecken bei GUS zwischen 20 und 30 % und bei Lamellenabscheidern zwischen 30 und 55 %, eine richtige Dimensionierung und Hydraulik im Bauwerk vorausgesetzt. Eine Leistungsüberwachung von Absetzbecken und Lamellenabscheidern ist sinnvoll, um die korrekte bauliche Ausführung hinsichtlich der Strömungsführung und der Dimensionierung zur überprüfen. Ebenso unterstützt die Leistungsüberwachung den Betrieb hinsichtlich der Planung, der Reinigung und der Entsorgung des abgesetzten Schlamms.

Messtechnik: Schadstoffentfernung

Infolge der hohen Variabilität der Schadstoffentfernung müssen die Proben mit einer hohen zeitlichen Auflösung frachtproportional genommen werden. Es wird empfohlen, Sammelproben zu nehmen. Eine weitere Möglichkeit, die GUS-Entfernung zu überwachen ist der Einsatz von Trübungssonden. Da die Trübung die GUS-Konzentration nur ungenau beschreibt, ist die Aussagekraft begrenzt. Die Trübungsdaten reichen jedoch, um grobe Funktionsfehler solcher Bauwerke zu beschreiben.

Durchführung der Leistungsüberwachung

Nach der Inbetriebnahme eines Absetzbeckens oder eines Lamellenabscheiders hat die Überwachung solange zu erfolgen, bis reproduzierbare Ergebnisse vorliegen. Dies kann, abhängig von der Betriebsart des Lamellenabscheiders, bis zu einem Jahr dauern. Bei stabilen Ergebnissen und solange keine Änderung des Einzugsgebiets der SABA erfolgt, kann anschliessend auf eine weitere Überwachung verzichtet werden, sofern die notwendigen Informationen für den Betrieb vorliegen (Entleerungsintervalle).

Bauliche Voraussetzungen

Vergleichbar mit Retentionsfiltern.

6 Folgerungen

Heute gibt es unterschiedliche SABA-Typen, welche die Schadstoffe im Strassenabwasser wirkungsvoll entfernen. Die Anlagen mit der höchsten Schadstoffentfernung sind unterschiedliche Typen bepflanzter Retentionsfilter sowie die Verfahrenskombination bestehend aus einem Lamellenabscheider, einem Sandfilter und einer Adsorbierschicht. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Schadstoffrückhalt dieser SABA-Typen aufgrund der Verfahrenstechnik vergleichbar ist mit einem bepflanzten Ober- und Unterbodenfilter gemäss BAFU-Wegleitung. Vertiefte Untersuchungen einzelner bepflanzter Retentionsfiltertypen (Sandfilter mit Schilf, Oberboden-Sand, Oberboden-Kiessandfilter) sowie auch des Bodenfilters Typ BAFU können die noch offenen Fragen klären.

Die gemäss Stand der Technik zur Verfügung stehenden Behandlungsverfahren können unterschiedliche Behandlungsanforderungen erfüllen. Die Abstufung bei Ablaufkonzentrationen für GUS kann im Bereich von weniger als 10 mg/l bis über 40 mg/l in Schritten von 10-20 mg/l erreicht werden. Bei Kupfer und Zink kann zwischen Verfahren unterschieden werden, welche Kupfer und Zink zurückhalten und solchen, die dies nur beschränkt können. Bepflanzte Filter, das Bankett oder Verfahren mit Adsorbiermaterialien zeigen einen hohen Kupfer- und Zinkrückhalt. Wie gut Sandfilter oder Kies-Splittfilter auch gelöste Schwermetalle zurückhalten, ist Gegenstand weiterer Abklärungen. Lamellenabscheider, Polstofffilter und Mikrosiebe hingegen erzielen einen vergleichsweise geringen Kupfer- und Zinkrückhalt. Dasselbe gilt für DOC und PAK.

Somit kann gesagt werden, dass es bei der Festlegung von Behandlungsanforderungen hauptsächlich um die Entscheidung geht, ob nur GUS oder auch Schwermetalle, DOC und PAK wirkungsvoll zurückgehalten werden müssen.

Die hydraulische Leistungsfähigkeit ist bei technischen Verfahren wie Lamellenabscheidern, Polstofffiltern und Mikrosieben und Adsorbieren¹⁹ am höchsten und am geringsten bei bepflanzten Bodenfiltern. Je leistungsfähiger ein Verfahren bezüglich der Hydraulik ist, desto limitierter ist der Schadstoffrückhalt. Genauer betrachtet zeigt sich jedoch, dass die Entwicklung Platz sparender SABA erfolgreich ist. Sichtbar ist dies bei der Verfahrenskombination bestehend aus Lamellenabscheider mit Sandfilter und Adsorber, welche einen ähnlichen Schadstoffrückhalt wie bepflanzte Bodenfilter aufweist, allerdings bei einem eineinhalb bis zweifach höheren spezifischen Durchfluss. Dasselbe gilt möglicherweise auch für mit Schilf bepflanzte Sandfilter.

Eine noch bessere Platzersparnis ermöglicht der Splitt-Kiesfilter. Allerdings ist bei diesem Typ die Schadstoffentfernung noch nicht geklärt. Die bisherigen Erkenntnisse zeigen, dass trotz der hohen hydraulischen Leistung GUS, Kupfer und Zink zurückgehalten werden, Kupfer und Zink jedoch nicht dermassen wirkungsvoll wie bei den leistungsstärksten Verfahren.

Die Platz sparendsten SABA mit potenziell guter Schadstoffentfernung sind technische Verfahrenskombinationen wie der Lamellenabscheider mit Rückspülfilter oder unterschiedliche modular aufgebaute, mehrstufige SABA. Alle diese Verfahren müssen ihre Leistungsfähigkeit bezüglich der Schadstoffentfernung sowohl bei GUS als auch bei den Schwermetallen, bei DOC und bei PAK noch unter Beweis stellen. Bei diesen neuartigen Verfahrenstypen stellt sich insbesondere auch die Frage nach dem Aufwand und damit den Kosten für den Betrieb und den Unterhalt.

Die Baukosten von SABA sind, neben dem SABA-Typ, von zahlreichen Faktoren abhängig, sodass ein Kostenvergleich, auch in Bezug auf die Schadstoffentfernung, heute noch schwierig ist. Dasselbe gilt für die Betriebs-, Unterhalts- und Entsorgungskosten. Es wird deshalb empfohlen, die Datenerhebung weiterzuführen.

¹⁹ Hydraulisch hoch belastete Adsorber.

Leistungsprüfungen von neuartigen, grosstechnischen SABA haben gezeigt, dass es mit einem geeigneten Konzept beinhaltend Messtechnik, Analytik und Datenauswertung möglich ist, die hydraulische Leistungsfähigkeit sowie den Schadstoffrückhalt von Verfahren zu bestimmen sowie Dimensionierungsgrundlagen zu erarbeiten. Konzepte zur Leistungsprüfung sind an die Verfahrenstechnik von SABA anzupassen. Zur Optimierung des Vollzugs können Merkblätter für jeden SABA-Typ basierend auf Leistungsprüfungen erstellt werden.

Die Leistungsüberwachung von SABA hat zum Ziel, den spezifischen Durchfluss und die Schadstoffentfernung überwachen, um bei abnehmendem Durchfluss oder zunehmender Schadstoffkonzentrationen Unterhaltmassnahmen zu ergreifen. Somit unterstützen Leistungsüberwachungen auch die Unterhaltsdienste. Die Leistungsüberwachung ist SABA-Typ spezifisch. Bei Retentionsfilter-SABA (bepflanzt, unbepflanzt) und bei Adsorbern, steht neben der Schadstoffentfernung die Überwachung der Kolmation im Vordergrund. Bei Lamellenabscheidern wird empfohlen, mit Hilfe der Leistungsüberwachung primär die bauliche Ausführung und Dimensionierung zu überprüfen. Bei anderen technischen Verfahren oder modularen SABA gilt es, vor der Ausarbeitung eines Überwachungsprogramms die Ergebnisse von Leistungsprüfungen abzuwarten. Leistungsüberwachungen können messtechnisch so gestaltet werden, dass die Messsonden nicht permanent auf der SABA installiert sein müssen, sondern nach Messphasen mit der Dauer von 2-3 Monaten ausgebaut und bei der nächsten SABA installiert werden können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Strassenabwasserbehandlung in der Schweiz in den letzten Jahren Fortschritte gemacht hat. Dies zeigt sich an der Entwicklung von neuartigen Verfahren, am grosstechnischen Einsatz von neuartigen Verfahrenskombinationen sowie an den gleichzeitig zum grosstechnischen Einsatz erfolgten ersten Leistungsprüfungen. Zusammen mit den Ergebnissen zahlreicher Pilotprojekte haben die Ergebnisse der Leistungsprüfungen dazu beigetragen, die Datengrundlage für diesen Bericht zu schaffen und somit den Stand der Technik zu beschreiben.

In den nächsten Jahren können Leistungsprüfungen- und Überwachungen die Wissenslücken bei bestehenden Verfahren schliessen sowie die Möglichkeiten und Grenzen bei neuartigen, Platz sparenden und trotzdem effizienten SABA aufzeigen. Dies ermöglicht letztlich den Einsatz von SABA bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen mit dem Ziel, einen wirkungsoptimierten und kosteneffizienten Gewässerschutz zu vollziehen.

7 Empfehlungen

7.1 Komplettierung der Datengrundlage

7.1.1 Leistungsprüfungen von SABA-Typen

SABA-Typ BAFU

Beim SABA-Typ BAFU mit Ober- und Unterbodenpassage stehen folgende Fragestellungen im Vordergrund:

- Hydraulische Leistungsfähigkeit und Kolmation
- Präferenzieller Fluss
- Schadstoffrückhalt
- Verfügbarkeit geeigneter Böden
- Beschaffung und Verarbeitung von Bodenmaterialien
- Geeignete Bepflanzung
- Unterhalt und Betrieb

Die BAFU-Wegleitung beschreibt die für diesen SABA-Typ notwendigen Bodeneigenschaften [2]. Der VSA hat mit seiner Richtlinie Regenwasserentsorgung, Update 2008 davon abweichende Empfehlungen herausgegeben [3]. In der Praxis entsteht dadurch eine gewisse Unsicherheit über die geeigneten Bodenqualitäten. Diese hat unter anderem dazu geführt, dass die bereits realisierten Anlagen sehr unterschiedliche Bodeneigenschaften aufweisen und mitunter erheblich von der empfohlenen optimalen Bodenzusammensetzung abweichen. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Leistungsprüfung bei mehreren SABA dieses Typs durchzuführen.

Der Bau von RFB mit Ober- und Unterboden benötigt relativ viel Bodenressource als Verbrauchsmaterial. Dieser Umstand wurde verschiedentlich durch den Bodenschutz kritisiert. Hier wäre es sinnvoll, nach Alternativen zu suchen. Vorgeschlagen wurde bereits der Einsatz von schwach belastetem Boden aus strassennahen Flächen, der nicht mehr für Rekultivierungen verwendet werden darf, sondern zu deponieren ist. Dagegen spricht, dass Filtermaterialien gemäss deutschen Richtlinien generell unbelastet sein müssen. Falls am Konzept der Bodenfilter festgehalten wird, besteht hier dringender Bedarf an zusätzlichen Erkenntnissen.

Modifizierte RFB mit Bodenfilter

Bei der Projektierung von RFB mit Bodenfiltern entsteht häufig das Problem, dass kein geeigneter Unterboden zur Verfügung steht. Gegenwärtig werden deshalb vorwiegend Filter mit Oberboden über Sand (0/4 mm) bzw. und in einigen Fällen auch über Kiessand (0/63 mm) gebaut. Mit dieser Bauweise soll der schwierig zu beschaffende und zu verarbeitende Unterboden durch problemlosere Materialien ersetzt werden. Zudem wird erwartet, dass der Sand den im Oberboden unvermeidlich auftretenden präferentiellen Fluss bis zu einem gewissen Grad kompensieren könne.

Neuere Publikationen weisen jedoch darauf hin, dass diese Zweischichtfilter mit Oberboden und Sand Probleme bereiten können [4]. So wurde beobachtet, dass als Folge von Kurzschlussströmungen im bindigen Oberboden an der Grenzschicht zum Sand Feinpartikel abgelagert werden. Bei diesem Prozess besteht die Gefahr einer Kolmatierung im Innern des Filters, was erhebliche Probleme bei der Sanierung verursachen würde. Ebenfalls wurde an diesen Grenzschichten eine markante Senkung des pH-Wertes beobachtet, was zur Mobilisierung der Schwermetalle führen kann. Aus diesen Gründen sind weitergehende Abklärungen zum Langzeitverhalten von Boden-Sandfiltern zu empfehlen.

Bepflanzte Sandfilter Typ CH

In Deutschland gibt es viele Auswertungen von bepflanzten Sandfiltern. In der Schweiz ist die Datengrundlage noch ungenügend. Da in der Schweiz bisher andere Sandqualitäten (0/4 mm anstelle von 0/2 mm), mit anderer Kornform und meist höherem Karbonatgehalt als in Deutschland eingesetzt werden, sind Leistungsprüfungen für diesen SABA-Typ notwendig.

Neben der Prüfung der Reinigungswirkung sollte auch die optimale Filterfläche evaluiert werden. Bisher wird von einer erforderlichen Filterfläche von ca. 200 m² pro Hektare Strasse ausgegangen. Es ist aber durchaus möglich, bei guter Vorbehandlung mit kleineren Filterflächen auszukommen. Mit einer alternierenden Beschickung von zwei Becken kann unter Umständen mit kleineren Filterflächen operiert werden [5], [6]. Zudem zeigen neuere Erkenntnisse, dass bei Sandfiltern auch Unterbelastung zu Problemen führen kann. In diesem Sinne dürfen Sandfilter nicht zu gross dimensioniert sein.

Neuere Bestrebungen in Deutschland laufen dahingehend, das vorgeschaltete Absetzbecken wesentlich zu verkleinern. Es werden Versuchsanlagen mit lediglich 0.5 m³ Absetzvolumen pro Hektare Strassenfläche erstellt. In der Schweiz sollten bei den bereits erstellten Sandfiltern SABA Ristet, SABA Wüerital und SABA Chlosterschür die Betriebserfahrungen systematisch ausgewertet werden. Bei der SABA Ristet ist seit August 2009 nur ein Filterbecken in Betrieb, um festzustellen, ob eine höhere hydraulische Belastung zur Kolmation führt oder nicht.

Die SABA Wüerital (Verkehrsdreieck Filderen) hat eine extrem hohe Flächenbelastung von ca. 100 m² Strasse pro m² Filterfläche. Zudem fliesst viel Fremdwasser auf die Anlage. Diese Anlage ist erst seit April 2009 in Betrieb. Der Schilfbestand ist erst wenig etabliert. Der Betrieb dieser Anlage muss unbedingt systematisch begleitet werden, Massnahmen zur Betriebsverbesserung sind zu ergreifen (Fremdwasserweiche) und die Erfahrungen müssen dokumentiert werden.

Lamellenabscheider

Lamellenabscheider unterscheiden sich bezüglich der Betriebskonzepte, der baulichen Gestaltung und der Anordnung der Lamellen. Die Leistungsmöglichkeiten eines Lamellenabscheiders mit starren Lamellen betrieben im Dauereinstau sind bekannt. Bis Leistungsdaten von anderen Typen vorliegen, wird empfohlen, diese zurückhaltend einzusetzen²⁰.

Lamellenabscheider und Sandfilter

Die Verfahrenskombination bestehend aus Lamellenabscheider und Sandfilter und Adsorber zeichnet sich durch die bereits geschilderte hohe Leistungsfähigkeit aus. Die Frage stellt sich nun, wie gut eine vergleichbare SABA, allerdings ohne Adsorberschicht im Sandfilter abschneidet. Aufgrund der Verfahrenstechnik kann erwartet werden, dass die Schadstoffe weniger gut zurückgehalten werden, aber immer noch Kategorie B erreicht werden könnte (Kapitel 4.7). Das Weglassen einer Adsorberschicht senkt die Baukosten dieses Verfahrenstyps erheblich.

Die Erfahrungen bei der SABA Sihlbrugg sind für den Neubau solcher Filtertypen unbedingt zu berücksichtigen (vgl. Untersuchungen Tiefbauamt Zug/Pazeller, ilu, wst21, 2009).

Rückspülbarer Schnellfilter

Der rückspülbare Schnellfilter ist eine Möglichkeit, mit hoher Mechanisierung die Behandlung von Strassenabwasser auf verhältnismässig geringer Fläche zu realisieren. Aufgrund der Verfahrenstechnik kann Kategorie B oder allenfalls A erzielt werden (Kapitel 4.7). Bei einer Leistungsprüfung dieses Verfahrenstyps steht wegen der hohen Mechanisierung neben der Hydraulik und Schadstoffentfernung vor allem der Aufwand für den Betrieb, den Unterhalt sowie die Entsorgung im Vordergrund.

²⁰ Im Jahr 2010 bis 2011 wird von der Stadt Zürich ein Lamellenabscheider mit schwenkbaren Lamellen sowie intermittierendem Betrieb getestet.

Modulare SABA-Systeme

Derzeit werden auf dem Markt unterschiedliche technische, modulare SABA-Systeme angeboten. Bei einigen Systemen ist die Leistungsfähigkeit einzelner Behandlungsstufen erprobt, jedoch nicht deren Zusammenspiel. Zudem ist der Aufwand für den Betrieb, den Unterhalt und die Entsorgung noch nicht bekannt. Es wird deshalb empfohlen, diesem Aspekt bei der Leistungsprüfung besondere Beachtung zu schenken und die Leistungsprüfung entsprechend zu gestalten.

7.1.2 Forschungsbedarf bei neuartigen Verfahren

Einsatz von Flockungsmitteln bei Lamellenabscheidern

Der Einsatz von Flockungsmitteln bei Lamellenabscheidern kann zu einer erhöhten GUS- und Schwermetallentfernung führen. Fragen nach der Dosierung (Ansteuerung) und Einmischung der Flockungsmittel sowie den Schlammeigenschaften bezüglich Sedimentation und Schlammvolumen sind noch nicht beantwortet.

Es wird empfohlen, dieses Verfahren bei einem bestehenden Lamellenabscheider mit Betriebserfahrung zu erproben. Eine Möglichkeit ist beispielsweise der Lamellenabscheider der SABA Attinghausen, bei dem die benötigte Messtechnik zur Leistungsprüfung bereits installiert ist und im Rahmen der Langzeitüberwachung noch 4 Jahre in Betrieb sein wird. Eine andere Variante besteht darin, bei einem projektierten aber noch nicht gebauten Lamellenabscheider den Einsatz und die Wirkung von Flockungsmitteln zu prüfen. Diese Variante hat den Vorteil, dass der Lamellenabscheider gezielt für den Einsatz von Flockungsmitteln optimiert werden kann.

In jedem Fall sind beim Einsatz von Flockungsmitteln die Auswirkungen der Entlastungen und der damit enthaltenen Flockungsmittel auf die Gewässer sowie die Entsorgung zu überprüfen.

Membranen

Beim Einsatz von Membranen zur Behandlung von Strassenabwasserbehandlung stellt sich vor allem die Frage nach der Praktikabilität bezüglich der Wartung der Membranen, um das Fouling (Kolmation der Membranporen) zu begrenzen. Bei zu grossem Fouling bzw. zu hohen Kosten zur Beseitigung des Foulings schwinden die Vorteile der Membranen.

Das Fouling und die Reinigung sind massgeblich vom Membrantyp, der Betriebsart der Membran sowie von der Vorreinigung abhängig. Zu deren Untersuchung sind aufwändige Versuche notwendig. Es wird empfohlen, entsprechende Versuche mit Fokus auf den Betrieb und Unterhalt einer solchen Anlage im halbtechnischen Massstab durchzuführen.

7.1.3 Ergänzung der Datenerhebung bei bestehenden SABA

Damit die Strasseneingetümer und die Werkhöfe die Funktionsfähigkeit der SABA kontrollieren, optimieren und erhalten können, wird empfohlen, mit Hilfe der Leistungsüberwachung (Kapitel 5.2) von SABA die dazu notwendige Datenbasis zu schaffen. Gleichzeitig ist es damit möglich, die Leistungsfähigkeit von SABA auch in Zusammenhang mit den Unterhalts- und Entsorgungskosten zu beurteilen.

Zu diesem Zweck wird empfohlen, bei neuen SABA bereits in der Planung die in Kapitel 5.2 beschriebenen verhältnismässig einfachen baulichen Voraussetzungen für den Einbau der Messtechnik zu schaffen. Zusätzlich kann in Zusammenarbeit mit den Unterhaltendiensten eine standardisierte Dokumentation oder auch Vorlage entwickelt werden, welche es ermöglicht, die „Geschichte“ jeder SABA zusammen mit den Daten aus der Leistungsüberwachung zu erfassen, zum Beispiel in einem SABA-Kataster.

7.1.4 Systematische Analyse der Trübungsdaten

Trübungssonden werden bei zahlreichen Leistungsprüfungen und -überwachungen als Indikator für die partikuläre Belastung im Zu- oder Ablauf einer SABA verwendet. Der Vorteil der Trübungsmessungen liegt im zeitlich hoch aufgelösten Messsignal, das die Beobachtung des Verlaufs einzelner Abflussereignisse ermöglicht. Der Nachteil der Verwendung von Trübungssonden besteht jedoch darin, dass bisher nur ungenaue Rückschlüsse bezüglich der Korrelation der Trübung mit GUS gemacht werden können. Dies erschwert die Verwendung von Trübungssonden zur Leistungsüberwachung von SABA, welche hauptsächlich auf die Entfernung von GUS ausgelegt sind. Es wird deshalb empfohlen, die von den zahlreichen Leistungsprüfungen oder -überwachungen vorhandenen Daten systematisch statistisch auszuwerten.

7.1.5 Kostenberechnungen für unterschiedliche SABA-Typen

Je nach Verfahrenstechnik und Einzugsgebietsgrösse variieren die Baukosten von bisher realisierten SABA in der Schweiz zwischen ca. CHF 10.- und ca. CHF 40.- pro m² Strasse (vgl. https://infonetz.ilu.ch/saba_v24/index.php), da unterschiedliche Faktoren die Baukosten wesentlich mitbestimmen.

Ein Argument besagt, dass die spezifischen Kosten (pro Hektare Einzugsgebiet) für den Bau und Betrieb bei kleinen Anlagen höher sind als bei SABA mit grösseren Einzugsgebieten. Das ASTRA setzt deshalb bei 4 Hektaren Einzugsgebiet die Grenze für einen rationalen Bau und Betrieb von SABA. Kleinere Einzugsgebiete sollen, falls nötig mit Pumpwerken, zu grösseren Einheiten zusammengefasst werden.

Um die Kosten der unterschiedlichen SABA-Typen nachvollziehbar miteinander vergleichen zu können, wird deshalb empfohlen, anhand von unterschiedlich grossen Modellstrassenabschnitten und Standardsituationen die Baukosten für unterschiedliche SABA-Typen zu ermitteln. Zusammen mit der verbreiterten Datengrundlage ist es dann möglich, eine Gesamtkostenrechnung unterschiedlicher SABA-Typen insbesondere als Funktion der Schadstoffentfernung zu erstellen.

7.2 Retention und Behandlung in ARA

7.2.1 ARA als Behandlung (inkl. Mischwasser und Kosten)

Durch den grossen Anteil an organischem Material im Mischabwasser wird vermutet, dass die partikuläre Fracht im Strassenabwasser bei gemeinsamer Ableitung in ein Retentionsbecken (Regenbecken) besser gebunden werden kann. Eine anschliessende Behandlung des Mischabwassers mit Strassenabwasser in der ARA ist bezüglich Wirkung und Kosten noch zu prüfen. Bei einer bestehenden ARA in der Nähe des anfallenden Strassenabwassers ergäben sich somit allenfalls Synergien bei der gemeinsamen Behandlung von kommunalem Mischabwasser und Strassenabwasser. Folgende Fragen stehen im Vordergrund:

- Wie gut ist die Reinigungsleistung (Wirkungsgrad) der kommunalen ARA's bezüglich der Schadstoffe im Strassenabwasser?
- Wie viel Strassenwasser kann eine ARA zusätzlich abarbeiten?

7.2.2 Retentionsvolumen und Entlastungsmengen

Die Menge des zu behandelnden Strassenabwassers ist entscheidend für die Grösse der Bauwerke. Die Mischwasserbehandlung in der Siedlungsentwässerung zeigt dabei den Weg vor, wie viel Mischwasser bei Regenwetter in die ARA gelangt, wie viel im Regenbecken gespeichert und wie viel Mischwasser unbehandelt in das Gewässer entlasten darf. Dieser Ansatz soll auch in angepasster Form für das Strassenabwasser angewendet werden. Dabei können sich die heute oft zu gross dimensionierten Retentionsvolumina für SABA deutlich reduzieren. Folgende Fragen stehen im Vordergrund:

- Wie viel Strassenabwasser muss in Bezug auf die gesamte Jahresabflussmenge in der SABA gespeichert und behandelt werden?
- Wie viel Strassenabwasser kann unbehandelt entlastet werden? Wie gross muss der hydraulische Wirkungsgrad einer Anlage mindestens sein?
- Ist es aufgrund der ausgeprägten Schadstoffdynamik möglich, hydraulische Wirkungsgrade mit Frachtwirkungsgraden zu koppeln?

7.3 Schlammentsorgung, Wertstoffrückgewinnung

Künftig werden immer grössere Mengen an abgetrenntem Schlamm in SABA anfallen. Dasselbe gilt auch für Adsorbenschichten oder Bodenmaterial, das mit Schadstoffen belastet ist. Es ist deshalb abzuklären, welche Stoffe wie aufbereitet, entsorgt oder gegebenenfalls wieder verwendet werden können.

7.4 Auswirkungen auf die Gewässer

Es fehlen verlässliche Untersuchungen über die konkreten Auswirkungen von Strassenabwasser-Einleitungen auf die Gewässer. Welche Anforderungen sind an die Behandlung des Strassenabwassers betreffend Wassermenge und Wasserqualität zu stellen? Je nach Empfindlichkeit des Gewässers sind von der Behörde gemäss GSchV Anhang 3.3 unterschiedliche Einleitungsbedingungen festzulegen. Es wird empfohlen, in Zusammenarbeit mit den kantonalen Gewässerschutzfachstellen nachvollziehbare Vorgaben festzulegen. Dabei ist insbesondere der "Stand der Technik bei der Behandlung von Strassenabwasser" einzubeziehen.

7.5 Projektierungshilfe für SABA

Es fehlt eine Projektierungshilfe für SABA, um die Evaluation geeigneter SABA-Typen und deren Dimensionierung zu erleichtern. Neben Vereinfachungen im Bewilligungsverfahren sollen auch Kostenoptimierungen erreicht werden. Eine Projektierungshilfe muss offen gestaltet werden, damit die Entwicklung neuer Verfahren aufgenommen werden kann.

Anhänge

I	Stoffe zur Leistungsbeurteilung	55
I.1	Stoffe gemäss Gewässerschutzverordnung	55
I.2	Stoffkonzentrationen im Strassenabwasser.....	56
I.3	Dynamik der Schadstofffracht im Strassenabwasser	57
I.4	Beurteilung der Stoffe	57
I.4.1	Zur Leistungsbeurteilung verwendete Stoffe	57
I.4.2	Für die Gewässer weniger relevante Stoffe im Strassenabwasser	58
II	Charakterisierung von Verfahren: Kriterien	59
II.1	Behandlungstypen	59
II.2	Schadstoffentfernung	59
II.2.1	Prozesse der Schadstoffentfernung.....	59
II.2.2	Variabilität der Schadstoffentfernung	60
II.3	Hydraulische Kriterien	60
II.3.1	Drosselung des Abflusses.....	60
II.3.2	Retentionsvolumina und Entlastungen	61
II.3.3	Havarierückhalt	61
II.4	Betrieb- und Unterhaltsaufwand.....	61
II.5	Entsorgungsaufwand	61
II.6	Diverses	62
II.6.1	Temperaturempfindlichkeit.....	62
II.6.2	Materialbeschaffung	62
II.6.3	Inbetriebnahmezeit.....	62
II.6.4	Realisierung	62
III	Charakterisierung der Verfahren	63
III.1	Einleitung.....	63
III.2	Verfahren basierend auf bewachsenen Systemen	64
III.2.1	Versickerung über das Bankett, Mulden-Rigolen.....	64
III.2.2	Bodenfilter Typ BAFU	66
III.2.3	Sandfilter bewachsen	68
III.2.4	Kombinierte Filter Boden/Sand oder Boden/Kiessand	70
III.3	Technische Einzelverfahren	72
III.3.1	Absetzbecken, Absetzteiche	72
III.3.2	Lamellenabscheider	74
III.3.3	Flockung und Fällung	76
III.3.4	Mikrosiebe	78
III.3.5	Polstofffilter.....	80
III.3.6	Sandfilter	82
III.3.7	Splittfilter.....	84
III.3.8	Schnellsandfilter	86
III.3.9	Membrane	88
III.3.10	Adsorber.....	90
III.4	Technische Verfahrenskombinationen.....	92
III.4.1	Lamellenabscheider, Sandfilter und Adsorber	92
III.4.2	Splitt-Kiesfilter + Schilffilter	94
III.4.3	Zweifache Sedimentation und Filtration	96
III.4.4	Sedimentation, Filtration, Adsorption	98
IV	Kriterien zur Leistungsbeurteilung	100
IV.1	Hydraulische Leistung	100
IV.1.1	Spezifische hydraulische Leistungsfähigkeit.....	100
IV.1.2	Spezifische Flächenbelastung	100
IV.1.3	Hydraulischer Wirkungsgrad, Retention	101
IV.2	Leistungsbeurteilung der Schadstoffentfernung	101
IV.2.1	Wirkungsgrade	101
IV.2.2	Ablaufkonzentrationen	102

IV.2.3	Datengrundlage für Leistungsprüfungen	103
IV.3	Druckhöhe und Bauwerkshöhe.....	103
IV.3.1	Druckhöhe.....	103
IV.3.2	Bauwerkshöhe	104
IV.4	Unterhaltsaufwand	104
IV.5	Entsorgungskosten	105
IV.6	Baukosten	105
V	Leistungsbeurteilung	106
V.1	Verfahren basierend auf bewachsenen Filtern.....	106
V.1.1	Versickerung über das Bankett.....	106
V.1.2	Bepflanzter Sandfilter.....	108
V.1.3	Bewachsene kombinierte Filter Boden/Sand oder Boden/Kiessand	110
V.2	Technische Einzelverfahren.....	112
V.2.1	Absetzbecken	112
V.2.2	Lamellenabscheider.....	113
V.2.3	Mikrosieb.....	115
V.2.4	Polstofffilter	117
V.2.5	Adsorber.....	119
V.3	Technische Verfahrenskombinationen	121
V.3.1	Lamellenabscheider, Sandfilter und Adsorber.....	121
V.3.2	Splitt-Kiesfilter (+ Schilffilter).....	123
VI	Zusammenfassung der Daten und Anlagen.....	125

I Stoffe zur Leistungsbeurteilung

I.1 Stoffe gemäss Gewässerschutzverordnung

Die für Gewässer problematischen Stoffe sind in der Gewässerschutzverordnung mit den entsprechenden Anforderungen für Fliessgewässer (Qualitätsziele) oder Einleitbedingungen für kommunales Abwasser in Fliessgewässer aufgeführt. Abb. I.1 fasst die Anhänge 2 und 3.1 der GSchV zusammen [1].

Abb. I.1 Qualitätsziele und Einleitbedingungen gemäss Gewässerschutzverordnung [1].

	Zusätzliche Anforderungen an Fliessgewässer	Grundwasser mit Nutzung als Trinkwasser	Einleitbed. für kommunales Abwasser	Bemerkungen
GUS			20 / 15 mg/l	ARA < 10'000 EW: 20mg/l ARA > 10'000 EW: 15 mg/l
BSB ₅	2-4 mg/l O ₂ (a)		20 / 15 mg/l O ₂ (b)	(a) Bei natürlicherweise wenig belasteten Gewässern gilt der untere Wert (b) ARA < 10'000 EW: 20mg/l (b) ARA > 10'000 EW: 15 mg/l
DOC	1-4 mg/l C (a)	2 mg/l C	10 mg/l C	(a) Bei natürlicherweise wenig belasteten Gewässern gilt der untere Wert
Ammonium	0.2 / 0.4 mg/l N (a)	0.08 / 0.4 mg/l N (b)	2 mg/l N	Kritisch vor allem für Gewässer: (a) über 10 °C: 0.2 mg/l N (a) unter 10 °C: 0.4 mg/l N (b) bei oxischen Verhältnissen: 0.08 mg/l N (b) bei anoxischen Verhältnissen: 0.4 mg/l N
Nitrat		5.6 mg/l N		5.6 mg/l N entspricht 25 mg/l Nitrat
Nitrit			0.3 mg/l N	Richtwert
Sulfat		40 mg/l SO ₄ ²⁻		
Chlorid		40 mg/l Cl ⁻		
Blei (gesamt)	10 ug/l Pb			
Cadmium (gesamt)	0.2 ug/l Cd			
Chrom (gesamt)	5 ug/l Cr			
Kupfer (gesamt)	5 ug/l Cu			
Nickel (gesamt)	10 ug/l Ni			
Quecksilber (gesamt)	0.03 ug/l Hg			
Zink (gesamt)	20 ug/l Zn			
Organische Pestizide	0.1 ug/l	0.1 ug/l		Je Einzelstoff (Biozide und Pflanzenschutzmittel). Vorbehalten bleibe andere werte auf Grund von Einzelstoffbeurteilungen
PAK		0.1 ug/l		Je Einzelstoff
Aliphatische KW		1 ug/l		Je Einzelstoff

I.2 Stoffkonzentrationen im Strassenabwasser

Als Datenbasis zur Erhebung der Stoffkonzentrationen im Strassenabwasser sind in Abb. I.2 und Abb. I.3 die Daten aus Untersuchungen von Strassenabwasser von Strassen mit einem DTV > 16'000 dargestellt [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]²¹. Gemäss BAFU-Richtlinie ergibt ein DTV von über 16'000 die Belastungsklasse „hoch“ [2].

Die Daten zeigen, dass die Konzentrationen der typischen strassenverkehrsbürtigen Stoffe wie GUS²², Blei, Kupfer und Zink Streuungen bei den Konzentrationen zeigen. Diese Streuungen sind die Folge des unterschiedlichen Verkehrsaufkommens. Zusätzlich beeinflussen weitere Faktoren die zur SABA geleiteten Schadstoffmengen²³. Die Schadstoffe sind bei allen zitierten Quellen dieselben, sie unterscheiden sich einzig in den Konzentrationen.

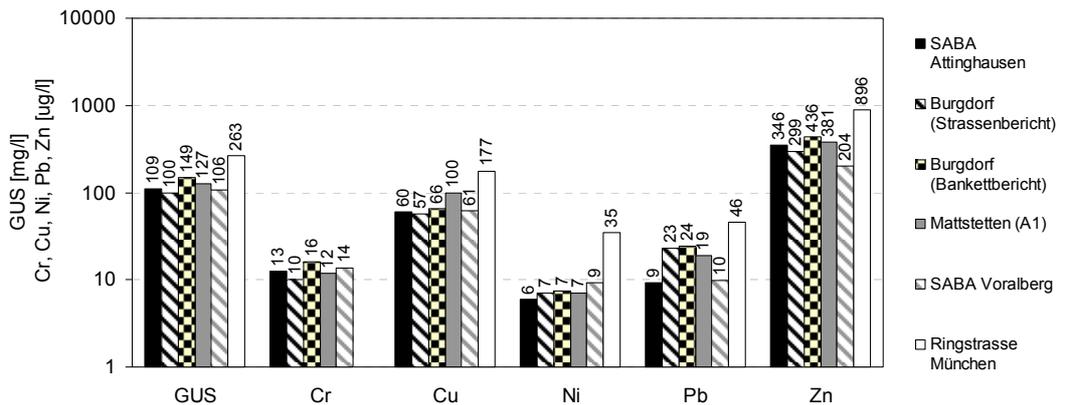


Abb. I.2 Mittelwerte gemessener GUS- und Schwermetallkonzentrationen von Autobahnen mit einem DTV > 16'000. Die Konzentrationen der Schwermetalle beziehen sich auf die gesamten Gehalte

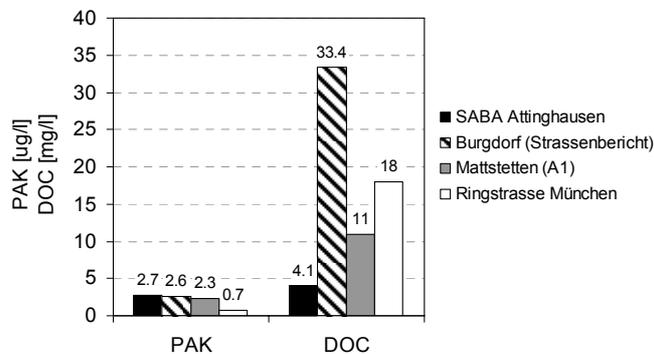


Abb. I.3 Gemessene Konzentrationen von PAK und DOC von Autobahnen mit einem DTV > 16'000. Die Anforderung für Grundwasser, welches zur Trinkwassernutzung vorgesehen ist, wird bei PAK mit 0.1 µg/l pro Einzelsubstanz angegeben

²¹ Die Werte dieser Studie bilden die Grundlage der VSS Norm 640 347 [14].

²² GUS: Gesamt ungelöste Stoffe sind Partikel, welche mit einem 0.45 µm Membranfilter zurückgehalten werden können, nachdem die Schwimm- und Grobstoffe abgetrennt sind.

²³ Faktoren sind die Charakteristik des Entwässerungssystems (Länge, Neigung, Art der Schlammsammler und Einlaufschächte etc.), verkehrsbedingte Faktoren (Fahrgeschwindigkeit, Verwehung, Steigung, LkW-Anteil, etc.) und bauliche Faktoren (Lärmschutzwände etc.).

Bei der Schadstoffentfernung spielen erhöhte Stofffrachten- und Konzentrationen hauptsächlich bei Verfahren mit hoher Leistungsschwankung eine Rolle. Verfahren mit geringerer Leistungsschwankung wie beispielsweise Bodenfilter werden dadurch weniger stark beeinflusst (Kapitel 4.3). Die Höhe der Zulaufkonzentrationen bzw. der Zulaufmengen ist neben der Schadstoffentfernung auch für den Aufwand für den Unterhalt von Anlagen massgebend. Dies betrifft insbesondere die Partikelfracht, welche massgeblich für die Kolmation von Filtrationsverfahren verantwortlich sein kann.

I.3 Dynamik der Schadstofffracht im Strassenabwasser

Der Strassenabwasserabfluss weist, wie andere Regenwasserabflüsse, eine hohe Dynamik auf. Die Dynamik betrifft den Abfluss gleichermassen wie die Schadstofffrachten. Dieser Sachverhalt ist für die Leistungsbeurteilung aus zwei Gründen wichtig: Erstens variiert dadurch die Schadstoffentfernung bei Anlagen mit verfahrensbedingt variablem Schadstoffrückhalt und zweitens wird durch die hohe Dynamik die Leistungsprüfung (Typenprüfung) erschwert.

I.4 Beurteilung der Stoffe

I.4.1 Zur Leistungsbeurteilung verwendete Stoffe

GUS	<p>Als gesamt ungelöste Stoffe (GUS) werden diejenigen Stoffe bezeichnet, welche nach einer 0.45 µm Membranfiltration zurückbleiben²⁴. Damit ist GUS ein Mass für die im Strassenabwasser vorhandene partikuläre Belastung. Die partikulären Stoffe im Strassenabwasser weisen eine für deren Entfernung problematische Partikelgrössenverteilung auf, da der Anteil der Feinpartikel und Kolloide über 50% betragen kann. Deshalb ist eine wirkungsvolle Partikelentfernung mittels Sedimentation und Siebfiltration schwierig.</p> <p>GUS liegen gemäss Abb. I.2 bei allen Messungen deutlich über der Einleitbedingung für die Einleitung von kommunalem Abwasser in die Gewässer von 20 bzw. 15 mg/l. GUS wurde zudem bei den meisten SABA im Zu- oder Ablauf gemessen. Somit eignet sich GUS als Schadstoff zur Leistungsbeurteilung von SABA. Strassenabwasser-GUS weist hohe Schwermetalle und PAK Gehalte auf im Vergleich zu GUS im Ablauf einer ARA.</p>
Kupfer, Zink	<p>In Abb. I.2 ist zu erkennen, dass Kupfer und Zink diejenigen Schwermetalle sind, welche im Strassenwasser in den höchsten Konzentrationen vorliegen. Beide Schwermetalle sind zudem ökotoxikologisch relevant. Die Konzentrationen von Blei, Chrom und Nickel sind vergleichsweise deutlich geringer, bei ähnlicher ökotoxikologischer Relevanz (GSchV, Anhang 2). Gemäss Eawag [12], [13] liegen die Cadmium-Konzentrationen im Strassenabwasser unterhalb von 1 µg/l und sind bezüglich ökotoxikologischer Relevanz vergleichbar mit Blei und Chrom. Kupfer und Zink sind somit die beiden kritischsten Schwermetalle im Strassenabwasser.</p> <p>Kupfer und Zink weisen im Vergleich zu anderen Schwermetallen einen höheren feinputikulären, kolloidalen und gelösten Anteil auf. Kleine Partikel und Kolloide sind schwierig mit den gängigen Filtrationsverfahren aus dem Strassenabwasser zu entfernen. Somit sind Kupfer und Zink auch die am schwierigsten zu entfernenden Schwermetalle im Strassenabwasser und deshalb als Indikatoren für die Schwermetalle Blei, Chrom, Cadmium und Nickel geeignet. Ein Anteil von 10-50% des Kupfers und des Zinks liegen, abhängig vom Regenereignis, in filtrierter oder gelöster Form vor und lässt sich nur durch Adsorption entfernen. Die Spezifizierung von Schwermetallen im Strassenabwasser ist in Eawag [13] ab Seite 56 diskutiert.</p>
DOC	<p>Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) ist als Summenparameter ein Mass für die Konzentrationen aller gelösten organischen Verbindungen. DOC (Dissolved Organic Carbon) wird im Filtrat eines 0.45 µm Membranfilter bestimmt. DOC kann hauptsächlich durch Adsorption an Oberflächen und an Huminstoffen zurückgehalten werden. Ein Teil des DOC wird biologisch abgebaut.</p> <p>Die in unterschiedlichen Studien gemessenen DOC-Konzentrationen im Strassenabwasser sind in Abb. I.3 dargestellt. Die gemessenen DOC-Konzentrationen unterscheiden sich deutlich. Die Einleitbedingungen für kommunales Abwasser von 10 mg/l können teilweise eingehalten werden, wenn auch knapp. DOC ist ökologisch betrachtet in den im Strassenabwasser gemessenen Konzentrationen relevant (GSchV Anhang 2). DOC im Strassenabwasser weist eine andere Zusammensetzung auf als DOC im gereinigten Abwasser einer kommunalen Abwasserreinigung. DOC kann generell Schwermetalle und PAK adsorbieren und somit deren Mobilität erhöhen. Bei DOC ist die Datenverfügbarkeit problematisch. Deshalb werden nur einzelne Anlagen beurteilt.</p>

²⁴ Nach der Abtrennung von Schwimm- und Grobstoffen.

PAK	Für Grundwasser, welches als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist, gilt die Anforderung von 0.1 ug/l pro Einzelstoff. Obwohl in Abb. I.3 die PAK-Summe der 16 Einzelsubstanzen angegeben sind zeigen Messungen, dass die Anforderung für Einzelsubstanzen teilweise bis zu vierfach überschritten werden kann. Somit sind PAK als problematisch zu bewerten. Systematische PAK-Daten sind jedoch nicht verfügbar, was einen Leistungsvergleich der Anlagen oder Verfahren erschwert.
------------	--

Zur Situation bei Biozidprodukten und Pflanzenschutzmitteln können im Rahmen dieser Arbeit noch keine Angaben gemacht werden, da die Datenlage limitiert ist. In Ergänzung zur GSchV können im Strassenabwasser weitere potenziell relevante Stoffe identifiziert werden. Dies betrifft insbesondere Katalysatormetalle, Triazole und Antimon.

I.4.2 Für die Gewässer weniger relevante Stoffe im Strassenabwasser

BSB₅	Der biologische Sauerstoffbedarf BSB ₅ beschreibt, wie viel Sauerstoff in einem Abwasser in 5 Tagen gezehrt wird. BSB ₅ Messungen sind für Strassenabwasser kaum vorhanden. Als Hilfsgrösse zur Abschätzung des BSB ₅ kann der CSB verwendet werden ²⁵ . Aufgrund der CSB-Messwerte ist die Sauerstoffzehrung von Strassenabwasser nicht problematisch.
Ammonium	Die Messungen von Ammonium deuten darauf hin, dass die Anforderungen vor allem im Sommer überschritten werden können. Die Einleitbedingung für Ammonium für kommunales Abwasser wird allerdings nicht erreicht. Somit wird Ammonium als wenig kritisch beurteilt. Vorbehalten bleiben spezielle Einleitsituationen bei schwachen Vorflutern.
Nitrat	Aufgrund der geringen Konzentrationen ist Nitrat im Strassenabwasser nicht relevant.
Nitrit	Die Einleitbedingung für Nitrit für kommunales Abwasser wird anhand vorhandener Daten nicht erreicht. Insofern ist Nitrit ein wenig relevanter Stoff im Strassenabwasser. Vorbehalten bleiben jedoch spezielle Einleitsituationen bei schwachen Vorflutern.
KW	Konzentrationsmessungen von Kohlenwasserstoffen (C ₁₀ -C ₄₀) zeigen, dass im Strassenabwasser Werte zwischen 100 und 300 ug/l erreicht werden können. Im Vergleich zur Anforderung für aliphatische Kohlenwasserstoffe von 1 ug/l pro Einzelstoff erscheinen die gemessenen Konzentrationen hoch. Wird jedoch berücksichtigt, dass die Gruppe der C ₁₀ -C ₄₀ Verbindungen eine Vielzahl von Einzelverbindungen unterschiedlicher Zusammensetzung enthält, die auch natürlichen Ursprungs sein können, wird der KW-Index als wenig problematisch betrachtet [15].
MTBE	MTBE kann als Tracer für Strassenabwassereinleitungen in Oberflächengewässer und ins Grundwasser verwendet werden. Bei Seen ist darauf zu achten, dass ein bedeutender Teil des MTBE auch aus dem Bootsverkehr stammen kann. MTBE wird bisher als unproblematisch für die aquatische Umwelt betrachtet, es sei denn, durch Störfälle oder Havarien gelangen grössere Mengen in die Gewässer. Im Havariefall sind unter gegebenen Bedingungen auch Trinkwasserfassungen betroffen [16].
Cr, Cd, Ni, Pb	Die Konzentrationen von Chrom, Cadmium, Nickel und Blei sind im Strassenabwasser bezüglich der Anforderungen gemäss Gewässerschutzverordnung zwei- bis vierfach erhöht. Der Vergleich zu Kupfer und Zink mit einer 10 bis 20-fachen Erhöhung bei ähnlicher ökotoxikologischer Relevanz zeigt, dass Chrom, Cadmium, Nickel und Blei weniger relevant sind.

²⁵ CSB steht für den Sauerstoffbedarf bei vollständiger chemischer Oxidation.

II Charakterisierung von Verfahren: Kriterien

II.1 Behandlungstypen

Die Behandlungsverfahren werden in Vor-, Haupt- und Nachbehandlungsstufen eingeteilt²⁶. Eine Vorbehandlung hat in einer Verfahrenskombination zum Ziel, eine stabile Funktions- und Leistungsfähigkeit des nach geschalteten Hauptbehandlungsverfahrens zu ermöglichen. Beispielsweise vermindert ein Absetzbecken durch den Rückhalt der Partikel die Kolmationsanfälligkeit eines bewachsenen Bodenfilters. Der Schadstoffrückhalt einer Vorbehandlung ist in der Regel begrenzt.

Eine Hauptbehandlung ist bezüglich der Schadstoffentfernung der wirkungsvollste Behandlungsschritt. Typische Hauptbehandlungsverfahren sind Sandfilter oder bewachsene Bodenfilter. Die Abgrenzung der Vorbehandlung zur Hauptbehandlung wird mittels der Anforderungen für Behandlungsverfahren bezüglich GUS gemacht (Abb. 4.16), indem ein Verfahren mit Klasse 3 oder höher als Hauptbehandlung gilt.

Die Nachbehandlung erfolgt nach der Hauptbehandlung. Das Ziel der Nachbehandlung ist es, die nach der Hauptbehandlung noch vorhandene Schadstofffracht weiter zu reduzieren. Ein typisches Beispiel einer Nachbehandlung ist eine Adsorbierschicht. Eine Nachbehandlung bedingt immer eine wirkungsvolle vorgeschaltete Partikelabtrennung.

II.2 Schadstoffentfernung

II.2.1 Prozesse der Schadstoffentfernung

Die Schadstoffe können anhand ihrer stofflichen Eigenschaften durch verschiedene chemische, physikalische oder biologische Prozesse aus dem Strassenabwasser entfernt werden. Alle diese Prozesse haben physikalische oder chemische Leistungsgrenzen. Somit ist es möglich, die Eignung eines Behandlungsverfahrens für unterschiedliche Schadstoffe grob abzuschätzen. In Abb. II.1 sind die verfahrenstechnischen Basisprozesse dargestellt. Anhand der in Kapitel 4.1 diskutierten Charakterisierung der Schadstoffe können somit die wichtigsten Prozesse der Schadstoffentfernung für die einzelnen Schadstoffe identifiziert werden.

Abb. II.1 Eignung von Prozessen zur Schadstoffentfernung aus Strassenabwasser.
 ○ = Entfernung teilweise möglich, ● = wichtiger Prozess, ● = wichtigster Prozess.

	Sedimentation	Raumfiltration	Siebfiltration	Flockung/Fällung	Adsorption	Ionenaustausch	Biol. Abbau
GUS	○	●	●	●			
Cu	○	●	●	●	●	○	
Zn	○	●	●	●	●	○	
DOC		○		●	●		○
PAK	○	●	●	●	○		
NH ₄					○	●	●
KW	○	●	●		○		○

²⁶ Der Grobstoffabscheider wird nicht berücksichtigt (Systemabgrenzung, Kapitel 3).

Viele Behandlungsverfahren zeichnen sich dadurch aus, dass mehrere Prozesse simultan ablaufen können. Beispielsweise bewirkt die Filtration über den bewachsenen Oberboden die Abtrennung der Partikel an der Oberfläche und in der Tiefe des Filters (Sieb- und Raumfiltration). Durch die Adsorption an Eisen-, Mangan- und Aluminiumhydroxide können zudem die gelösten Schwermetalle zurückgehalten werden. Die biologische Aktivität in der Bodenschicht trägt schliesslich dazu bei, abbaubare Substanzen umzuwandeln [17].

II.2.2 Variabilität der Schadstoffentfernung

Die Variabilität der Schadstoffentfernung eines Verfahrens ist für die Beurteilung der Datengrundlage wichtig, denn je höher die Variabilität der Schadstoffentfernung ist, desto besser muss die Datengrundlage bei der Beurteilung eines Behandlungsverfahrens sein²⁷.

Eine variable Leistung der Schadstoffentfernung hat mehrere Ursachen. Es können hohe Durchflussschwankungen vorliegen, welche die Aufenthaltszeit bzw. die Oberflächenbelastung bei Sedimentationsverfahren beeinflussen. Die Dynamik der Schadstofffrachten im Zulauf ist ein weiterer Grund für eine variable Schadstoffentfernung. Dies ist bei Absetzbecken oder Lamellenabscheidern der Fall. Leistungsschwankungen können auch durch den Unterhalt bedingt sein. Beispielsweise kann die Schadstoffentfernung eines Sandfilters nach dem Abschälen der obersten, kolmatierten Schicht kurzfristig Einbrüche zeigen, ausgelöst durch die fehlende Filtrations- und Adsorptionswirkung in dieser Schicht nach dem Abschälen. Die Leistungsvariabilität kann somit kurz-, mittel-, oder langfristig sein.

Verfahren mit geringer Variabilität des Schadstoffrückhalts und somit grossen Leistungsreserven sind weniger empfindlich auf die Zuflussdynamik und die Höhe von Schadstoffkonzentrationen. Beispielsweise ist die Schadstoffentfernung eines Sandfilters in einem Retentionsfilterbecken nicht wesentlich abhängig vom Verschmutzungsgrad des Strassenabwassers. Eine erhöhte Stoffbelastung kann jedoch den Aufwand für den Unterhalt verändern, da mehr Schlamm entsorgt werden muss. Zudem kann die hydraulische Leistungsfähigkeit eines Verfahrens bei zunehmender stofflicher Belastung abnehmen, indem ein Sandfilter bei einer höheren Partikelbelastung schneller kolmatieren kann.

II.3 Hydraulische Kriterien

II.3.1 Drosselung des Abflusses

Eine Drosselung des Abflusses ist bei den meisten Behandlungsverfahren vorhanden. Die Abflussdrosselung ist durch die hydraulische Leistungsfähigkeit eines Verfahrens oder durch die Dimensionierung bedingt. Ein Beispiel für ein Verfahren mit starker Drosselung ist ein Bodenfilter, ein Verfahren mit geringer hydraulischer Drosselung ist ein Absetzbecken.

Eine Drosselung des Abflusses kann gerade bei der Einleitung von Strassenabwasser in schwache Vorfluter notwendig sein. Behandlungsverfahren mit starker Drosselung weisen in solchen Fällen einen Vorteil gegenüber Anlagen ohne nennenswerte Drosselung auf. Hydraulische Abflussregler können prinzipiell in jede Anlage eingebaut werden, sind jedoch ein zusätzlicher Anlagebestandteil, der unterhalten werden muss. Wird ein Verfahren durch Pumpen beschickt, kann der Abfluss je nach Verfahren auch mit Hilfe der Pumpenleistung gewählt werden. Eine Drosselung des Abflusses kann bei einigen Behandlungsverfahren auch durch die Kolmation von Filtrationseinheiten entstehen.

²⁷ Die Leistungsvariabilität durch Entlastungen ist dimensionierungsbedingt und wird deshalb an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

II.3.2 Retentionsvolumina und Entlastungen

Retentionsvolumina sind wichtige Bestandteile einer SABA. Sie sind notwendig, da bei den meisten Behandlungsverfahren das anfallende Strassenabwasser infolge der limitierten hydraulischen Leistung nicht sofort behandelt werden kann und somit gespeichert werden muss. Das Retentionsvolumen ist bei manchen Behandlungsverfahren bereits integriert oder zumindest einfach zu integrieren. Wenn nicht, müssen zusätzliche Volumina in Form von Betonbecken oder anderen, auch vorgelagerten Speicherbauwerken oder Staukanälen zur Verfügung gestellt werden. Beispiele für Behandlungsverfahren mit einfach zu integrierendem Retentionsvolumen sind bewachsene Retentionsfilterbecken oder Splittfilter, Beispiele für Technologien ohne bereits vorhandenes Retentionsvolumen sind Scheibenfilter oder Membrananlagen.

Je nach Gestaltung einer SABA aufgrund der räumlichen und topografischen Rahmenbedingungen sind Verfahren mit bereits integriertem Retentionsvolumen oder Verfahren, bei denen die Retention zusätzlich, dafür modular angeordnet werden kann, von Vorteil.

Nach Erreichen der maximalen Füllung des Retentionsvolumens erfolgt eine Entlastung des unbehandelten oder nur teilweise behandelten Strassenabwassers. Eine Entlastung kann auch bei der Überschreitung des dimensionierten Zuflusses vor der SABA erfolgen (Vorentlastung).

II.3.3 Havarierückhalt

Die Eignung eines Behandlungsverfahrens als Havariebecken ist vor allem davon abhängig, ob ein Retentionsvolumen bereits zur Verfügung steht. Weitere Kriterien sind:

- Entsorgungsaufwand im Fall einer Havarie, der bei Bodenfiltern erheblich grösser ist als bei einem Lamellenabscheider.
- Einfacher Einbau von fernauslösbaren Absperrschiebern.

II.4 Betrieb- und Unterhaltsaufwand

Der Betriebsaufwand eines Behandlungsverfahrens ist von der benötigten Infrastruktur wie beispielsweise von einem Elektrizitäts- oder einem Trinkwasseranschluss abhängig. Des weitern können für den Betrieb eines Verfahrens Pumpen, Ventile oder auch andere technischen Einrichtungen notwendig sein, die den Aufwand erhöhen.

Beim Unterhalt einer Behandlungsanlage können abhängig vom SABA-Typ unterschiedliche Arbeiten anfallen. Die häufigsten Arbeiten sind die Reinigung von Becken, sowie die Kontrolle und Wartung von technischen oder mechanischen Einbauteilen, das Aufräumen von Oberflächen oder das Entfernen von Bewuchs bei Flächenfiltern.

II.5 Entsorgungsaufwand

Die vom Behandlungsverfahren abgetrennten Schadstoffe müssen im Verfahren selbst oder auf dem Gelände der SABA bis zur Entsorgung gespeichert werden. Die Speicherung von abgetrenntem Schlamm kann beispielsweise im Schlamm bunker eines Absetzbeckens, in einem separaten Schlammbecken oder auf einem Splitt-Kiesfilter erfolgen.

Bei Adsorbentien muss das Adsorbentmaterial periodisch ausgewechselt werden. Für die Beurteilung des Entsorgungsaufwands ist es deshalb wichtig, welche Stoffe entsorgt werden müssen, wo und wie sie anfallen, ob sie aufbereitet und wieder verwendet werden können oder deponiert werden müssen.

II.6 Diverses

II.6.1 Temperaturempfindlichkeit

Die Temperaturempfindlichkeit von Behandlungsverfahren bezeichnet deren Sensibilität auf Hitze oder auch Kälte. Bei technischen Behandlungsverfahren ist vor allem die Kälteempfindlichkeit bezüglich Frostsicherheit ein Thema, sobald Pumpen, Druckleitungen und Ventile eingesetzt werden, welche einfrieren können. Bei Flächenfiltern erfolgt eine Abnahme der Sickerleistung bei Frost.

II.6.2 Materialbeschaffung

Die Materialbeschaffung kann bei einigen Anlagentypen ein wichtiger Aspekt sein. Vor allem bei Verfahren mit bewachsener Bodenpassage ist die Auswahl des passenden Bodens und damit dessen Beschaffung wichtig. Hier ist die Hinzuziehung einer Fachperson bereits in der Projektierung erforderlich. Ebenso ist dies der Fall bei Sandfiltern, da die richtige Auswahl des Sandes für die unter Umständen unterschiedlichen Sandschichten von zentraler Bedeutung ist. Mit der Materialbeschaffung verbunden sind eventuell auch umfangreiche Materialtransporte.

II.6.3 Inbetriebnahmezeit

Die Inbetriebnahmezeit bezeichnet diejenige Periode, während welcher ein Behandlungsverfahren nach dem Einbau noch nicht oder erst teilweise in Betrieb genommen werden kann. Die Inbetriebnahmezeit ist charakteristisch für bepflanzte Bodenfilter, bei welchen sich das Bodengefüge regenerieren und sich die Vegetation entwickeln muss.

II.6.4 Realisierung

Verfahrenstypen mit gleichem Wirkungsprinzip können unterschiedlich realisiert werden. Sie unterscheiden sich bezüglich der Funktionalität oder auch konstruktiven Aspekten. Ein Beispiel dafür sind Lamellenabscheider, bei dem es Fabrikate mit starren und solche mit schwenkbaren Lamellen gibt. Weitere Unterschiede bestehen bei Schlammspeicherungskonzepten sowie bei der Reinigung. Auch Adsorbenschichten können auf unterschiedliche Art und Weise gebaut und betrieben werden. Ebenso können unterschiedliche Adsorbentien zum Einsatz gelangen.

III Charakterisierung der Verfahren

III.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Behandlungsverfahren charakterisiert. Bei den bepflanzten Filtern werden diejenigen Typen beschrieben, welche bereits realisiert worden sind. Bei den Einzelverfahren wurden diejenigen ausgewählt, welche entweder bereits getestet worden sind und sich aufgrund ihrer Verfahrenscharakteristik zur Behandlung von Strassenabwasser eignen. Wie bei den Verfahren mit bepflanzten Filtern werden bei den technischen Verfahrenskombinationen nur diejenigen Anlagentypen beschrieben, welche bereits als solche erhältlich oder bereits realisiert worden sind.

Die Entwicklung von neuartigen Behandlungsverfahren oder Verfahrenskombinationen ist im Gang. Somit können in den nächsten Monaten und Jahren weitere Verfahren erwartet werden, mit welchen dieser Studie ergänzt werden kann. Die Auflistung in diesem Bericht ist somit nicht abschliessend.

Die meisten an dieser Stelle diskutierten Behandlungsverfahren werden bereits seit langem in der Trinkwasser-, der kommunalen Abwasserbehandlung oder auch in der Industrieabwasserreinigung eingesetzt. Für eine detaillierte verfahrenstechnische Beschreibung wird deshalb auf die Fachliteratur verwiesen.

Anhand der Charakterisierung der einzelnen Verfahren lässt sich die Wirkung einer Verfahrenskombination für die Schadstoffentfernung abschätzen. Für ein sinnvolles Design einer SABA bestehend aus unterschiedlichen Behandlungsstufen sind viele Faktoren zu beachten. Neben der funktionalen Aufgabe einer SABA, das Strassenabwasser wirkungsvoll und zuverlässig zu behandeln, muss vor allem auch der Aufwand für den Betrieb und den Unterhalt berücksichtigt werden. Eine sinnvolle Konzeption einer mehrstufigen SABA erfordert deshalb sowohl fundiertes verfahrenstechnisches Know-how als auch Erfahrung im Betrieb und Unterhalt von Anlagen.

III.2 Verfahren basierend auf bewachsenen Systemen

III.2.1 Versickerung über das Bankett, Mulden-Rigolen

Beschreibung

Das seitliche Versickern des Strassenwassers entlang der Fahrbahn im Bankett – auch Entwässerung über die Schulter genannt – ist weit verbreitet. Die Reinigung des Strassenwassers übernimmt dabei der Boden des Bankett-Streifens.

Bei schlecht durchlässigen anstehenden Böden werden auch Mulden-Rigolen eingebaut. Dabei wird nach der Bodenpassage (Mulde) das gereinigte und gedrosselt abfliessende Strassenwasser im Kanal (Rigole) gesammelt und zum nächsten Gewässer abgeleitet.

Die Strassenentwässerung über das Bankett gibt das behandelte Wasser lokal wieder in den natürlichen Kreislauf zurück. Dabei werden keine weiteren Bodenflächen mit Schadstoffen der Strasse belastet, sondern nur die ohnehin schon mit Schadstoffen aus der Luftverfrachtung (von der Strasse) angereicherten Böden im Bankettstreifen.

Die Versickerung über das Bankett ist jedoch gemäss BAFU-Wegleitung keine Behandlung im eigentlichen Sinn, da das Wasser nach der Behandlung nicht gefasst wird. Ist gemäss BAFU-Wegleitung eine Behandlung notwendig, muss ein abgedichtetes System wie beispielsweise das Mulden-Rigolen-System verwendet werden.

Funktionsweise

Das Strassenwasser wird oberflächlich über die Fahrbahn im Quergefälle zur Seite abgeleitet. Dort kommt es im Bankett zur flächigen Versickerung, womit die Bodenpassage die Hauptbehandlung des Strassenwassers übernimmt. Das Strassenbankett weist einen natürlichen Bodenaufbau auf und ist begrünt. Im Fall eines erforderlichen Mulden-Rigolen-Systems gelten die gleichen Anforderungen an den Bodenaufbau.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Hauptbehandlung, Nachbehandlung
Schadstoffentfernung	Siebfiltration, Raumfiltration, Adsorption, Ionenaustausch, biologischer Abbau
Variabilität der Schadstoffentfernung	Gering
Abflussdrosslung	Vorhanden
Retentionsvolumen	Teilweise vorhanden
Entlastungen	Vorhanden, ins weitere Umland
Havarierückhalt	Für die meisten Havariestoffe: Ja. Ersatz des Bodens erforderlich.
Betrieb	Keine speziellen Vorkehrungen erforderlich
Unterhalt	Regelmässiger Schnitt des Bankettstreifens
Entsorgung	Geregelte Entsorgung des Schnittgutes Fachgerechter Umgang mit den kontaminierten Böden
Temperaturempfindlichkeit	Unproblematisch
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Meist keine Verzögerung, Vorsicht bei der Ansaat
Unterschiedliche Realisierung	Ja, beispielsweise als Mulden-Rigolen

Wesentliche Aspekte

Da es sich bei der Strassenentwässerung über das Bankett um eine natürliche Behandlung über den Boden handelt, sind dafür die entsprechenden Flächen erforderlich. Diese sind oft in Form der Belastungsstreifen neben der Fahrbahn ausgewiesen und sollen gleichzeitig auch der Behandlung des Strassenwassers dienen.

Limitierungen

- Diverse wie: Geographie (ausserorts), Topographie, Störfallverordnung, anstehender Boden, Grundwasser, etc.
- Platzbedarf

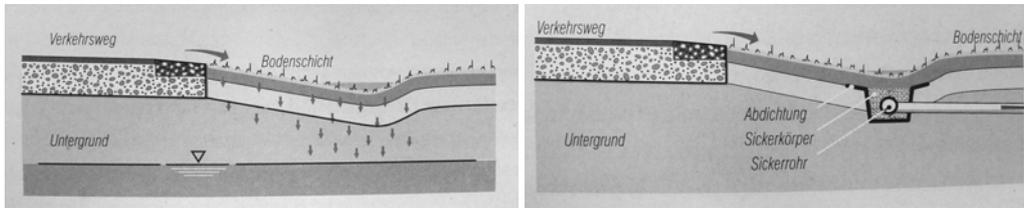


Abb. III.1 Schematische Darstellung der Entwässerung über Bankett sowie eines Mulden-Rigolen-Systems [2]. Falls eine Behandlung notwendig ist, darf gemäss BAFU nicht über das Bankett versickert werde, da keine Abdichtung vorhanden ist

III.2.2 Bodenfilter Typ BAFU

Beschreibung

Die Bodenfilter des Typs BAFU sind aus Ober- und Unterboden aufgebaut, wobei ein natürlicher Boden nachgebildet wird. Bodenfilter sind immer bewachsen. Die Bodenoberfläche muss durch eine geeignete Vegetation bedeckt und das gesamte Volumen durchwurzelt sein.

Funktionsweise

Nach einer Vorbehandlung durchfließt das Strassenabwasser den bewachsenen Bodenfilter. Die biologische Aktivität des Bodens ist wesentlich für den Aufbau des Bodengefüges und die Stabilität des Porensystems. Die biologische Aktivität garantiert somit die Funktion des Bodenfilters auf längere Dauer.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Hauptbehandlung, Nachbehandlung
Schadstoffentfernung	Raumfiltration, Adsorption, Ionenaustausch, biologischer Abbau
Variabilität der Schadstoffentfernung	Gering
Abflussdrosslung	Vorhanden
Retentionsvolumen	Vorhanden beim Einbau in ein RFB
Entlastungen	Vorhanden beim Einbau in ein RFB
Havarierückhalt	Ja (Verschmutzung des Filters bedingt voraussichtlich vollständigen Ersatz)
Betrieb	Keine speziellen Installationen erforderlich
Unterhalt	Pflege der Vegetation, Entfernung des Schnittguts Bei Schilfvegetation kein Unterhalt notwendig
Entsorgung	Aufbereitung nicht möglich
Temperaturempfindlichkeit	Gering, Sorptionsleistung auch bei tiefen Temperaturen, nicht frostempfindlich
Materialbeschaffung	Falls auf der Baustelle kein geeigneter Boden anfällt, sehr schwierig zu beschaffen
Inbetriebnahmezeit	Regenerationszeit für Bodengefüge und Entwicklung der Vegetation mindestens 1 bis 3 Jahre, dann betriebsbereit
Unterschiedliche Realisierung	"Einzelfertigung" nach Situation

Wesentliche Aspekte

Das Bodengefüge ist wesentlich für die Durchlässigkeit. Bodenfilter müssen regelmässig trocken fallen und haben eine eher geringe hydraulische Belastbarkeit. Eine Vorbehandlung des Strassenabwassers mittels Absetzbecken wird empfohlen.

Limitierungen

- Geeigneter Boden steht auf der Baustelle nicht immer zur Verfügung. Er sollte aber als grundsätzlich knappe Ressource auch nicht von anderen Orten bezogen werden.
- Boden hat keine konstanten Materialeigenschaften und ist daher nicht mit anderen Baustoffen zu vergleichen. Die fachgerechte Verarbeitung des Bodens erfordert daher besondere Aufmerksamkeit. Sie ist für die einwandfreie Funktion der Anlage wesentlich.
- Ungeeignete Bodenarten sind in der Praxis kaum meliorierbar, d.h. nicht mischbar mit Zusatzstoffen wie Sand oder Adsorbiermaterialien.
- Das Problem der präferentiellen Fliesswege ist noch ungelöst.
- Bei Störungen des Bodengefüges durch Verdichtung oder Überlockerung im Unterboden ist eine Reparatur kaum möglich.
- Dauereinstau ist nicht möglich.
- Es liegen noch keine Betriebserfahrungen mit Erfolgskontrollen vor.



Abb. III.2 Schematische Darstellung eines Bodenfilters Typ BAFU

III.2.3 Sandfilter bewachsen

Beschreibung

Bewachsene Sandfilter sind aus gewaschenem Filtersand mit geeigneter Korngrößenverteilung, Kornform und genügend hohem Kalkgehalt aufgebaut. Die Oberfläche ist mit einer geeigneten Vegetation (z.B. Schilf) bewachsen und das ganze Volumen durchwurzelt.

Funktionsweise

Die Reinigungsleistung beruht wesentlich auf dem Filterkuchen aus feinkörnigem Sediment und organischer Substanz, die an der Oberfläche der Sandschicht zurückgehalten und teilweise auch eingeschwemmt wird. Dabei kann sich eine eigentliche Humusschicht entwickeln. Sandfilter werden also mit der Zeit zu Bodenfiltern. Biologischer Abbau findet bei genügend entwickelter biologischer Aktivität statt.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Hauptbehandlung
Schadstoffentfernung	Siebfiltration, Raumfiltration, Adsorption, biologischer Abbau
Variabilität der Schadstoffentfernung	Gering
Abflusssrosslung	Ja, Dauereinstau von möglich zu vermeiden
Retentionsvolumen	Vorhanden beim Einbau in ein RFB
Entlastungen	Vorhanden beim Einbau in ein RFB
Havarierückhalt	Ja (Verschmutzung des Filters bedingt voraussichtlich vollständigen Ersatz)
Betrieb	Keine speziellen Installationen erforderlich
Unterhalt	Bei Schilfvegetation kein Unterhalt notwendig
Entsorgung	Aufbereitung u.U. möglich
Temperaturempfindlichkeit	Bei tiefen Temperaturen geringere Sorptionsleistung (Biofilm), nicht frostempfindlich
Materialbeschaffung	Muss in der Regel im Kieswerk nach Spezifikation hergestellt werden, i.A. leicht zu beschaffen
Inbetriebnahmezeit	Sofort betriebsbereit, Einarbeitungszeit für Biofilm ½ - 1 Jahr
Unterschiedliche Realisierung	Sandqualität und Schichthöhe variabel

Wesentliche Aspekte

- Damit der Filter durchlässig bleibt, muss er (mit Schilf) bewachsen sein. Andernfalls muss der Filterkuchen regelmässig entfernt werden.
- Sand zeigt im Vergleich zu Boden nur geringen präferentiellen Fluss.
- Vorbehandlung notwendig.
- Meliorierbarkeit: Sand ist mischbar oder kombinierbar mit Sorbentien.

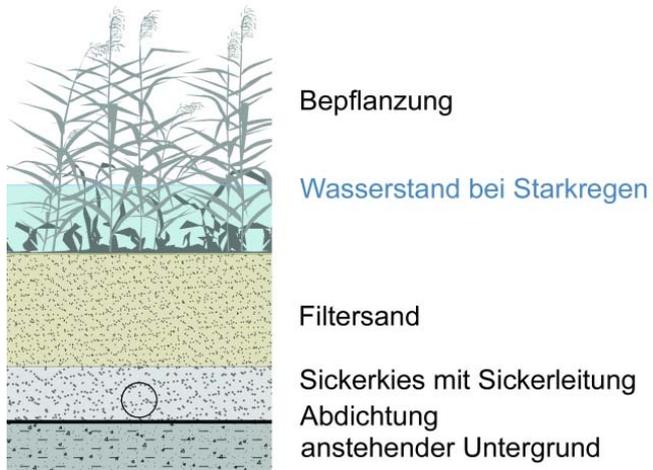


Abb. III.3 Schematische Darstellung eines bewachsenen Sandfilters

III.2.4 Kombinierte Filter Boden/Sand oder Boden/Kiessand

Beschreibung

Kombinierte Filter sind aus Oberboden über Filtersand oder Kiessand aufgebaut, bzw. wird hier der Unterboden durch Sand oder Kiessand ersetzt.

Die Bodenoberfläche muss durch eine geeignete Vegetation bedeckt und es muss mindestens die Bodenschicht durchwurzelt sein.

Funktionsweise

Im Prinzip gleiche Eigenschaften wie Bodenfilter mit Ober- und Unterboden. Die positiven Eigenschaften von Boden und Sand sind hier kombiniert. Der Oberboden hat ein hohes Adsorptions- und Abbauvermögen. Der Sand oder Kiessand neigt weniger zu präferentiellen Fließwegen und vermag so diese Eigenschaft des Bodens zu kompensieren.

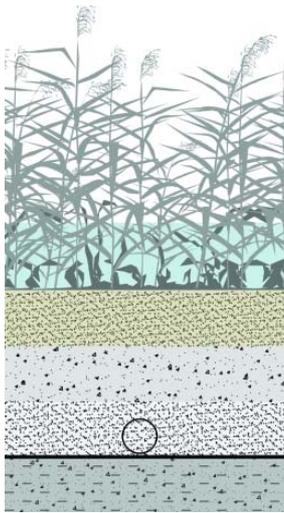
Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Hauptbehandlung, Nachbehandlung
Schadstoffentfernung	Raumfiltration, Adsorption, Ionenaustausch, biologischer Abbau
Variabilität der Schadstoffentfernung	Gering
Abflussdrosslung	Ja
Retentionsvolumen	Vorhanden beim Einbau in ein RFB
Entlastungen	Vorhanden beim Einbau in ein RFB
Havarierückhalt	Ja (Verschmutzung des Filters bedingt voraussichtlich vollständigen Ersatz)
Betrieb	Keine speziellen Installationen erforderlich
Unterhalt	Pflege der Vegetation, mähen Bei Schilfvegetation kein Unterhalt notwendig
Entsorgung	Aufbereitung des Bodens nicht möglich
Temperaturempfindlichkeit	Gering, Sorptionsleistung auch bei tiefen Temperaturen, nicht frostempfindlich
Materialbeschaffung	Falls auf der Baustelle kein geeigneter Boden anfällt, sehr schwierig zu beschaffen
Inbetriebnahmezeit	Regenerationszeit für Bodengefüge und Entwicklung der Vegetation mindestens 1 bis 3 Jahre, dann betriebsbereit
Unterschiedliche Realisierung	"Einzelfertigung" nach Situation

Wesentliche Aspekte

- Filtersand in tieferen Schichten ist weitgehend unproblematisch, da er kaum verdichtet und auch nicht überlockert sein kann.
- Betriebserfahrungen und Erfolgskontrollen liegen vor.
- Vorbehandlung notwendig.

Limitierungen

- Geeigneter Boden steht auf der Baustelle nicht immer zur Verfügung.
- Boden hat keine konstanten Materialeigenschaften und ist daher nicht mit anderen Baustoffen zu vergleichen. Die fachgerechte Verarbeitung des Bodens erfordert daher besondere Aufmerksamkeit. Sie ist für die einwandfreie Funktion der Anlage wesentlich.
- Ungeeignete Bodenarten sind in der Praxis kaum meliorierbar, d.h. nicht mischbar mit Zusatzstoffen wie Sand oder Adsorbiermaterialien.
- Dauereinstau der Bodenschicht ist nicht möglich.
- Am Übergang von der Boden- zur Sandschicht kann sich bei ungeeignetem Design oder Mängel in der Ausführung langfristig eine Kolmatierung entwickeln und so eine schlecht durchlässige Grenzfläche bilden. Es liegen jedoch noch zu wenig Erfahrungen vor.



Bepflanzung

Wasserstand bei Starkregen

Oberboden

Kiessand

Sickerkies mit Sickerleitung

Abdichtung
anstehender Untergrund

Abb. III.4 Schematische Darstellung eines Boden/Sand oder Boden/Kiessandfilters

III.3 Technische Einzelverfahren

III.3.1 Absetzbecken, Absetzteiche

Beschreibung

Absetzbecken und Absetzteiche haben die Aufgabe, Partikel und partikulär vorliegende Schadstoffe durch Sedimentation zu entfernen.

Funktionsweise

Absetzbecken werden vom Strassenabwasser möglichst gleichmässig durchströmt. Dabei sedimentieren die partikulären Stoffe. Je nach Konstruktion werden diese in einem Schlamm bunker gespeichert.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Vorbehandlung
Schadstoffentfernung	Sedimentation
Variabilität der Schadstoffentfernung	Relativ gross, bedingt durch variablen Durchfluss
Abflussdrosslung	Gering
Retentionsvolumen	In eingestautem Betrieb gering. Bei periodischem Abpumpen vorhanden.
Entlastungen	Möglich
Havarierückhalt	Möglich, falls die notwendigen baulichen Massnahmen vorgesehen sind
Betrieb	Keine speziellen Installationen notwendig
Unterhalt	Reinigen des Bodenbereichs und des Schlamm bunkers
Entsorgung	Absaugen von Schlamm durch Saugwagen, anschliessend Aufbereitung, Deponie
Temperaturempfindlichkeit	Unproblematisch
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Unproblematisch
Unterschiedliche Realisierung	Ja

Wesentliche Aspekte

Für die Dimensionierung ist die Oberflächenbelastung eines Absetzbeckens die wesentliche Kennzahl. Bei der Realisierung massgebend sind zudem die Strömungsverhältnisse im Becken, welche von der baulichen Gestaltung abhängen. Je ungleichmässiger die Strömung im Becken verteilt ist und je weniger hydraulische Pulsbelastungen aufgefangen werden können, desto schlechter ist die Leistung eines Absetzbeckens. Dies kann dazu führen, dass zuvor bereits sedimentierte Partikel resuspendiert und anschliessend ausgewaschen werden.

Limitierungen

- Bedingt durch die langsamen Absetzgeschwindigkeiten von Partikeln mit geringem Durchmesser (ca. < 40 µm) ist die Leistungsfähigkeit zur Schadstoffentfernung insbesondere bei Schwermetallen physikalisch begrenzt. Gelöste Stoffe wie DOC können nur minimal zurückgehalten werden.

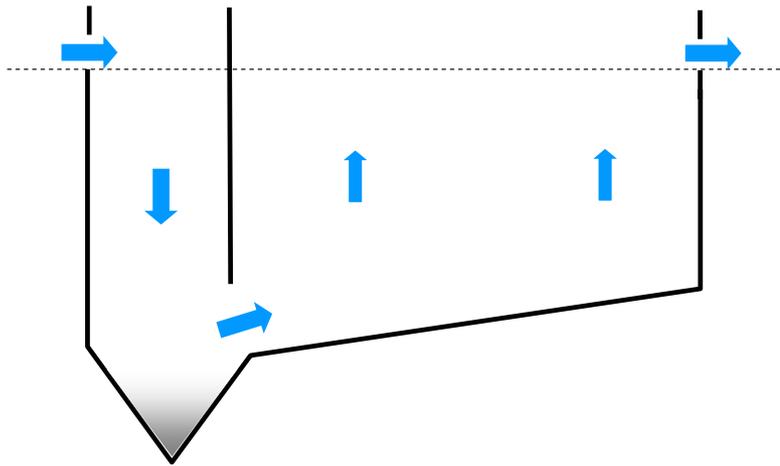


Abb. III.5 Schematische Darstellung eines Absetzbeckens

III.3.2 Lamellenabscheider

Beschreibung

Lamellenabscheider haben die Aufgabe, einen möglichst hohen Anteil der Partikel aus dem Strassenabwasser zu entfernen. Sie basieren wie Absetzbecken und Absetzteiche auf dem Prinzip der Sedimentation. Die gegenüber Absetzbecken verbesserte Leistung beruht auf zwei Faktoren. Erstens wird die Wasserführung im Becken im Vergleich zu einem Absetzbecken stabilisiert und zweitens steht durch die Lamellen eine deutlich vergrösserte Oberfläche für das Absetzen der Partikel zur Verfügung.

Funktionsweise

Bei den meisten Lamellenabscheidern wird das Strassenabwasser zuerst unter einer Tauchwand hindurch geleitet und durchfliesst anschliessend die Lamellen im Aufstrom. Die Partikel lagern sich dabei an der Lamellenoberfläche ab, sinken erst zu Boden und nachher, falls vorhanden, in den Schlamm bunker.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Vorbehandlung
Schadstoffentfernung	Sedimentation
Variabilität der Schadstoffentfernung	Relativ gross wegen variablem Durchfluss
Abflussdrosslung	Gering
Retentionsvolumen	Im eingestauten Betrieb gering. Bei periodischem Abpumpen vorhanden.
Entlastungen	In der Regel nicht notwendig, da geringe Drosselung
Havarierückhalt	Möglich, falls die notwendigen baulichen Massnahmen vorgesehen sind
Betrieb	Je nach Typ sind unterschiedliche Installationen notwendig: Strom, Pumpen etc.
Unterhalt	Typenabhängig. Generell Reinigung des Bodenbereichs und des Schlamm bunkers.
Entsorgung	Absaugen von Schlamm durch Saugwagen, anschliessend Aufbereitung, Deponie
Temperaturempfindlichkeit	Unproblematisch
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Keine
Unterschiedliche Realisierung	Ja. Unterschiede im Betriebsmodus, dem Einbau und der Anordnung der Lamellen

Wesentliche Aspekte

Es gibt zahlreiche Fabrikate, die sich hinsichtlich der Konstruktion der Lamellen und deren Anordnung, der Dimensionierung der Absetzzone sowie im Betrieb deutlich unterscheiden. Im Betrieb gibt es die Variante des Leerpumpens nach jedem Regenereignis. Dabei werden das Wasser bzw. der abgetrennte Schlamm mittels unterschiedlicher Vorrichtungen abgespült (Schwallspülung, Kippspülung) und aus dem Lamellenabscheider in die Schmutzwasserkanalisation gepumpt. Als Alternative kann der Lamellenabscheider im Dauerstau betrieben werden. In diesem Fall erfolgt die Speicherung im Schlamm bunker.

Bei der Dimensionierung eines Lamellenabscheiders ist eine Oberflächenbelastung von weniger als 1 m/h anzustreben.

Limitierungen

- Bedingt durch die langsamen Absetzgeschwindigkeiten von kleinen Partikeln ist die Leistungsfähigkeit zur Schwermetallentfernung physikalisch begrenzt. Gelöste Stoffe wie DOC können nur minimal zurückgehalten werden.

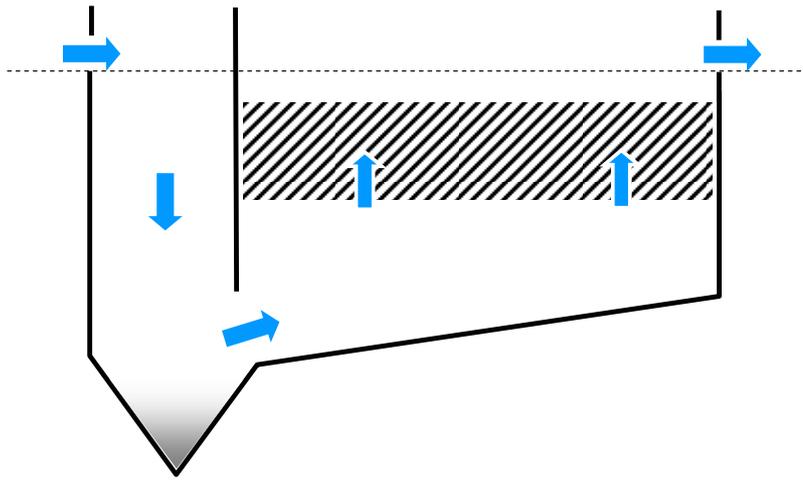


Abb. III.6 Schematische Darstellung eines Lamellenabscheiders

III.3.3 Flockung und Fällung

Beschreibung

Die Aufgabe der Flockung ist es, die Partikelgrößenverteilung zu Gunsten der grösseren Partikel, die besser sedimentieren, zu verschieben. Aus vielen kleinen, schwer absetzbaren Partikeln sollen grössere und besser zu fällende Partikel geschaffen werden. Mit der Flockung und Fällung kann somit die Leistungsfähigkeit von Verfahren, die auf der Sedimentation beruhen, erhöht werden.

Funktionsweise

Partikel im Strassenabwasser sind negativ geladen. Dadurch stossen sie sich ab. Mit Hilfe eines Flockungsmittels wird die Oberflächenladung der Partikel derart manipuliert, dass natürlicherweise sich abstossende oder schlecht aggregierende Partikel aneinander haften bleiben und grössere Agglomerate bilden können (Entstabilisierungsschritt).

Um die Agglomeration von Partikeln zu ermöglichen, ist der gegenseitige Kontakt, das heisst das Zusammentreffen der Partikel im Wasser, notwendig. Die Partikel müssen deshalb zueinander transportiert werden (Transportschritt). Dieser Transportschritt bedingt eine gute Einmischung des Flockungsmittels in den Abwasserstrom [18].

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Vorbehandlung, (Hauptbehandlung)
Schadstoffentfernung	Sedimentation
Variabilität der Schadstoffentfernung	Bei funktionierender Flockung-Fällung geringer als bei Sedimentationsbecken, allerdings immer noch vorhanden.
Abflussdrosslung	Gering
Retentionsvolumen	Im eingestauten Betrieb gering. Bei periodischem Abpumpen vorhanden.
Entlastungen	Möglich
Havarierückhalt	Möglich, falls die notwendigen baulichen Massnahmen vorgesehen sind.
Betrieb	Typenabhängig. Einrichtungen zur Dosierung der Flockungsmittel sind notwendig. Periodische Beschaffung von Flockungsmitteln
Unterhalt	Typenabhängig. Generell Reinigung des Bodenbereichs und des Schlamm bunkers
Entsorgung	Absaugen von Schlamm durch Saugwagen, anschliessend Aufbereitung, Deponie. Durch die Flockung muss mit einem grösseren Schlammaufkommen gerechnet werden.
Temperaturempfindlichkeit	Gering, typenabhängig. Mögliche Frostgefahr für das Dosiersystem
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Keine
Unterschiedliche Realisierung	Ja. Unterschiedliche Flockungsmittel, Dosier- und Einmischsysteme

Wesentliche Aspekte

Die Effizienz der Flockung hängt massgeblich von der richtigen Dosierung der Flockungsmittel ab. Die Dosierung sollte deshalb an das dynamische Abflussverhalten von Strassenabwasser angepasst werden können.

Nach der Dosierung ist zu gewährleisten, dass eine schnelle und wirksame Einmischung erfolgt. Diese Einmischung steht im Widerspruch zur möglichst laminaren Strömung, welche für die Sedimentation der Partikel notwendig ist. Die Einmischung sollte deshalb die Strömungsverhältnisse im Becken möglichst wenig beeinflussen.

Die Schlammmenge und damit der Unterhaltsaufwand können sich durch die zusätzlichen Fällungsprodukte erhöhen.

Offene Fragen / Limitierungen

Das Ausmass der Erhöhung der Leistungsfähigkeit eines Absetzbeckens oder eines Lamellenabscheiders unter Zuhilfenahme der Flockung ist schwierig abzuschätzen. Nur mit Hilfe grosstechnischer Versuche können die offenen Fragen bezüglich der Leistungsfähigkeit sowie des Betriebs und Unterhalts geklärt werden.

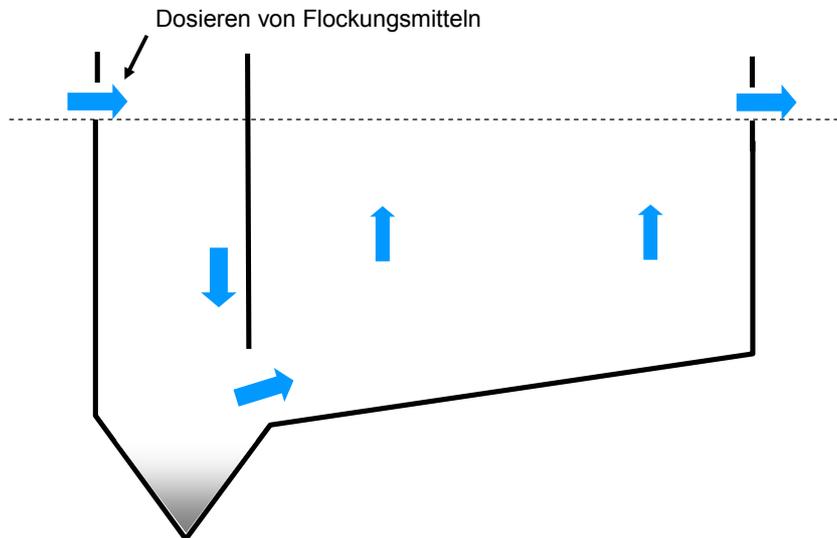


Abb. III.7 Schematische Darstellung eines Absetzbeckens mit der Dosierung eines Flockungsmittels

III.3.4 Mikrosiebe

Beschreibung

Die Aufgabe von Mikrosieben ist es, Partikel aus dem Strassenabwasser zu entfernen. Mikrosiebe bestehen aus Kunststoff- oder Metallgewebe mit einem Porendurchmesser zwischen 6 und 500 µm. Diese Gewebe werden auf unterschiedliche Art und Weise auf Trägerkonstruktionen befestigt. Entsprechend gibt es zahlreiche Hersteller von Mikrosieben.

Funktionsweise

Die Trägerkonstruktionen mit angebrachten Siebgeweben werden meistens nur aufgrund der hydrostatischen Druckdifferenz durchflossen. Dabei werden die Partikel auf der Zuflussseite zurückgehalten. Beispielsweise fliesst das Strassenabwasser von innen in eine auf der Aussenseite mit Siebgeweben umhüllte, geschlossene Trommel. Die Partikel werden im Trommelinnern zurückgehalten, das vorgereinigte Abwasser fliesst auf der Aussenseite der Trommel ab.

Mikrosiebe werden, wenn die Kolmation durch filtrierte Partikel zunimmt, automatisch gereinigt. Die Reinigung kann beispielsweise durch das Abspritzen mit Hochdruck erfolgen. Bei einer Trommel können zu diesem Zweck im Trommelinnern fest installierte Düsen den Schlamm abspritzen. Der abgespritzte Schlamm wird anschliessend mit unterschiedlichen Methoden abgesaugt. Es gibt zahlreiche Hersteller von Mikrosieben, die sich bezüglich der Art und Anordnung der Siebgewebe, des Reinigungsvorgangs sowie der Schlammabnahme unterscheiden. Polstofffilter weisen grundsätzlich eine ähnliche Funktionsweise auf.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Vorbehandlung, (Hauptbehandlung)
Schadstoffentfernung	Siebfiltration
Variabilität der Schadstoffentfernung	Aufgrund der Funktionsweise ist die Variabilität gering. Nach dem Abreinigen muss unter Umständen mit einer Leistungseinbusse gerechnet werden.
Abflussdrosslung	Gering, abhängig von der Maschenweite
Retentionsvolumen	Nicht vorhanden
Entlastungen	Nicht vorhanden
Havarierückhalt	Nicht vorhanden
Betrieb	Stromanschluss notwendig
Unterhalt	Reinigung der Anlage, Kontrolle von Pumpen und Abreinigungsmechanismen
Entsorgung	Schlammabfuhr, Aufbereitung/Entsorgung
Temperaturempfindlichkeit	Frostgefahr
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Unproblematisch
Unterschiedliche Realisierung	Ja, unterschiedliche Maschenweite der Siebe, unterschiedliche Betriebsarten, unterschiedliche Abreinigungsmethoden

Wesentliche Aspekte

- Dieser Anlagentyp erfordert eine separate Schlammbehandlung für den abgetrennten Schlamm.

Limitierungen

- Aufgrund des relativ zur Partikelgrössenverteilung grossen Porendurchmessers der Siebe können die Partikel sowie die daran sorbierten Schadstoffe nur begrenzt zurückgehalten werden.

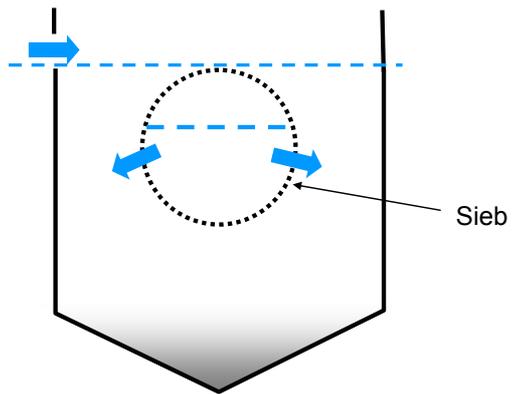


Abb. III.8 Schematische Darstellung einer Anlage mit Mikrosieb. Bei diesem Beispiel erfolgt die Beschickung von innen nach aussen. Die Partikel werden somit an der Innenseite des Siebs abgeschieden. Die Rückspülung erfolgt von aussen nach innen

III.3.5 Polstofffilter

Beschreibung

Polstofffilter erfüllen prinzipiell die gleiche Aufgabe wie Mikrosiebe. Durch die Verwendung von Fasern, welche im Betriebsmodus eine poröse Schicht bilden, soll auch der Rückhalt von kleineren Partikeln ermöglicht werden.

Funktionsweise

Die Funktionsweise ist ähnlich derjenigen der Mikrosiebe. Anstelle von festen Sieben wird ein Polstoff verwendet. Dieser besteht aus Fasern, welche auf einem Gewebe angebracht sind. Im Filtrationsbetrieb legen sich die Fasern auf der Zustromseite auf das Gewebe. Dadurch entsteht ein feinporöser Filter. Bei zunehmender Kolmation erfolgt die Abreinigung durch einen Saugmechanismus, der die Fasern des Polstoffs aufrichtet, wodurch die Partikel leicht abgesaugt werden können.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Vorbehandlung, Hauptbehandlung
Schadstoffentfernung	Siebfiltration
Variabilität der Schadstoffentfernung	Aufgrund der Funktionsweise ist die Variabilität gering. Nach dem Abreinigen muss unter Umständen mit einer Leistungseinbusse gerechnet werden. Umgekehrt erfolgt im Betrieb mit zunehmender Kolmation eine verbesserte Reinigung.
Abflussdrosslung	Vorhanden bedingt durch den Polstoff
Retentionsvolumen	Nicht vorhanden
Entlastung	Nicht vorhanden
Havarierückhalt	Nicht vorhanden
Betrieb	Stromanschluss notwendig
Unterhalt	Kontrolle von Pumpen und Abreinigungsmechanismen, separate Schlammbehandlung erforderlich
Entsorgung	Schlamm Entsorgung
Temperaturempfindlichkeit	Frostempfindlich
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Unproblematisch
Unterschiedliche Realisierung	Möglich bezüglich Anlagengrösse und Art der Polstoffe

Wesentliche Aspekte

- Dieser Anlagentyp erfordert eine separate Schlammbehandlung für den abgetrennten Schlamm.

Limitierungen

- Feine Partikel und feinpartikulär vorliegende Schwermetalle können nur teilweise zurückgehalten werden.

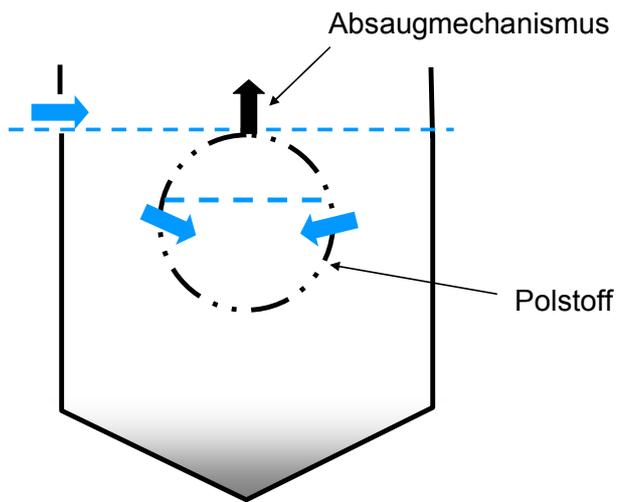


Abb. III.9 Schematische Darstellung einer Anlage mit Polstofffilter

III.3.6 Sandfilter

Beschreibung

Unbewachsene Sandfilter sind aus gewaschenem Filtersand mit geeigneter Korngrößenverteilung, Kornform und genügend hohem Kalkgehalt aufgebaut. Zusätzlich kann eine Abdeckschicht mit Splitt vorhanden sein. Indem die oberste Kolmationsschicht regelmässig entfernt wird, kann sich bei diesem Filtertyp keine Vegetation entwickeln.

Funktionsweise

Die Reinigungsleistung beruht wesentlich auf dem Filterkuchen aus feinkörnigem Sediment und organischer Substanz, die auf der Oberfläche der Sandschicht zurückgehalten und teilweise auch in die Sandschicht eingeschwemmt werden.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Hauptbehandlung
Schadstoffentfernung	Siebfiltration, Raumfiltration, biologischer Abbau nach Aufbau des Filterkuchens, (Adsorption)
Variabilität Schadstoffentfernung	Gering
Abflussdrosslung	Ja
Retentionsvolumen	Vorhanden beim Einbau in ein RFB
Entlastungen	Vorhanden beim Einbau in ein RFB
Havarierückhalt	Ja (Verschmutzung des Filters bedingt voraussichtlich teilweisen Ersatz des Sands)
Betrieb	Keine speziellen Installationen erforderlich
Unterhalt	regelmässiges Entfernen der Kolmationsschicht
Entsorgung	Aufbereitung u.U. möglich
Temperaturempfindlichkeit	Bei tiefen Temperaturen geringere Sorptionsleistung (Biofilm), nicht frostempfindlich
Materialbeschaffung	Muss in der Regel im Kieswerk nach Spezifikation hergestellt werden, i.A. leicht zu beschaffen
Inbetriebnahmezeit	Sofort betriebsbereit, Ausbildung biologischer Aktivität nach ½ - 1 Jahren
Unterschiedliche Realisierung	Sandqualität und Schichthöhe variabel

Wesentliche Aspekte

- Damit der Filter durchlässig bleibt muss diese Kolmationsschicht regelmässig entfernt werden. Diese Unterhaltmassnahme kann auch die Filterleistung zeitweise verschlechtern.
- Sand zeigt im Vergleich zu Boden nur geringen präferentiellen Fluss.
- Meliorierbarkeit: Sand ist mischbar oder kombinierbar mit Sorbentien.
- Vorbehandlung sinnvoll.

Limitierungen

- Das regelmässige Entfernen der Kolmationsschicht und die künstliche Lockerung der Oberfläche verschlechtert die Filterleistung bezüglich Schadstoffentfernung zeitweise.



Abb. III.10 Schematische Darstellung eines Splitt/Sandfilters

III.3.7 Splittfilter

Beschreibung

Der Splittfilter ist ein vertikal durchströmter, hoch belasteter Filter. Durch die verlangsamte Strömung lagern sich die Feinpartikel des Strassenwassers auf dem Splitt ab. Dabei entsteht eine Art Filterkuchen, welcher die eigentliche Filterwirkung ausmacht.

Funktionsweise

Die Funktionsweise des Splittfilters basiert auf dem Retentionsfilterbecken (RFB). Dabei wird auf der Drainageschicht eine Schicht Splitt aufgebracht. Durch den Einstau der unteren Schichten des RFB wird der Durchfluss gedrosselt, damit sich die Feinpartikel ablagern können und dabei einen Filterkuchen bilden. Der Splitt dient dabei als Trägermaterial und hat selbst kaum eine Filterwirkung.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Vorbehandlung, (Hauptbehandlung)
Schadstoffentfernung	Siebfiltration, Raumfiltration, biologischer Abbau, (Adsorption)
Variabilität Schadstoffentfernung	Voraussichtlich gering
Abflussdrosslung	Vorhanden
Retentionsvolumen	Vorhanden → RFB
Entlastungen	Vorhanden
Havarierückhalt	Ja
Betrieb	Keine speziellen Vorkehrungen erforderlich
Unterhalt	Abschälen des auf dem Splitt angesammelten Strassenschlammes (trockener Filterkuchen).
Entsorgung	Schlamm Entsorgung (trocken)
Temperaturempfindlichkeit	Unproblematisch
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Unmittelbar nach Erstellung
Unterschiedliche Realisierung	Ja

Wesentliche Aspekte

- Der Splittfilter vereint möglichst viele Funktionen: Retention, Drosselung, Vorbehandlung, Schlammstapel und Havarierückhalt.
- Die grossen anfallenden Schlammengen können trocken über dem Splitt abgeschält und entsorgt werden.

Limitierungen

- Mit der Zunahme der Schlammsschicht (Filterkuchen) nimmt die Durchflussleistung ab (Kolmation).

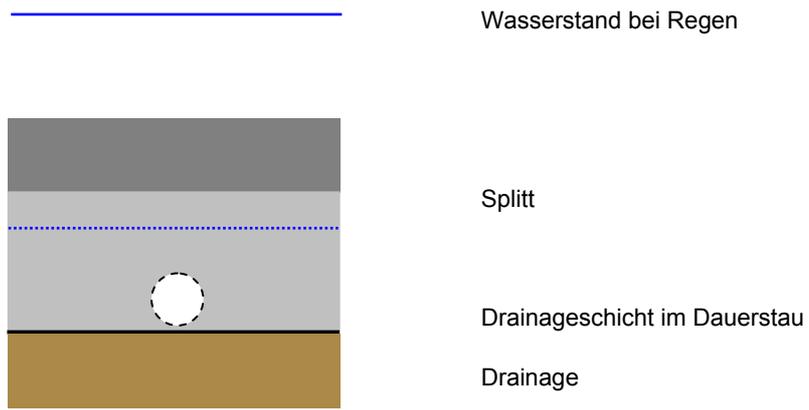


Abb. III.11 Schematische Darstellung eines Splittfilters

III.3.8 Schnellsandfilter

Beschreibung

Ein Schnellsandfilter ist ein vertikal durchströmter, hydraulisch hoch belasteter Raumfilter, der rückgespült werden muss. Das Rückspülwasser muss durch geeignete Verfahren behandelt werden.

Funktionsweise

Das vorgereinigte Strassenabwasser durchströmt den Filter unter hydrostatischem Druck, welcher mit einem Aufstau über der Filteroberfläche erzeugt wird. Durch die Wahl der Filtermaterialien werden hohe Filtergeschwindigkeiten erzielt, welche eine kompakte Bauweise des Schnellsandfilters ermöglichen. Infolge der hohen Belastung verläuft die Kolmation relativ schnell, weshalb diese Filter rückgespült werden müssen. Dies geschieht, entweder indem Wasser oder ein Wasser-Luftgemisch durch den Düsenboden von unten in die Filterschicht gepumpt wird. Das hochkonzentrierte Rückspülwasser muss während des Rückspülens aufgefangen bzw. behandelt werden. Idealerweise wird während Trockenwetter rückgespült. Schnellsandfilter werden seit Jahrzehnten in der Abwasserreinigung eingesetzt.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Hauptbehandlung
Schadstoffentfernung	Raumfiltration, (Adsorption)
Variabilität Schadstoffentfernung	Voraussichtlich gering
Abflussdrosslung	Vorhanden
Retentionsvolumen	Gering
Entlastungen	Ja
Havarierückhalt	Ja
Betrieb	Aggregate und Installationen zur Rückspülung notwendig
Unterhalt	Aggregate und Installationen, Schlammensorgung
Entsorgung	Schlammensorgung
Temperaturempfindlichkeit	Unproblematisch
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Unmittelbar nach Erstellung
Unterschiedliche Realisierung	Ja, insbesondere bezüglich Betrieb, Aufbau der Filterschicht und Behandlung des Rückspülwassers

Wesentliche Aspekte

- Noch keine Erfahrung zur Behandlung von Strassenabwasser vorhanden.
- Kompakte Bauweise möglich. Im Vergleich zu normalem Sandfilter kann die Filterfläche fünf bis zu zehnfach geringer sein.
- Behandlung des Rückspülwassers notwendig.
- Bedingt durch die Raumfiltration voraussichtlich weitgehende Partikelabtrennung.

Offene Fragen

- Effektive hydraulische Leistungsfähigkeit.
- Verlauf der Kolmation.
- Betriebsstabilität und Betriebsmodus.

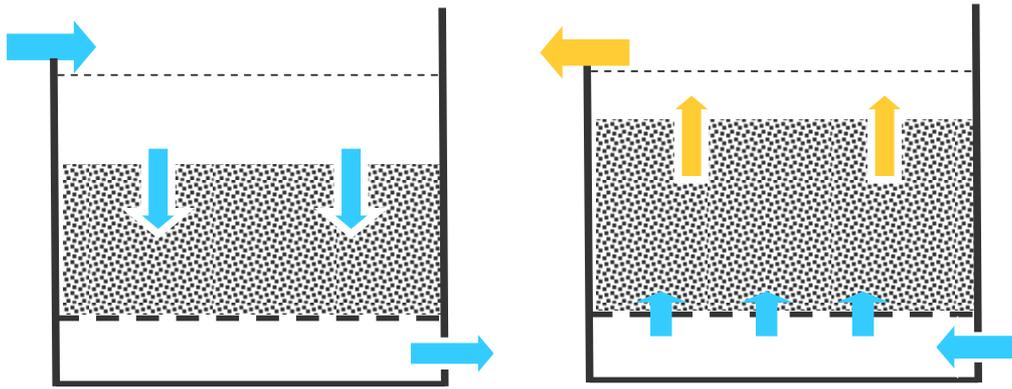


Abb. III.12 Schematische Darstellung eines Schnellsandfilters im Betriebsmodus auf der linken und im Rückspülmodus auf der rechten Seite

III.3.9 Membrane

Beschreibung

Membranverfahren werden heute zur Aufbereitung von zahlreichen Abwässern (Industrielles Abwasser, kommunales Abwasser etc.) erfolgreich eingesetzt. Membranverfahren optimieren unterschiedliche verfahrenstechnische Schritte. Deshalb benötigt eine SABA basierend auf Membranen weniger Verfahrensstufen und ist daher kompakter.

Funktionsweise

Alle Membranverfahren beruhen auf dem Prinzip der Filtration. Dabei wird zwischen Crossflow- und Deadend-Filtration unterschieden. Das Strassenabwasser wird mit Hilfe eines Druckes durch eine Membran befördert und ermöglicht so einen feststofffreien Ablauf. Die einsetzbaren Membranmodule am Markt unterscheiden sich hinsichtlich

- der Modulkonstruktion
- der Trenngrenze (Mikro-, Ultra- oder Nanofiltration)
- des Membranaufbaus (Flach-, Rohr- oder Kapillarmembrane)
- der Filtrationsrichtung (von innen nach aussen oder umgekehrt)
- des Aufstellungsorts (extern aufgestellte oder getauchte Systeme) und
- der Betriebsweise.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Hauptbehandlung, einfache Vorbehandlung notwendig
Schadstoffentfernung	Filtration
Variabilität der Schadstoffentfernung	Sehr gering
Abflussdrosslung	Hoch (Druckbetrieb)
Retentionsvolumen	Nicht vorhanden
Entlastungen	Nicht vorhanden
Havarierückhalt	Nicht vorhanden
Betrieb	Sehr stark typenabhängig. Strom, Chemikalien zur Reinigung
Unterhalt	Sehr stark typenabhängig. Strom, Chemikalien zur Reinigung
Entsorgung	Schlamm Entsorgung gemäss Konstruktion
Temperaturempfindlichkeit	Frostgefahr
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Keine
Unterschiedliche Realisierung	Ja

Wesentliche Aspekte

Der wichtigste Aspekt beim Betrieb einer Membrananlage ist die Kontrolle des Fouling auf der Membranoberfläche. Davon hängt entscheidend die Permeabilität (Membranfluss) bzw. hydraulische Leistungsfähigkeit des eingesetzten Membrantyps ab. Durch Faktoren wie Art der Abwasservorbehandlung, Betriebsweise der Membran und einer effizienten Membranreinigung kann ein stabiler Betrieb gewährleistet werden [19].

Offene Fragen/Limitierungen

- Wie stark ausgeprägt ist das Fouling auf der Membranoberfläche?
- Wie ist die optimale Betriebsweise der eingesetzten Membran?
- Wie oft muss die Membran chemisch gereinigt werden?
- Schwermetallrückhalt ist abhängig von der Porengrösse der Membran.

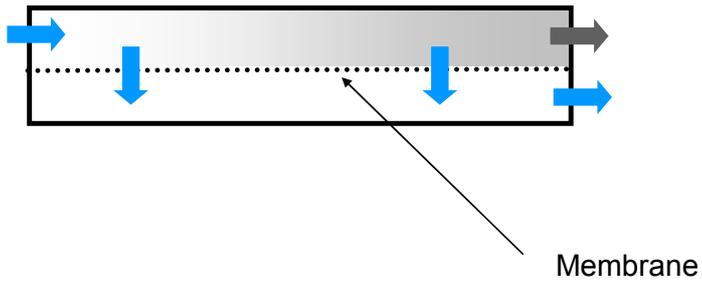


Abb. III.13 Schematische Darstellung der Funktionsweise eines Membranmoduls

III.3.10 Adsorber

Beschreibung

Adsorbierschichten haben die Aufgabe, die gelösten²⁸ Schwermetalle aus dem Strassenabwasser zu entfernen. Bei der Adsorption werden die gelösten Schwermetalle an die Oberfläche eines körnigen Adsorbens (Zeolith, Eisenhydroxide etc.) gebunden und somit aus dem Strassenabwasser entfernt. Adsorbierschichten weisen parallel zur Adsorption immer auch eine Filtrationswirkung auf.

Funktionsweise

Die körnigen Adsorbentien werden in Schichten angeordnet, welche vom Strassenabwasser durchströmt werden. Dabei werden die gelösten Schwermetalle zuerst an die Kornoberfläche und anschliessend im Korninnern adsorbiert. Von Vorteil sind hochporöse Adsorbentien, welche eine grosse wirksame Oberfläche im Korninnern und somit eine hohe Aufnahmekapazität haben.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Nachbehandlung, (Hauptbehandlung)
Schadstoffentfernung	Adsorption, Raumfiltration, biologischer Abbau
Variabilität der Schadstoffentfernung	Gering
Abflusssrosslung	Vorhanden
Retentionsvolumen	Vorhanden beim Einbau als Schicht in einem RFB
Entlastungen	Vorhanden beim Einbau als Schicht in einem RFB
Havarierückhalt	Vorhanden beim Einbau als Schicht in einem RFB
Betrieb	Keine speziellen Vorkehrungen erforderlich
Unterhalt	Auswechseln der Schicht nach Sättigung mit Schwermetallen
Entsorgung	Abhängig vom Adsorbens ist u.U. eine Aufbereitung möglich, Rückgewinnung der Metalle
Temperaturempfindlichkeit	Unproblematisch
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Keine
Unterschiedliche Realisierung	Ja. Unterschiede in der Konstruktion und den Adsorbentien

Wesentliche Aspekte

- Die Aufnahmekapazität, die Aufnahmekinetik²⁹ und die Selektivität ist abhängig vom Adsorbermedium.
- Bei Adsorbieren ist in jedem Fall eine Vorbehandlung notwendig.
- Adsorbierschichten können auf unterschiedliche Art und Weise in einer SABA verwendet werden. Möglich ist der Einbau in einem Retentionsfilter als zusätzliche Schicht.
- Adsorber können auch in einem speziellen Filtergehäuse als hydraulisch hoch belastete Adsorber betrieben werden.

Limitierungen

- Bei Zeolith ist kein Winterbetrieb möglich wegen der Rücklösung durch den erhöhten Streusalzgehalt des Strassenabwassers.
- Eisenhydroxid-Schichten dürfen nicht im Dauerstau betrieben werden.

²⁸ Chemisch betrachtet gelöste Schwermetalle.

²⁹ Mit der Kinetik wird die Aufnahmegeschwindigkeit bezeichnet.

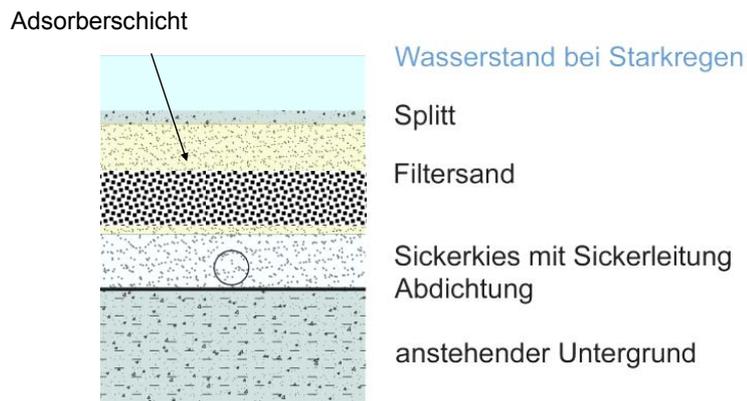


Abb. III.14 Schematische Darstellung einer Adsorberschicht in einem Splitt-Sandfilter

III.4 Technische Verfahrenskombinationen

III.4.1 Lamellenabscheider, Sandfilter und Adsorber

Beschreibung

Die SABA Attinghausen besteht aus einem Lamellenabscheider als Vorreinigung und zwei Retentionsfilterbecken (RFB) mit mehrschichtigem Filteraufbau zur Hauptbehandlung. Die beiden RFB bestehen jeweils aus einer Sandschicht mit einer Adsorberschicht. Die Adsorberschicht besteht in einem RFB aus Eisenhydroxid (Ferrosorp) und im anderen aus Zeolith.

Funktionsweise

Nach dem Entlastungsbauwerk und dem Grobrechen gelangt das Strassenabwasser unter einer Tauchwand hindurch in den Lamellenabscheider und durchströmt diesen im Aufstromprinzip. Anschliessend wird das vorgereinigte Strassenabwasser in die Retentionsfilterbecken geleitet. Der Ablauf der RFB gelangt schliesslich in die Stille Reuss. Für den Partikelrückhalt sind der Lamellenabscheider sowie die Sandschicht zuständig, für die Entfernung der gelösten Schwermetalle die Adsorptionsschichten [20].

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Vorbehandlung, Hauptbehandlung, Nachbehandlung
Schadstoffentfernung	Sedimentation im Lamellenabscheider, Filtration in den Sandschichten, Adsorption in den Adsorberschichten.
Variabilität der Schadstoffentfernung	Im Lamellenabscheider vorhanden, bei den RFB gering
Abflussdrosslung	Lamellenabscheider gering, RFB hoch
Retentionsvolumen	Vorhanden in beiden RFB
Entlastungen	Vorentlastung vor dem Lamellenabscheider, Entlastung bei den RFB
Havarierückhalt	Das Lamellenabscheider-Becken ist als Havariebecken ausgerüstet
Betrieb	Keine speziellen Installationen notwendig, (Stromanschluss ist für Monitoring nötig)
Unterhalt	Reinigung der Lamellen und des Beckens, Reinigung des Grobstoffabscheiders, Massnahmen bei Kolmation, Austausch der Schichten
Entsorgung	Schlamm Entsorgung, Aufbereitung/Entsorgung der Adsorberschichten
Temperaturempfindlichkeit	Unproblematisch
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Inbetriebnahme ist unmittelbar nach dem Bau möglich
Unterschiedliche Realisierung	Ähnliche Verfahrenstypen sind möglich

Wesentliche Aspekte

- Lamellenabscheider wurde eingesetzt als Vorreinigung zur Verminderung der Kolmation der RFB.
- Sommer- und Winterbetriebsmodus, indem im Wintermodus nur das Ferrosorp-RFB in Betrieb ist. Diese Betriebsart ist notwendig, weil das Zeolithbecken im Winter die adsorbierten Schwermetalle durch den Streusalzeinsatz im Strassenabwasser wieder rüchlösen würde.

Limitierungen und offene Fragen

- Kolmationsverlauf der beiden RFB.
- Anteil der Adsorberschicht zur Schadstoffentfernung.

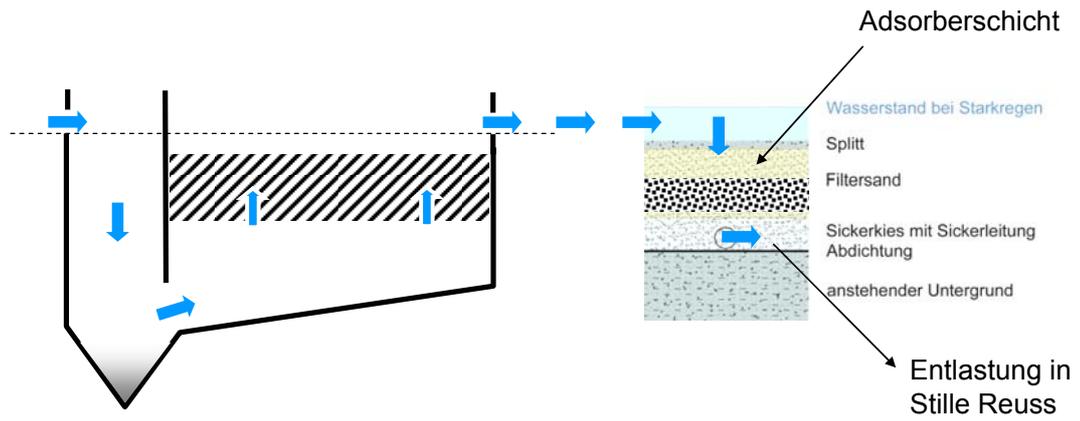


Abb. III.15 Schematische Darstellungen der SABA Attinghausen

III.4.2 Splitt-Kiesfilter + Schilffilter

Beschreibung

Die SABA Hagnau ist eine hochbelastete naturnahe SABA. Sie besteht aus einem Retentionsfilterbecken (RFB) mit Splitt als Vorreinigung und einer Versickerungsanlage mit Bodenpassage (A- und B- Horizont) als Hauptbehandlung. Das RFB ist unbepflanzt, die Versickerungsanlage ist mit Schilf bewachsen.

Funktionsweise

Die Anlage wird im Hauptschluss ohne Vorentlastung betrieben. Das Strassenwasser fliesst direkt in das Retentionsfilterbecken (Splitt). Das RFB dient als Vorbehandlung, als Retention, als Drosselung und als Havariebecken. Das so vorbehandelte Strassenwasser wird über einen zentralen Kontrollschacht der Versickerungsanlage zugeführt. Der mit Schilf bewachsene Boden übernimmt die Hauptbehandlung des Strassenwassers.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Vorbehandlung, Hauptbehandlung
Schadstoffentfernung	Sedimentation/Filtration über der Splittschicht, Hauptreinigung über die Bodenpassage.
Variabilität der Schadstoffentfernung	Im Splittfilter wie bei der Versickerungsanlage gering
Abflussdrosslung	Im Splittfilter wie bei der Versickerungsanlage hoch
Retentionsvolumen	Im Splittfilter wie bei der Versickerungsanlage vorhanden
Entlastungen	Notentlastung vom Splittfilter in die Versickerungsanlage und Notentlastung von der Versickerungsanlage in das Gewässer
Havarierückhalt	Der Splittfilter ist als Havariebecken ausgerüstet
Betrieb	Ausser dem automatisierten Havarieschieber sind keine Installationen für den Betrieb erforderlich.
Unterhalt	Seit 2 Jahren kein Unterhalt. Prognose: Abschälen des auf dem Splitt angesammelten Strassenschlamm (trockener Filterkuchen) alle 2-4 Jahre.
Entsorgung	Schlamm Entsorgung (trocken)
Temperaturempfindlichkeit	Unproblematisch
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Inbetriebnahme Splittfilter unmittelbar nach Baubeginn. Die Versickerungsanlage braucht ein Jahr zum Anfahren.
Unterschiedliche Realisierung	Ähnliche Verfahrenstypen sind möglich

Wesentliche Aspekte

- Der Splittfilter dient als Vorreinigung zur Verminderung der Kolmation des Bodens der Versickerungsanlage. Damit konnte die Fläche der Versickerungsanlage deutlich reduziert werden.

Limitierungen und offene Fragen

- Kolmationsverlauf des RFB (Splittfilters).
- Verlauf der Schadstoffentfernung der Vorbehandlung.
- Rolle des Splittfilters als Hauptbehandlung
- Kolmation und Schadstoffrückhalt der Versickerungsanlage
- Präferentieller Fluss (preferential flow) in der Versickerungsanlage

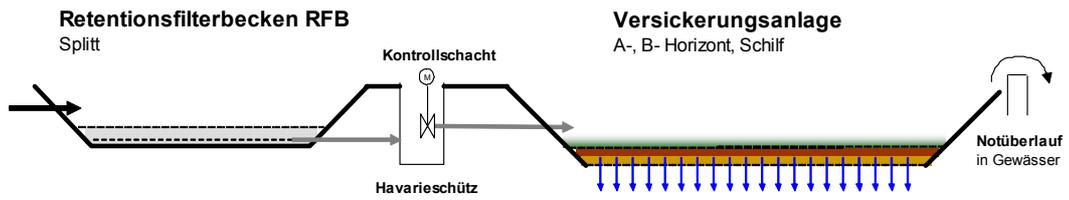


Abb. III.16 Schematische Darstellung der SABA Hagnau. Im Sinn der BAFU-Wegleitung ist das Versickerungsbecken der SABA Hagnau keine Behandlung, da keine Abdichtung vorhanden ist

III.4.3 Zweifache Sedimentation und Filtration

Beschreibung

Bei diesem System sind die Verfahren ringförmig in einem zylindrischen Behälter angeordnet. Die Behandlungsschritte sind eine zweifache Sedimentation und eine Filtration. Bedingt durch die Anordnung der Verfahren steht im Behälter ein Retentionsvolumen zur Verfügung.

Funktionsweise

Das Strassenabwasser durchfließt zuerst die äussere Ringkammer, in welcher der erste Sedimentationsschritt erfolgt. Der zweite Sedimentationsschritt erfolgt in der innern Ringkammer, in welcher sich auch die Filtrationseinheit befindet. Die Filtrationseinheit besteht aus einem vertikal angeordneten Geotextilfilter mit kreisförmigem Grundriss, der horizontal angeströmt wird. Anschliessend gelangt das behandelte Strassenabwasser in den Ablauf [21].

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Vorbehandlung, Hauptbehandlung
Schadstoffentfernung	Sedimentation, Siebfiltration
Variabilität der Schadstoffentfernung	Vorhanden
Abflussdrosslung	Vorhanden, variabel
Retentionsvolumen	Ja
Entlastungen	Vorhanden
Havarierückhalt	Ja
Betrieb	Keine besonderen Anforderungen
Unterhalt	Periodisches Abpumpen des Schlamm Sammlers, Auswechseln der Filtergewebe
Entsorgung	Entsorgung des Schlamm und der Filtergewebe
Temperaturempfindlichkeit	Unproblematisch, (frostempfindlich)
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Inbetriebnahme sofort nach dem Bau möglich.
Unterschiedliche Realisierung	Nur bedingt möglich

Wesentliche Aspekte

- Mehrkammersystem zur gestaffelten Beschickung der Filtrationseinheit und zum Rückhalt von Stoffbelastungen.
- Auswechselbarer Geotextilfilter.

Limitierungen

- Schnelle Verstopfung des Filtrationsgewebes mit damit verbundener Reduktion des Durchflusses.

Da im Testbetrieb kein stabiler Betrieb der Anlage erzielt werden konnte, wird auf die Leistungsbeschreibung verzichtet.

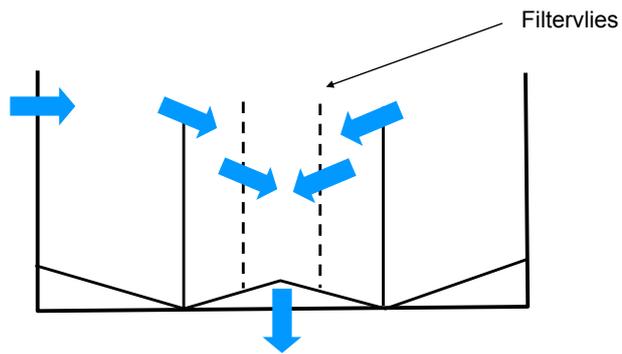


Abb. III.17 Schematische Darstellung eines Systems mit zweifacher Sedimentation und Filtration

III.4.4 Sedimentation, Filtration, Adsorption

Beschreibung

Dieses System ist modular aufgebaut. Die seriell angeordneten Behandlungsschritte sind Sedimentation, Filtration und Adsorption. Eine Retention ist ebenfalls vorhanden und kann modular vergrössert werden. Der Einbau einer Koaleszenzstufe nach der Sedimentation ist möglich.

Funktionsweise

Das Strassenabwasser durchfliesst zuerst das Sedimentationsbecken mit eingebautem Ölfang. Anschliessend gelangt es in die Filtrationsstufe und wird mit Filtervliesen gereinigt. Die Vliese können entweder als Säcke oder als Hauben angeordnet werden. Bei der Sackvariante fliesst das vorgereinigte Strassenabwasser in entsprechend angeordnete Filtersäcke. Bei der Filterhauben-Variante wird das Filtervlies auf einer vertikal angeordneten Tragkonstruktion mit kreisförmigem Grundriss aufgespannt und horizontal durchströmt. Nach der Filtration gelangt das Strassenabwasser in das Adsorptionsmodul und von dort in den Ablauf.

Kriterien	Erklärungen, Bemerkungen
Behandlungstyp	Vorbehandlung, Hauptbehandlung, Nachbehandlung
Schadstoffentfernung	Sedimentation, Siebfiltration, Adsorption
Variabilität der Schadstoffentfernung	Sedimentation: hoch Sedimentation und Filtration: mittel Sedimentation und Filtration und Adsorption: gering
Abflussdrosslung	Sedimentation: gering Sedimentation und Filtration: mittel Sedimentation und Filtration und Adsorption: hoch
Retentionsvolumen	Ja
Entlastungen	Vorhanden
Havarierückhalt	Ja
Betrieb	Keine besonderen Anforderungen
Unterhalt	Periodisches Abpumpen des Schlammsammlers, Auswechseln der Filtervliese und des Adsorbers
Entsorgung	Entsorgung des Schlammes, der Filtervliese und des Adsorbermaterials
Temperaturempfindlichkeit	Unproblematisch
Materialbeschaffung	Unproblematisch
Inbetriebnahmezeit	Inbetriebnahme sofort nach dem Bau möglich.
Unterschiedliche Realisierung	Durch Modularität hohe Flexibilität

Wesentliche Aspekte

- Hohe Flexibilität bezüglich Schadstoffrückhalt und hydraulischer Leistungsfähigkeit bedingt durch die Modularität.
- Noch keine Betriebserfahrung.

Limitierungen und offene Fragen

- Die Leistungsfähigkeit insbesondere der Filtrationsstufe muss grosstechnisch noch überprüft werden.
- Der Aufwand für Betrieb, Unterhalt und Entsorgung ist noch nicht bekannt.

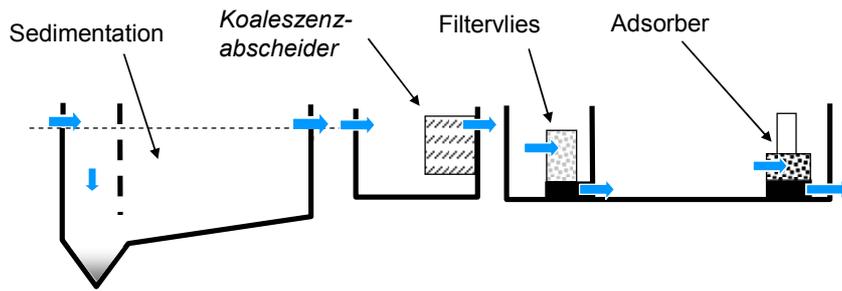


Abb. III.18 Schematische Darstellung eines modularen Systems mit Sedimentation, Filtration und Adsorption

IV Kriterien zur Leistungsbeurteilung

IV.1 Hydraulische Leistung

IV.1.1 Spezifische hydraulische Leistungsfähigkeit

Die spezifische hydraulische Leistungsfähigkeit besagt, wie viel Strassenabwasser von einem Behandlungsverfahren pro Quadratmeter Oberfläche und pro Zeit behandelt werden kann. Es stellt sich die Frage, ob sich die spezifische hydraulische Leistungsfähigkeit auf die gesamte Fläche einer Anlage oder nur auf die wirksame Behandlungsfläche bezieht. Beispielsweise ist die wirksame Behandlungsfläche eines Retentionsfilters nur die versickerungsaktive Oberfläche, während die Fläche der Anlage die Böschungen, Zufahrten etc. mit einschliesst.

Diese Unterscheidung ist wichtig, weil vor allem bei technischen Behandlungsverfahren ein Unterschied bestehen kann zwischen der hydraulischen Leistung bezüglich der behandlungswirksamen Fläche (Fläche des Mikrosiebs) und der Fläche, welche für die Installation der Anlage notwendig ist (Abb. IV.1).

Die Klassifizierung der spezifischen hydraulischen Leistungsfähigkeit ist in Abb. IV.2 dargestellt. Insgesamt reichen die Werte sowohl bei q_w als auch bei q_v von 0.5 bis 180 $l/m^2/min$. Diese grosse Bandbreite widerspiegelt vor allem die Unterschiede zwischen flächigen Behandlungsverfahren wie beispielsweise Retentionsfilterbecken mit q_w -Werten zwischen 1.5 und 6 und technischen Verfahren wie Mikrosieben oder auch Lamellenabscheidern mit q_w -Werten zwischen 50 und 180. Damit die flächenintensiven Verfahren unterschieden werden können, erstreckt sich die Skala zwischen 1-8 $l/m^2/min$.

Abb. IV.1 Kennzahlen zur Beschreibung der hydraulischen Leistungsfähigkeit.

Bezugsgrösse	Beschreibung	Formulierung
Wirksame Behandlungsfläche	Die Fläche bezieht sich nur auf die wirksame Behandlungsfläche.	$q_w = \frac{Q}{A_{\text{wirksam}}} [l/m^2/min]$
Fläche des Verfahrens	Die Fläche bezieht sich auf die benötigte Gesamtfläche eines Verfahrens.	$q_v = \frac{Q}{A_{\text{Verfahren}}} [l/m^2/min]$

Abb. IV.2 Klassifizierung der spezifischen hydraulischen Leistungsfähigkeit.

	5	4	3	2	1
Spezifische hydraulische Leistungsfähigkeit $q_w, q_v [l/m^2/min]$	> 8	4-8	2-4	1-2	<1

IV.1.2 Spezifische Flächenbelastung

Die spezifische Flächenbelastung bezeichnet den Quotienten zwischen der angeschlossenen Strassenfläche und der aktiven Behandlungsfläche einer SABA und ist vor allem zur Beurteilung des Aufwands für den Unterhalt massgebend. Folgendes hypothetisches Beispiel veranschaulicht den Sachverhalt. Zwei gleich grosse Sandfilter behandeln das Strassenwasser derselben Autobahn. Bei Anlage A ist die entwässerte Strassenfläche doppelt so gross wie bei Anlage B. Es kann somit erwartet werden, dass die Kolmation bei Anlage A infolge der höheren Partikelbelastung schneller fortschreitet als bei Anlage B. Somit ist der Wartungsaufwand von Anlage A höher.

Weil Behandlungsverfahren mit Sandfiltern eine niedrige Variabilität der Schadstoffentfernung aufweisen, werden beide Sandfilter ähnliche Ablaufkonzentrationen erzielen. Sandfilter A wird jedoch durch die schnellere Kolmation häufiger entlasten, was den Gesamtwirkungsgrad der Anlage verringert. Der Wirkungsgrad des Sandfilters selbst bleibt jedoch konstant.

Anders ist die Situation bei Behandlungsverfahren mit hoher Variabilität der Schadstoffentfernung wie beispielsweise bei Absetzbecken. Absetzbecken A mit doppelt so grosser angeschlossener Strassenfläche wird einen geringeren Schadstoffrückhalt zeigen als Absetzbecken B³⁰. Die spezifische Flächenbelastung muss deshalb vor allem bei Verfahren mit hoher Leistungsvariabilität für die Beurteilung der Schadstoffentfernung beigezogen werden. Bei Behandlungsverfahren mit geringer Variabilität der Schadstoffentfernung ist die spezifische Flächenbelastung notwendig zur Interpretation des Unterhaltsaufwands.

Die Klassierung der spezifischen Flächenbelastung ist in Abb. IV.3 dargestellt. Von Klasse 1 bis 5 findet jeweils eine Verdopplung der Flächenbelastung statt. Die Spannweite der Verfahren reicht von 2 (Bankett) bis 688 (Lamellenabscheider).

Abb. IV.3 Klassifizierung der spezifischen Flächenbelastung bezüglich der wirksamen Behandlungsfläche.

	5	4	3	2	1
Spezifische Flächenbelastung [-]	> 400	200-400	100-200	50-100	<50

IV.1.3 Hydraulischer Wirkungsgrad, Retention

Der hydraulische Wirkungsgrad einer Anlage bezeichnet den Anteil des Strassenabwassers, welcher durch das Behandlungsverfahren gereinigt wird in Relation zur Gesamtwassermenge im Zulauf zur Anlage. Zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Schadstoffentfernung einer SABA – oder auch eines Entwässerungssystems – ist der hydraulische Wirkungsgrad entscheidend.

$$\eta_{Gesamt} = \eta_{hydraulisch} \cdot \eta_{Schadstoffe}$$

Der hydraulische Wirkungsgrad einer SABA ist letztlich durch die Dimensionierung des Behandlungsverfahrens inklusive der Retention vorgegeben und somit nicht als Bewertungskriterium verwendbar, weshalb er in dieser Studie nicht diskutiert wird.

IV.2 Leistungsbeurteilung der Schadstoffentfernung

IV.2.1 Wirkungsgrade

Eignung von Wirkungsgraden zur Beurteilung bei der Schadstoffentfernung

Der Wirkungsgrad eines Behandlungsverfahrens beschreibt den von einem Verfahren zurückgehaltene Anteil eines Schadstoffs. Wirkungsgrade beschreiben somit die Relation zwischen Stofffrachten im Zulauf eines Behandlungsverfahrens und den Stofffrachten im Ablauf auf prozentualer Basis.

Wirkungsgrade unterschiedlicher SABA sind zur Beurteilung der Schadstoffentfernung nur dann geeignet, wenn die Zulaufkonzentrationen und -frachten vergleichbar sind. Erzielen beispielsweise zwei typengleiche SABA ähnliche Schadstoffkonzentrationen im Ablauf, die Zulaufkonzentration der einen SABA ist aber doppelt so hoch wie die der anderen, ist der Wirkungsgrad beider SABA um Faktor 2 unterschiedlich. Die schwächer belastete SABA würde in der Beurteilung somit schlechter abschneiden, obwohl die Ablaufkonzentrationen, welche letztlich für die Gewässer relevant sind, gleich hoch sind.

³⁰ Für Sedimentationsprozesse ist die Oberflächenbelastung die richtige Vergleichsgrösse.

Dieses Beispiel zeigt, dass der Vergleich von Wirkungsgraden von Anlagen an unterschiedlichen Standorten problematisch ist, vor allem bei Behandlungsverfahren, deren Stoffrückhalt infolge hoher Leistungsreserven nicht massgeblich von den Zulaufkonzentration oder -fracht abhängt (Anhang II.2.2). Die trifft vor allem auf bepflanzte Flächenfilter, Bankette oder auch auf Adsorberschichten zu.

Klassifizierung der Wirkungsgrade

Die Klassifizierung der Wirkungsgrade ist in Abb. IV.4 dargestellt. Die gewählte Abstufung von 10 % berücksichtigt vor allem die nahe beieinander liegenden Wirkungsgrade zwischen 60 und 90 %. Wirkungsgrade von weniger als 60 %, wie beispielsweise bei einem Absetzbecken oder einem Lamellenabscheider, werden nicht genauer differenziert.

Abb. IV.4 Klassifizierung der Wirkungsgrade.

	5	4	3	2	1
Wirkungsgrad [%] GUS, Cu, Zn	> 90	80-90	70-80	60-70	<60

IV.2.2 Ablaufkonzentrationen

Zur Beurteilung der Ablaufkonzentrationen wurden wenn möglich frachtgewogene Mittelwerte, sonst Konzentrationsmittelwerte verwendet. Die Klassifizierung der Ablaufkonzentrationen ist in Abb. IV.5 zusammengefasst.

Abb. IV.5 Klassifizierung der Ablaufkonzentrationen.

Klasse	GUS [mg/l]	Cu [ug/l]	Zn [ug/l]	DOC [mg/l]	PAK [ug/l]
5	<10	<5	<10	<4	<0.1
4	10-20	5-10	10-20	4-6	0.1-0.2
3	20-30	10-15	20-30	6-8	0.2-0.3
2	30-40	15-20	30-40	8-10	0.3-0.4
1	>40	>20	>40	>10	>0.4

GUS

Die tiefsten GUS-Ablaufkonzentrationen unterschreiten bei den besten Behandlungsverfahren 10 mg/l (Klasse 5). Die Abstufung bis zu Klasse 1 erfolgt in Schritten von 10 mg/l. Klasse 1 entspricht somit einer gemittelten GUS-Ablaufkonzentration von über 40 mg/l. Typische GUS-Konzentrationen in hochbelastetem Strassenabwasser liegen zwischen 100 und 250 mg/l GUS (Abb. I.2).

Cu, Zn und DOC

Bei Kupfer werden von den besten Behandlungsverfahren Ablaufkonzentrationen von weniger als 5 ug/l erzielt, was Klasse 5 entspricht. Die Abstufung bis zu Klasse 1 erfolgt in Schritten von 5 ug/l. Klasse 1 entspricht somit einer gemittelten Cu-Ablaufkonzentration von über 20 ug/l. Typische Kupferkonzentrationen in hoch belastetem Strassenabwasser liegen zwischen 50 und 100 ug/l Cu (Abb. I.2). Bei Zink entspricht Klasse 5 einer gemittelten Ablaufkonzentration von weniger als 10 ug/l, Klasse 1 einer gemittelten Ablaufkonzentration von über 40 ug/l. Typische Zn-Konzentrationen im Strassenabwasser liegen zwischen 200 und 500 ug/l Zn (Abb. I.2). Bei DOC können gemäss heutigem Stand der Technik gemittelte Ablaufkonzentrationen von weniger als 4 mg/l erzielt werden (Klasse 5). Bei einer Abstufung von 2 mg/l wird Klasse 1 bei DOC-Ablaufkonzentrationen von über 10 mg/l erzielt.

PAK

Bei PAK entspricht Klasse 5 gemittelten Ablaufkonzentrationen von PAK-Einzelsubstanzen von weniger als 0.1 ug/l. Bei einer Abstufung von 0.1 ug/l entspricht Klasse 1 einer Ablaufkonzentration von über 0.4 ug/l. Die Datengrundlage bei PAK ist jedoch unsicher. Bisher wurden Messwerte zwischen 0.1 und 0.6 ug/l pro Einzelstoff (Benzo(a)pyren), gemessen.

IV.2.3 Datengrundlage für Leistungsprüfungen

Probenahme

Bedingt durch die hohe Frachtdynamik im Strassenabwasser ist die Anzahl der beprobten Ereignisse und der dabei analysierten Proben ein wichtiges Kriterium. In Abb. IV.6 ist die Klassifizierung nach Anzahl der beprobten Ereignisse dargestellt. Zur Vereinfachung wird davon ausgegangen, dass die Probenahmen während eines Abflussereignisses so angesteuert sind, dass sie die Fracht- oder Konzentrationsdynamik abbilden. Bei der durchflussproportionalen Ansteuerung der Probenehmer bedeutet dies eine sinnvolle Wahl der Wassermenge, im Fall der zeitproportionalen Ansteuerung die passende Wahl des Zeitintervalls bis zur Auslösung einer Probenahme, beispielsweise alle 5 Minuten.

Verfahrensscharakteristik

Der zweite Faktor, der die Beurteilung der Datenqualität prägt, ist die Verfahrensscharakteristik. Dabei spielt insbesondere die Variabilität bezüglich der Schadstoffentfernung eine Rolle. Bei Behandlungsverfahren mit geringer Variabilität der Ablaufkonzentration sind weniger Daten notwendig als bei Verfahren mit hoher Variabilität der Schadstoffentfernung. Beispielsweise ist bei Bodenfiltern die Aussagekraft bezüglich der Schadstoffentfernung bei der gleichen Anzahl Einzelproben höher als einem Lamellenabscheider³¹.

Abb. IV.6 beschreibt den Einfluss der Verfahrensscharakteristik auf die Aussagekraft der Daten als Funktion der beprobten Ereignisse. Klasse 5 bedeute eine ausreichende, Klasse 1 eine kritische Datengrundlage. Die Angaben in Abb. IV.6 gelten für Leistungsprüfungen (Typenprüfung), wie sie in Kapitel 5.1 beschrieben sind. Die Angaben sind als Richtwerte zu verstehen. Bei der Leistungsüberwachungen von SABA sind, weniger Proben erforderlich als bei Leistungsprüfungen (Kapitel 5.2).

Abb. IV.6 Klassifizierung der Datengrundlage für Leistungsprüfungen als Funktion des Verfahrenstyps und der Anzahl beprobter Abflussereignisse. Die Angaben sind als Richtwerte zu verstehen.

Variabilität Schadstoffentfernung	Anzahl Ereignisse			Einzelproben
	> 15	5-10	1-5	
Gering	5	4	3	2
Mittel	5	3	2	1
Hoch	5	2	1	1

IV.3 Druckhöhe und Bauwerkshöhe

IV.3.1 Druckhöhe

Alle Behandlungsverfahren weisen einen hydraulischen Widerstand auf, der mit Hilfe der Druckhöhe überwunden wird. Die benötigte Druckhöhe ist am geringsten bei Absetzbecken und am höchsten bei Membranen. Verfahren mit geringem hydraulischen Widerstand wie Absetzbecken oder Lamellenabscheider können mit einer geringen hydraulischen Potenzialdifferenz zwischen Zu- und Ablauf betrieben werden. Dies ist insbesondere in flachem Gelände, wie beispielsweise im schweizerischen Mittelland, von Vorteil. Bei Verfahren mit einem hohen hydraulischen Widerstand, wie beispielsweise bei Membranen, muss das benötigte hydraulische Potenzial durch Pumpen erzeugt werden.

³¹ Dies gilt sowohl für durchfluss- als auch für zeitproportionale Probenahmen.

Abb. IV.7 beschreibt die Klassifizierung der Druckhöhen. Bei Retentionsfiltern entspricht die Druckhöhe dem Aufstau im Becken.

Die nötige Druckhöhe der heute zur Verfügung stehenden Behandlungsverfahren reicht von weniger als 0.1 m (Klasse 5) bis über 1.5 m (Klasse 1). Klasse 4 entspricht einer Druckhöhe von 0.1–0.5 m, Klasse 3 reicht von 0.5–1 m. Klasse 2 beschreibt die Anforderungen im Bereich zwischen 1 und 1.5 m.

IV.3.2 Bauwerkshöhe

Die Bauwerkshöhe eines Verfahrens ist kostenrelevant und zudem wichtig bei problematischem Untergrund wie Fels oder bei hohen Grundwasserständen. Insbesondere in solchen Fällen ist eine geringe Bauwerkshöhe vorteilhaft. Abb. IV.7 beschreibt die Klassifizierung der Bauwerkshöhen. Die geringsten Bauwerkshöhen werden vom Bankett oder Mulden-Rigolen erzielt, die höchsten von Absetzbecken und Lamellenabscheidern mit einem Schlamm bunker.

Abb. IV.7 Klassifizierung der Druck- und Bauwerkshöhe.

Klasse	Druckhöhe [m WS]	Bauwerkshöhe [m]
5	<0.1	<1
4	0.1-0.5	1-2
3	0.5-1	2-3
2	1-1.5	3-4
1	>1.5	> 4

IV.4 Unterhaltsaufwand

Alle Aktivitäten, die für die Funktionsfähigkeit eines Behandlungsverfahrens notwendig sind, werden unter dem Aspekt „Unterhalt“ zusammengefasst. Zu den Unterhaltsarbeiten gehören demzufolge:

- Reinigungsarbeiten: Becken, Lamellen, Schieber etc.
- Funktionskontrollen: Schieber, Motoren, Pumpen, Dämmbalken etc.
- Instandhaltungsarbeiten: Schmieren von Motoren, Auswechseln von Ketten, Mähen von Pflanzen, Auflockern von Sandschichten etc.
- Entsorgung: Absaugen von Schlämmen, Austausch von Adsorberschichten und Boden etc.

Zur Klassifizierung (Abb. IV.8) wurde der flächenspezifische Zeitaufwand verwendet. Der flächenspezifische Zeitaufwand besagt, wie viele Stunden pro Hektar angeschlossene Strassenfläche und pro Jahr für den Unterhalt benötigt werden. Der Bereich der erhobenen Daten liegt zwischen 2 und 22 h/ha/Jahr. Die Klassifizierung erfolgt in Fünferschritten. Klasse 5 bezeichnet einen Aufwand von weniger als 5 und Klasse 1 einen Aufwand von mehr als 20 Stunden pro Hektar Strassenfläche und pro Jahr. Die Datenverfügbarkeit bezüglich des Unterhaltsaufwands ist heute noch beschränkt.

Abb. IV.8 Klassifizierung des Unterhaltsaufwands.

	5	4	3	2	1
Spezifischer Zeitaufwand [h/ha/Jahr]	<5	5-10	10-15	15-20	>20

IV.5 Entsorgungskosten

Der Aufwand für die Entsorgung wird massgeblich vom Behandlungsverfahren beeinflusst. Während bei einem Absetzbecken nur der Schlamm entsorgt werden muss, ist bei einem Sandfilter unter Umständen das Aufbereiten bzw. des Entsorgen der obersten, kolmatierten Schicht notwendig. Der Entsorgungsaufwand wurde anhand der spezifischen Entsorgungskosten in Franken pro Hektar angeschlossene Strassenfläche und pro Jahr klassifiziert (Abb. IV.9). Wie beim Unterhaltsaufwand ist die Datenverfügbarkeit bei den Entsorgungskosten noch beschränkt.

Abb. IV.9 Klassifizierung der Entsorgungskosten.

	5	4	3	2	1
Spezifische Kosten [CHF/ha/Jahr]	<100	100-200	200-300	300-400	>400

IV.6 Baukosten

Die spezifischen Baukosten werden bei jeder SABA von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Baugrund und Lage des Grundwasserspiegels
- Topographie
- Umfang der Erdbewegungen
- Grösse und Länge der angeschlossenen Strassenfläche, Entwässerungscharakteristik
- Fremdwasser
- Hydraulische Dimensionierung, Niederschlagscharakteristik

Die spezifischen Baukosten (CHF/ha) unterschiedlicher SABA-Typen sind prinzipiell nur dann vergleichbar, wenn alle oben genannten Faktoren ähnlich sind. Dies ist bei den erhobenen Anlagen nicht der Fall. Deshalb sind die spezifischen Baukosten mit Vorsicht zu interpretieren. Sie sollten daher aufgrund der heutigen Datengrundlage in keinem Fall als Benchmark verwendet werden.

Die Auswertung der im SABA-Kataster des Kantons Zürich aufgenommenen Anlagen bestätigt die Überlagerung unterschiedlicher kostenrelevanter Faktoren, indem kein abnehmender Trend erkennbar ist zwischen der Grösse der entwässerten Strassenfläche und den spezifischen Baukosten.

Es wird deshalb empfohlen, die Baukosten von unterschiedlichen Behandlungsverfahren anhand einer Modellstudie zu bestimmen. Das Ziel ist es, die Kostensensitivität bezüglich der Grösse der entwässerten Strassenfläche und auch bezüglich der Reinigungsleistung zu berechnen. Zusammen mit den Angaben der Kosten für den Unterhalt und die Entsorgung kann letztlich eine Gesamtkostenrechnung für unterschiedliche Behandlungsverfahren als Funktion der entwässerten Strassenfläche und der Reinigungsleistung durchgeführt werden. Damit wird es möglich, die für unterschiedliche Verfahren kostenoptimierte Grösse der angeschlossenen Strassenfläche zu bestimmen.

V Leistungsbeurteilung

V.1 Verfahren basierend auf bewachsenen Filtern

V.1.1 Versickerung über das Bankett

Die Leistungsbeurteilung dieses Verfahrenstyps basiert auf den Daten der Untersuchungen in Burgdorf sowie in Augsburg [12], [7]. Die Leistungscharakteristika sind in Abb. V.1 dargestellt.

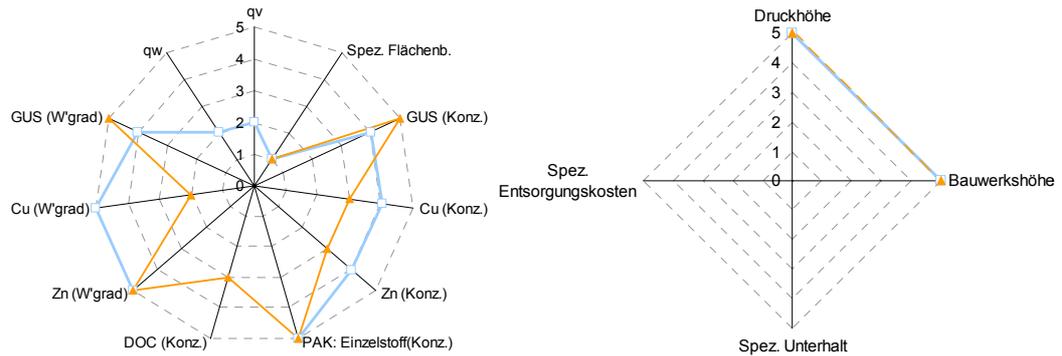


Abb. V.1 Leistungscharakteristika des Banketts in Burgdorf. Die Daten des Banketts in Augsburg sind orange dargestellt.

Datengrundlage	Die Datengrundlage ist mit 24 monatlichen Sammelproben verteilt auf 2 Jahre ausreichend (Daten Burgdorf).
Hydraulische Leistung	Die hydraulische Leistungsfähigkeit des Banketts liegt im Bereich von 1-2 l/min/m ² und entspricht somit der Klasse 2. Die spezifische Flächenbelastung ist mit 2-8 m ² Strassenfläche pro m ² Bankettfläche gering und entspricht Klasse 1. Die Flächenbelastung des Banketts ist die geringste aller in diesem Bericht erwähnten Systeme.
Ablaufkonzentrationen	Die erzielten Ablaufkonzentrationen von GUS, Cu und Zink entsprechen für GUS, Zink und Kupfer der Leistungsklasse 4. Die Klasse 4 resultiert aus einigen wenigen erhöhten GUS, Kupfer- und Zinkwerten im Ablauf des Banketts.
Wirkungsgrade	Entsprechend hoch sind die Wirkungsgrade von GUS (87%), Cu (91 %) und Zn (96 %).
Druckhöhe	Die benötigte Höhendifferenz ist minimal und entspricht der Klasse 5.
Bauhöhe	Mit einer Bauhöhe von 1 m erreicht das Bankett die Leistungsklasse 5.
Unterhalt	Der Unterhalt beschränkt sich auf das Mähen der Vegetation und der Entfernung von Zigaretten, PET etc.
Entsorgung	Entsorgung des Mähguts.
Besonderes	Die Leistung wurde in einer Ablauftiefe von 100 cm beurteilt (Sektoren 1a und 1b). Der Aufbau des Banketts besteht aus einem 25 cm starken, seit über 40 Jahren ungestörtem A-Horizont und einem 70-90 cm starken B-Horizont (toniger – siltiger Sand). Das Verkehrsaufkommen beträgt 17'000 Fahrzeuge pro Tag.

Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen

- Eine langjährige Untersuchung unterschiedlicher Versuchsanlagen und Verfahren im Raum Augsburg kann die Ergebnisse von Burgdorf bezüglich der Zink und Kupferablaufkonzentration in etwa bestätigen, die Ablaufkonzentrationen sind allerdings eine Klasse geringer als in Burgdorf [7]. Der Wirkungsgrad für GUS fällt mit der Leistungs-kategorie von 5 höher aus. Es gilt hierbei zu berücksichtigen, dass der Aufbau des Banketts in Augsburg aus einem 20 cm starken Oberboden (Mischung 1 Teil Mutterboden und 1 Teil Sand) und einem 30 cm starken Unterboden aus Kies besteht. Somit ist die Adsorptionskapazität reduziert, was sich in den höheren Kupfer- und Zink-Ablaufkonzentrationen bemerkbar macht. Die Filtrationswirkung für GUS ist jedoch infolge des höheren Sandanteils besser.
- Ausgiebige Versuche wurden von der HES in Genf an der A9 im Kanton Wallis durchgeführt. Die Ergebnisse zur Schadstoffreduktion werden demnächst von der Fachhochschule Genf veröffentlicht [22]. Die Daten aus Boivin et al. 2008 lassen vermuten, dass tiefe Ablaufkonzentrationen zu erwarten sind.

V.1.2 Bepflanzter Sandfilter

Die Leistungsbeurteilung dieses Verfahrenstyps basiert auf der SABA Ristet [23]. Die Leistungscharakteristika sind zusammen mit drei ähnlichen Anlagen in Abb. V.2 dargestellt.

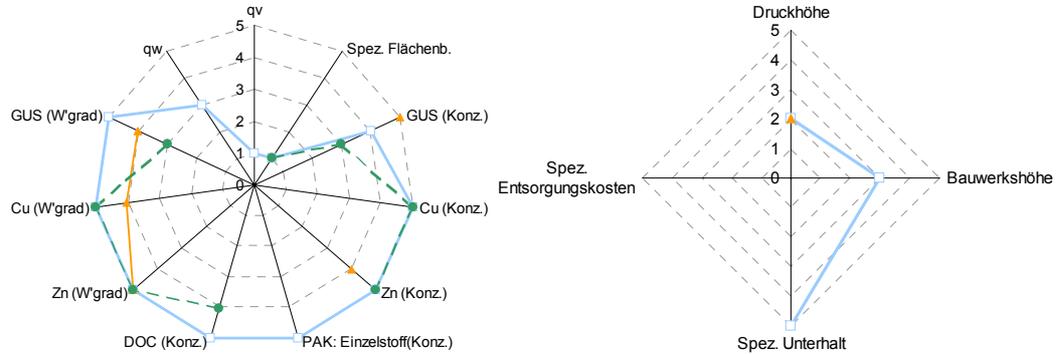


Abb. V.2 Leistungscharakteristika der SABA Ristet. Die Daten der SABA Geilenkirchen sind orange und die der SABA Baulos Ost grün dargestellt

Datengrundlage	Die Datengrundlage ist mit 2 beprobten Ereignissen mit insgesamt 5 Proben nicht ausreichend für eine abschliessende Beurteilung. Aufgrund der verfahrenstechnisch bedingten geringen Leistungsschwankungen von bepflanzten Sandfiltern kann davon ausgegangen werden, dass die Grössenordnungen der Ablaufkonzentrationen und Wirkungsgrade stimmen (+/- 1 Leistungsklasse), was auch der Vergleich mit zwei weiteren Anlagen bestätigt. Unsicherer sind die hydraulische Leistung sowie die Angaben zum Unterhaltsaufwand.
Hydraulische Leistung	Die hydraulische Leistungsfähigkeit q_w des bepflanzten Sandfilters beträgt nach einer Betriebszeit von bisher drei Jahren 3 l/min/m ² (Klasse 3). Die auf die gesamte Anlagenfläche bezogene hydraulische Leistungsfähigkeit q_v ist mit 0.8 l/min/m ² geringer und deutet auf den für diesen Anlagentyp hohen Flächenbedarf hin. Entsprechend gering ist die spezifische Flächenbelastung von 33 m ² Strassenfläche pro m ² Filteroberfläche, was der tiefsten Leistungsklasse 1 entspricht.
Ablaufkonzentrationen	Die erzielten Ablaufkonzentrationen von GUS, Kupfer und Zink entsprechen der Leistungsklasse 5. Die DOC-Konzentration von 1.7 mg/l entspricht der Leistungsklasse 5.
Wirkungsgrade	Die tiefen Ablaufkonzentrationen deuten bereits auf die hohen Wirkungsgrade hin, was mit Werten von 98 % und 96% für Kupfer und Zink auch bestätigt werden kann. Der GUS-Wirkungsgrad beträgt 92 %.
Druckhöhe	Die benötigte Höhendifferenz entspricht dem Aufstau im Sandfilter und beträgt 1.5 m (Klasse 2).
Bauhöhe	Mit einer Bauhöhe von 3 m erzielt der bepflanzte Sandfilter Leistungsklasse 3.
Unterhalt	Der Aufwand beträgt 2 h/ha/Jahr (Klasse 5). Der Unterhalt besteht aus dem jährlichen Mähen der Böschungen, Düngung, Unkrautbekämpfung und Aufräumen der Beckenoberfläche.
Entsorgung	Die Vegetationspflege der Filteroberfläche (ohne Böschungen, aber inkl. Entsorgung) kostete ca. Fr. 1'500.- pro Jahr.

Besonderes Bei der SABA Ristet wurden die Filterbecken mit einem Sandfilter ohne Oberboden aufgebaut. Die Filterbecken sind seit drei Jahren in Betrieb. Der Analysewert für DOC ist aufgrund der wenigen Messungen vorsichtig zu interpretieren.

Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen

- Die Ergebnisse der Untersuchung der SABA Geilenkirchen in Deutschland bestätigen die für Ristet dargestellte Leistungscharakteristika [24]. Der Wirkungsgrad für Kupfer und GUS ist bei der SABA Geilenkirchen eine Klasse geringer, was infolge auf geringere Zulaufkonzentrationen zurückgeführt werden kann.
- Eine langjährige Untersuchung eines unbewachsenen Kiesfilters im Raum Salzburg – Baulos Ost kann die Ergebnisse der SABA Ristet mit Ausnahme der GUS-Elimination ebenfalls bestätigen [25]. Der Wirkungsgrad für GUS fällt mit Klasse 3 tiefer aus. Anhand der Ablaufkonzentration von Klasse 4 kann der geringe Wirkungsgrad mit tieferen Zulaufkonzentrationen erklärt werden. Die auch für Kupfer und Zink tiefen Ablaufkonzentrationen können vermutlich auf den Pflanzenbewuchs zurückgeführt werden, der nach einigen Betriebsjahren entstanden ist.
- Nicht dargestellt sind die Ergebnisse der Versuchsanlage eines unbewachsenen Sandfilters in Augsburg [7]. Diese bestätigen ebenfalls die Konzentrationen und Wirkungsgrade der SABA Ristet.

V.1.3 Bewachsene kombinierte Filter Boden/Sand oder Boden/Kiessand

Die Leistungsbeurteilung dieses Verfahrenstyps basiert auf der SABA Schwarzenbergkaserne [25]. Die Leistungscharakteristika typenähnlicher SABA sind in Abb. V.3 dargestellt.

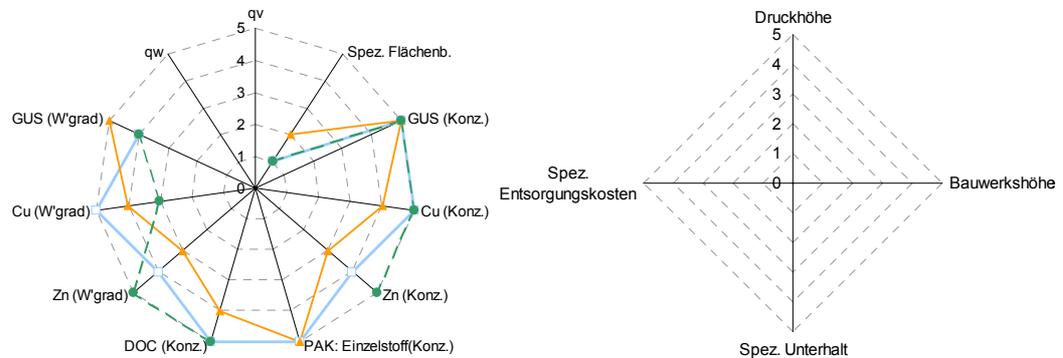


Abb. V.3 Leistungscharakteristika der SABA Schwarzenbergkaserne. Die Daten der SABA Baulos West sind orange und der SABA Hamburg grün dargestellt

Datengrundlage	Die Datengrundlage ist mit 29 beprobten Niederschlagsereignissen mit insgesamt 128 Proben über einen Zeitraum von 10 Jahren ausreichend für eine abschliessende Beurteilung. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass ein Grossteil der Proben manuell als Stichprobe während eines Regenereignisses entnommen wurde. Die Entwicklung der hydraulischen Leistung sowie die Angaben zum bisherigen Unterhaltsaufwand wurden nicht erfasst.
Hydraulische Leistung	Die geringe spezifische Flächenbelastung von 31 m ² Strassenfläche pro m ² Filteroberfläche entspricht Leistungsklasse 1 und deutet auf den hohen Flächenbedarf dieses Anlagentyps hin. Daten zur hydraulischen Leistungsfähigkeit liegen für diese SABA nicht vor.
Ablaufkonzentrationen	Die erzielten Ablaufkonzentrationen von GUS, Kupfer und DOC entsprechen der Leistungsklasse 5, diejenige für Zink der Leistungsklasse 4.
Wirkungsgrade	Die tiefen Ablaufkonzentrationen deuten bereits auf die hohen Wirkungsgrade hin, was mit Werten von je 88% für GUS und Zink und 97% für Kupfer auch bestätigt werden kann.
Druckhöhe	Die benötigte Höhendifferenz entspricht dem Aufstau im Sandfilter und beträgt 1.5 m (Klasse 2).
Unterhalt	Keine Angaben.
Entsorgung	Keine Angaben.
Besonderes	Die SABA Schwarzenbergkaserne ist seit 1993 in Betrieb (DTV 60.000). Der Gesamtaufbau ist dreigeteilt. Das erste Becken bildet den Zulaufbereich. Nach Durchsickern dieses Filters gelangt das von Grobstoffen gereinigte Wasser in einen dauernassen Bereich und anschliessend in einen trocken fallenden Bodenfilter mit üppiger Vegetation.

Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen

- Die Ergebnisse der SABA Baulos West sind vergleichbar mit denjenigen der SABA Schwarzenbergkaserne [25]. Bei Kupfer-, Zink- und DOC sind die Ablaufkonzentrationen der SABA Baulos West eine Klasse tiefer. Der spezifische Flächenbedarf der SABA Baulos West ist jedoch geringer als derjenige der SABA Schwarzenbergkaserne und der SABA Hamburg.
- Die Ergebnisse einer SABA in Hamburg mit einem sandigen Filterkörper und Lehm als Oberschicht können die gemessenen Konzentrationen der SABA Schwarzenbergkaserne bestätigen [26]. Die Ablaufkonzentration bei Zink liegt mit Klasse 5 eine Klasse höher als bei der SABA Schwarzenbergkaserne.

V.2 Technische Einzelverfahren

V.2.1 Absetzbecken

Die Leistungsbeurteilung dieses Verfahrenstyps basiert auf den Daten des Ölabscheiders Allmendingen (Typ K') [27]. Die Leistungscharakteristika sind in Abb. V.4 dargestellt.

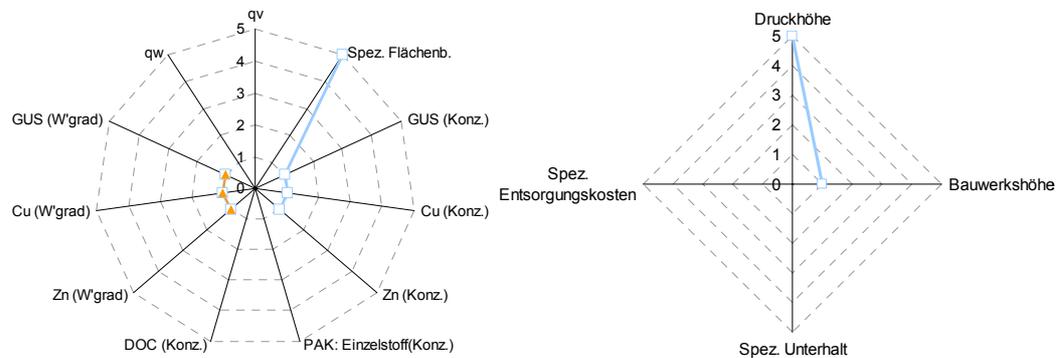


Abb. V.4 Leistungscharakteristika des Ölabscheiders Allmendingen. Die Daten der Untersuchung an der A4 – Westhover Weg sind orange dargestellt.

Datengrundlage	Die Datengrundlage ist mit 17 frachtproportionalen Sammelproben verteilt auf 1 Jahr ausreichend.
Hydraulische Leistung	Die hydraulische Leistungsfähigkeit liegt verfahrensbedingt bei Klasse 5. Entsprechend hoch ist die spezifische Flächenbelastung von 504 m ² Strassenfläche pro m ² Beckenoberfläche, was ebenfalls Klasse 5 entspricht.
Ablaufkonzentrationen	Die erzielten Ablaufkonzentrationen von GUS, Kupfer und Zink sind hoch. Die hohe Oberflächenbelastung reicht nicht aus, um GUS, Kupfer und Zink wirkungsvoll absetzen zu lassen. Die Mittelwerte betragen 77 mg/l GUS, 34 µg/l Cu und 107 µg/l Zn, was für alle Stoffe der Leistungsklasse 1 entspricht.
Wirkungsgrade	Die Wirkungsgrade erreichen bei GUS 25 %, bei Cu 14 % und bei Zink 16 %.
Druckhöhe	Der Ölabscheider zeigt eine nur geringe Druckhöhendifferenz und erzielt deshalb die beste Leistungsklasse 5.
Bauhöhe	Bezüglich der Bauhöhe mit über 4 m schneidet der Ölabscheider relativ schlecht ab und erzielt die Leistungsklasse 1.
Unterhalt	Entfernen von Schwemmgut.
Entsorgung	Entsorgung des abgetrennten Schlammes
Besonderes	Hoher Fremdwasseranteil von 41 %. Die Dimensionierung des Ölabscheiders Allmendingen ist vergleichbar mit einem knapp dimensionierten Absetzbecken.

Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen

- Die Ergebnisse der Untersuchung des Leichtstoffabscheiders an der A4 – Westhover Weg können die tiefen Wirkungsgrade des Ölabscheiders Allmendingen bestätigen (siehe Abb. V.4) [28].

V.2.2 Lamellenabscheider

Die Leistungsbeurteilung dieses Verfahrenstyps basiert auf den Daten des Lamellenabscheiders der SABA Attinghausen und ist in Abb. V.5 dargestellt [29].

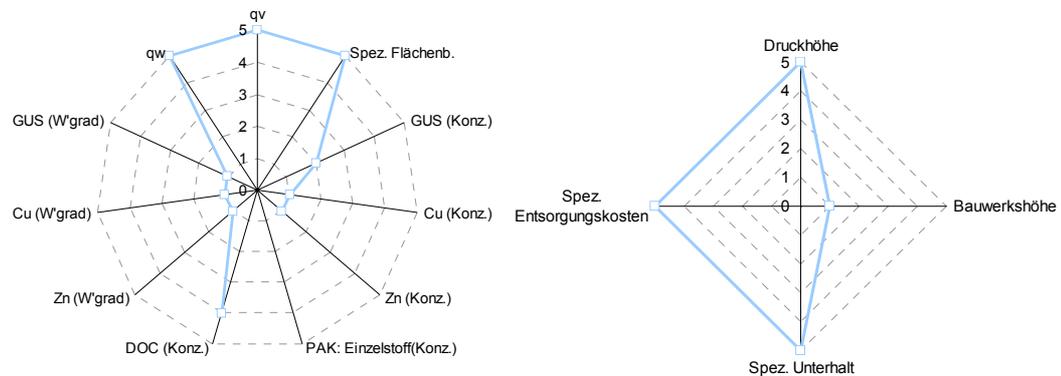


Abb. V.5 Leistungscharakteristika des Lamellenabscheiders der SABA Attinghausen.

Datengrundlage	Die Datengrundlage ist mit 17 beprobten Ereignissen verteilt auf 2 Jahre ausreichend.
Hydraulische Leistung	Die hydraulische Leistungsfähigkeit beträgt q_w beträgt 180 l/min/m ² Beckenoberfläche (Klasse 5). Entsprechend hoch ist die spezifische Flächenbelastung von 688 m ² Strassenfläche pro m ² Beckenoberfläche. Die Oberflächenbelastung beträgt 0.1 m/h bei einem jährlichen Ereignis mit einem Abfluss von 400 l/s.
Ablaufkonzentrationen	Bei den Ablaufkonzentrationen zeigt sich eine unterschiedliche Bewertung von GUS im Vergleich zu Kupfer und Zink. Die im Mittel erzielte GUS-Konzentration von knapp über 30 mg/l, bei einer Zulaufkonzentration von 61 mg/l, entspricht der Leistungsklasse 2. Die entsprechenden Werte für Kupfer (35 µg/l) und Zink (186 µg/l) erzielen Leistungsklasse 1. Dieser Sachverhalt zeigt, dass Partikel im Lamellenabscheider zu einem beachtlichen Anteil zurückhalten werden können. Da Kupfer und Zink zu über 50 % feinpartikulär/kolloidal oder chemisch gelöst vorliegen, ist ihr Rückhalt limitiert.
Wirkungsgrade	Der Wirkungsgrad für GUS beträgt 51 % und entspricht somit Klasse 1. Die Wirkungsgrade für Kupfer und Zink sind mit 19 und 24 % deutlich geringer.
Druckhöhe	Ein Lamellenabscheider zeigt eine nur geringe Druckhöhendifferenz und erzielt deshalb die beste Leistungsklasse 5.
Bauhöhe	Bezüglich der Bauhöhe mit über 7 m schneidet der Lamellenabscheider der SABA Attinghausen schlecht ab und erzielt die geringste Leistungsklasse 1.
Unterhalt	Reinigung der Lamellen und des Lamellenbeckens sowie Absaugen des Schlammes. Der Unterhaltsaufwand ³² ist mit 2.4 h/ha/Jahr gering (Klasse 5).
Entsorgung	Der abgesetzte Schlamm muss halbjährlich bis jährlich entsorgt und deponiert werden, was Kosten von 45 CHF/ha Strassenfläche und Jahr verursacht (Klasse 5).

³² Zur Bewertung werden die Zahlen der SABA Wiler verwendet, da der Unterhaltsaufwand des Lamellenabscheiders der SABA Attinghausen infolge der noch halboffenen Wildbachschale im Zulauf höher ist.

Besonderes

Der Lamellenabscheider weist einen tiefen Schlamm bunker, ein grosses Gefälle im Sohlenbereich von 8% sowie eine sinnvolle Wasserführung auf. Der Lamellenabscheider wird im Dauereinstau betrieben. Inwiefern diese Ergebnisse auf andere Lamellenabscheidertypen und Betriebsarten übertragbar sind, müssen Messungen zeigen.

V.2.3 Mikrosieb

Die Leistungsbeurteilung dieses Verfahrenstyps basiert auf den Ergebnissen der Untersuchungen in Rüttlingen-Alchenflüh. Die Ergebnisse sind in Abb. V.6 dargestellt [30].

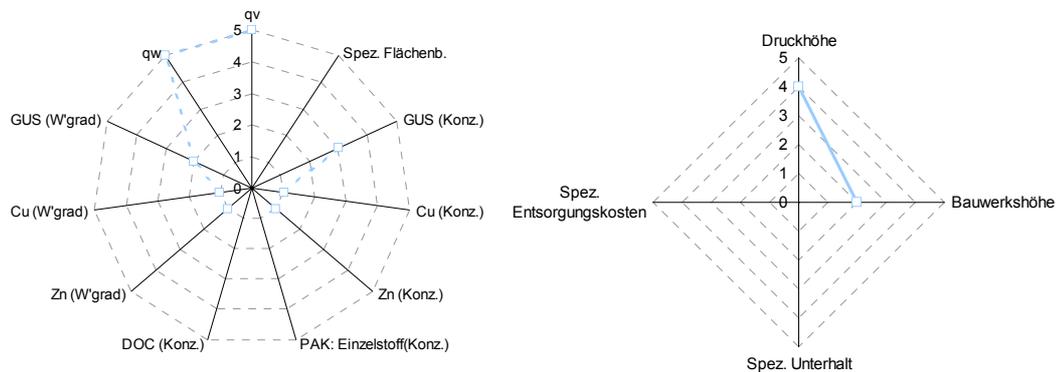


Abb. V.6 Leistungscharakteristika des Huber Mikrosiebs. Die gepunkteten Linien bezeichnen die beschränkte Aussagekraft infolge weniger Messungen.

Datengrundlage	Die Datengrundlage ist mit wenigen Einzelmessungen nicht ausreichend. Aufgrund des verfahrenstechnischen Prinzips sind die erzielten Werte jedoch plausibel.
Hydraulische Leistung	Die hydraulische Leistungsfähigkeit kann mit einem q_w von 66 und einen q_v von 33 l/min/m ² als hoch bezeichnet werden und entspricht deshalb der Leistungsklasse 5 (> 8 l/min/m ²).
Ablaufkonzentrationen	Die für GUS (24 mg/l), Kupfer (24 µg/l) und Zink (123 µg/l) erzielten Ablaufkonzentrationen bei Zulaufwerten von 61 mg/l (GUS), 38 µg/l (Cu) und 231 µg/l (Zn) zeigen eine Wirksamkeit des Mikrosiebs vor allem für GUS (Klasse 3), weniger für Kupfer und Zink. Der geringe Rückhalt von Kupfer und Zink ist auf den hohen feinpartikulären/kolloidalen bzw. gelösten Anteil zurückzuführen.
Wirkungsgrade	Aufgrund der wenigen Messungen ist die Interpretation der Ablaufkonzentrationen noch nicht abschliessend. GUS erzielt Klasse 2, Kupfer und Zink erzielen Klasse 1.
Druckhöhe	Der Betrieb des Mikrosiebs im Freispiegelverfahren erfordert nur einen geringen Überstau und entspricht deshalb der Klasse 5.
Bauhöhe	Bezüglich der Bauhöhe von 3.5 m liegt das Mikrosieb im unteren Mittelfeld und erzielt die Leistungsklasse 2. Je nach Einbauart ist auch Leistungsklasse 3 möglich.
Unterhalt	Keine Aussage möglich.
Entsorgung	Keine Aussage möglich.
Besonderes	Die Messungen wurden mit einer Anlage mit 10 µm Maschenweite durchgeführt. Aufgrund der Verfahrenstechnik kann erwartet werden, dass die Ablaufkonzentrationen auch bei höheren Zulaufkonzentrationen nicht wesentlich zunehmen werden. Die Behandlung des Spülwassers (1 % der behandelten Wassermenge) ist von zentraler Bedeutung. Da diese Behandlung ebenfalls zu diesem Verfahren gehört und entsprechende Flächen benötigt, wird dadurch die hydraulische Leistungsfähigkeit q_v reduziert, bleibt allerdings immer noch hoch. Die Schlammbehandlung dürfte vor allem beim Kostenvergleich relevant werden. Die bei diesem Versuch durchgeführte Behandlung des Spülwassers mit Filtersäcken erwies sich infolge auftretender Kolmation der Filtersäcke als nicht praktikabel.

Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen

- Im Jahr 2008 wurden in der gleichen Versuchsanordnung Versuche mit einem Mikrosieb mit einer Maschenweite von 6 anstelle von 10 um durchgeführt. Infolge des vorgeschalteten grossen Absetzbeckens sind bereits die Zulaufkonzentrationen von GUS (16 mg/l) und Kupfer (19 ug/l) tief und entsprechen Klasse 4 (GUS) und Klasse 3 (Cu). Die Ablaufkonzentrationen von 12 mg/l (GUS) und 18 ug/l (Cu) zeigen, dass verfahrenstechnisch bedingt nur geringfügige Verbesserungen erzielt werden können, und das Mikrosieb in somit seine Vorteile nicht ausspielen kann. Aus diesem Grund werden diese Ergebnisse nicht in die Beurteilung aufgenommen.

V.2.4 Polstofffilter

Die Leistungsbeurteilung dieses Verfahrenstyps basiert auf den Ergebnissen der Untersuchungen in Rüdtingen-Alchenflüh [31], [32]. Zur Unterstützung werden die Daten der Untersuchungen von Burgdorf hinzugezogen [13]. Die Ergebnisse sind in Abb. V.7 dargestellt.

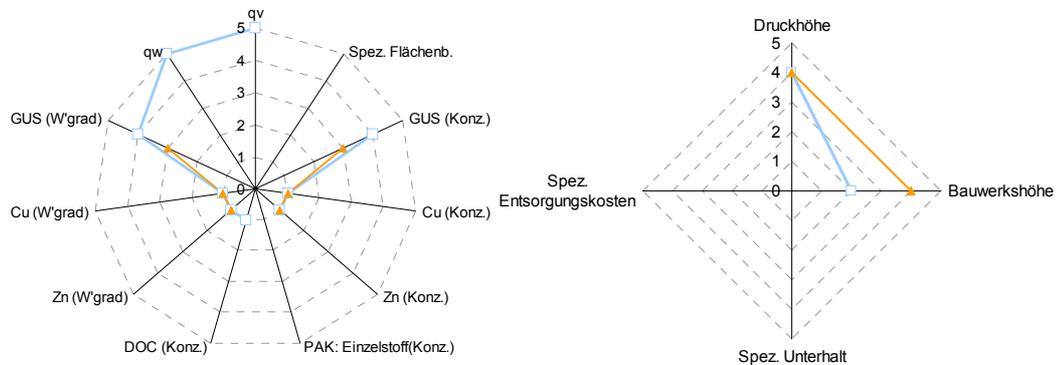


Abb. V.7 Leistungscharakteristika des Mecana-Polstofffilters basierend auf zwei Untersuchungen. Die Burgdorfer Daten sind orange dargestellt.

Datengrundlage	Die Datengrundlage mit 8 teilweise beprobten Ereignissen ist knapp, aber aufgrund der verfahrenstechnischen Eigenschaften des Polstofffilters ausreichend.
Hydraulische Leistung	Die hydraulische Leistungsfähigkeit kann mit einem q_w von 56 und einen q_v von 43 l/min/m ² als hoch bezeichnet werden und entspricht Leistungsklasse 5.
Ablaufkonzentrationen	Die für GUS erzielten Ablaufkonzentrationen von 11-12 mg/l belegen die Wirksamkeit des Polstofffilters für den GUS-Rückhalt (Klasse 4). Feinpartikuläres Material oder gelöste Stoffe werden durch dieses Verfahren jedoch nur bedingt zurückgehalten, was anhand der mittleren Ablaufkonzentrationen von Kupfer und Zink sichtbar wird, welche 25 µg/l Cu und 198 µg/l Zn betragen und deshalb der tiefsten Leistungsklasse 1 entsprechen. Die Bandbreite der erzielten Ablaufkonzentrationen liegt insgesamt zwischen 12 und 83 µg/l Cu und zwischen 101 und 659 µg/l Zn. Vor diesem Hintergrund ist es nicht erstaunlich, dass DOC als gelöster Stoff kaum zurückgehalten wird und im Mittel mit 13 mg/l im Ablauf gemessen wird (4-30 mg/l). Auch diese Zahlen zeigen, dass Kupfer und Zink ein im Vergleich zu GUS unterschiedliche Spezifizierung aufweisen und durch Siebfiltration nur bedingt zurückgehalten werden können.
Wirkungsgrade	Die Wirkungsgrade von Kupfer und Zink betragen 54 % (Cu) und 48 % (Zn), aber deutlich höher als beim Absetzbecken oder beim Lamellenabscheider. Der Wirkungsgrad für GUS entspricht mit 80-84 % der Klasse 4.
Druckhöhe	Der Betrieb des Polstofffilters setzt nur einen geringen Überstau voraus und entspricht deshalb der Klasse 5.
Bauhöhe	Bezüglich der Bauhöhe von 3.5 m liegt der Polstofffilter im unteren Mittelfeld und erzielt die Leistungsklasse 2.
Unterhalt	Der Betrieb einer Pilotanlage ist nicht repräsentativ für eine grosstechnische Anlage, weshalb hierzu noch keine Informationen vorliegen.
Entsorgung	Siehe Bemerkungen zum Unterhalt.

Besonderes

Bei höherer GUS-Belastung muss infolge häufigerer Spülzyklen mit einer geringen Leistungseinbusse bei der Schadstoffentfernung gerechnet werden.

Die Behandlung des Spülwassers mit einem Anteil von 0.5 % an der gesamt behandelten Abwassermenge ist von zentraler Bedeutung. Die Behandlung des Spülwassers mit Filtersäcken ist machbar, allerdings erwies sich das Auswechseln der mit Schlamm gefüllten Filtersäcke als problematisch.

Da diese Schlammbehandlung ebenfalls zum diesem Verfahren gehört und entsprechende Flächen benötigt, wird dadurch die hydraulische Leistungsfähigkeit q_v reduziert. Sie bleibt allerdings auch dann immer noch hoch. Die Schlammbehandlung dürfte vor allem beim Kostenvergleich relevant werden.

Bei optimalem Betrieb eines Polstofffilters ist es eventuell möglich, bei den Ablaufkonzentrationen von Kupfer und Zink die Leistungsklasse 2 zu erzielen.

Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen:

- Die Ergebnisse der Burgdorfer-Untersuchung bestätigen diejenige der Versuche von Rüttlingen-Alchenflüh [13]. Aus den Daten geht allerdings auch hervor, dass die Leistung der GUS-Elimination (Ablaufkonzentration und Wirkungsgrad) unter anderen Bedingungen eine Klasse geringer ausfallen kann (Abb. V.7).

V.2.5 Adsorber

Die Leistungsbeurteilung von hydraulisch hoch belasteten Adsorbentien beruht auf den Untersuchungen in Burgdorf sowie in Hannover-Seelhorst [13], [33]. Die Ergebnisse sind in Abb. V.8 dargestellt

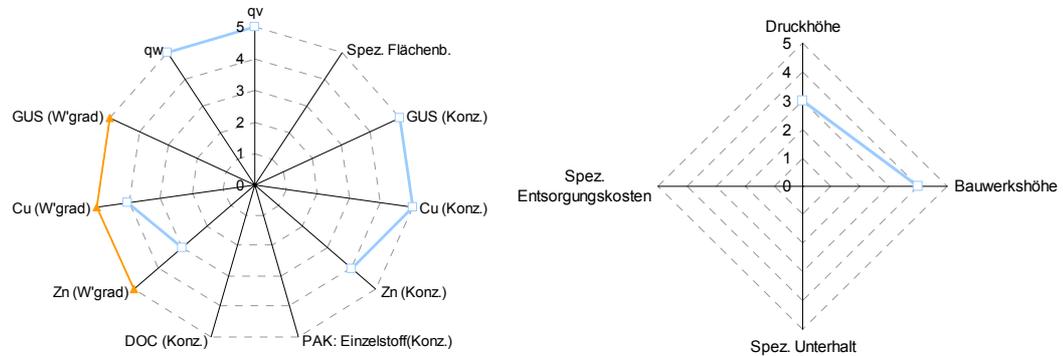


Abb. V.8 Leistungscharakteristika eines hydraulisch hoch belasteten GEH-Kalk-Adsorbentien (hellblau) und einer Ferrosorp-Adsorbentien

Datengrundlage	Ausreichend.
Hydraulische Leistung	Die hydraulische Leistungsfähigkeit des GEH-Kalk-Adsorbentien entspricht Klasse 5 (q_w 33 l/min/m ² , q_v von 8.5 l/min/m ²) und bestätigt damit die Leistung einer hydraulisch hoch belasteten Adsorbentien.
Ablaufkonzentrationen	Der frachtgewogene Mittelwert der Ablaufkonzentrationen beträgt bei GUS <10 mg/l, bei Kupfer 3 µg/l und bei Zink 16 µg/l.
Wirkungsgrade	Die Wirkungsgrade von Kupfer und Zink sind in der Klassierung tiefer als die Ablaufkonzentrationen, weil die Zulaufkonzentrationen bedingt durch die vorgängige Filtration mit einem Geotextil bereits reduziert wurden. Für Kupfer und Zink werden Wirkungsgrade von 81 und 78 % erzielt. Für GUS kann kein Wirkungsgrad angegeben werden, da die Ablaufkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Der Wirkungsgrad dürfte Klasse 4 oder 5 entsprechen.
Druckhöhe	Die Druckhöhe beträgt 1 m
Bauhöhe	Die Bauwerkshöhe der Versuchsanlage mit der Adsorbentien entspricht knapp 2 m (Klasse 4).
Unterhalt	Es ist keine Aussage möglich, da der Betrieb mit einer Pilotanlage erfolgte.
Entsorgung	Die GEH-Kalk-Schichten müssen heute als Sonderabfall entsorgt werden. Eine Aufbereitung und Weiterverwendung ist künftig denkbar.
Besonderes	Die hohe hydraulische Leistungsfähigkeit kann nur erzielt werden, wenn eine wirkungsvolle Partikelabtrennung vorgeschaltet ist. Ansonsten ist eine vorzeitige Kolmation zu befürchten. Die Standzeit von hydraulisch hoch belasteten Adsorbentien ist infolge der hohen stofflichen Belastung auf wenige Jahre limitiert. Dies bedingt einen regelmässigen Austausch der Adsorbentien.

Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen

- Die Untersuchungen in Hannover Seelhorst mit einer Ferrosorp-Adsorbenschicht bestätigen die hohe Leistungsfähigkeit indirekt durch die hohen Wirkungsgrade [33].
- Laborversuche an der Eawag, bei welchen unterschiedliche Adsorbentmaterialien (Zeolithe, Ferrosorp, GEH-Kalk) einem Leistungstest zur Abklärung der Eignung für die Strassenabwasserbehandlung unterzogen wurden, bestätigen für die GEH-Kalk-Mischung sowie für Ferrosorp die hohe Leistungsfähigkeit bei der Schadstoffentfernung [34]
- Von Ferrosorp gibt es mittlerweile unterschiedliche Typen. Beim Einsatz für die Behandlung von Strassenabwasser ist unbedingt darauf zu achten, dass nur Typen bestehend aus 100 % Ferrosorp eingesetzt werden.

V.3 Technische Verfahrenskombinationen

V.3.1 Lamellenabscheider, Sandfilter und Adsorber

Die Leistungsbeurteilung dieses Verfahrenstyps basiert auf der Leistungsprüfung der SABA Attinghausen [29]. Die Leistungscharakteristik ist in Abb. V.9 dargestellt und bezieht sich auf den Retentionsfilter.

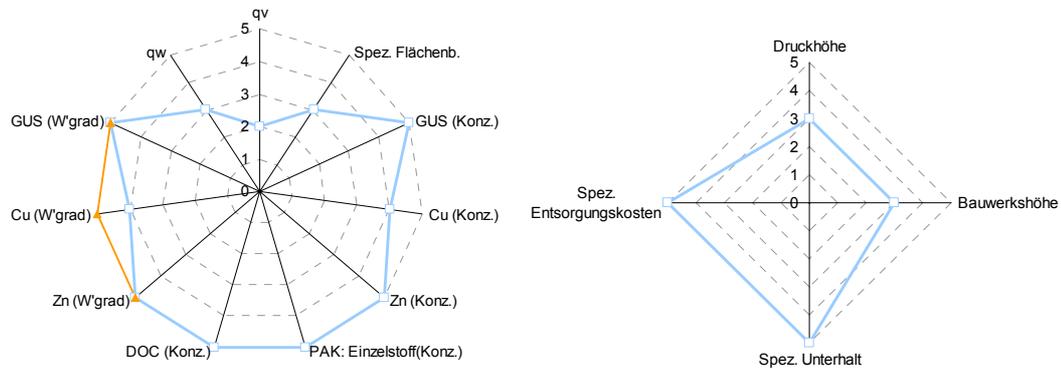


Abb. V.9 Leistungscharakteristika der SABA Attinghausen. Die Daten der Versuche in Hannover-Seelhorster sind orange dargestellt

Datengrundlage	Die Datengrundlage ist mit 20 beprobten Ereignissen über einen Untersuchungszeitraum von 2 Jahren verteilt ausreichend.
Hydraulische Leistung	Die hydraulische Leistungsfähigkeit q_w liegt bedingt durch die Drosslung in den RFB maximal knapp über 2 l/min/m ² , was Klasse 3 ergibt. q_v ist entsprechend geringer und entspricht Klasse 2. Die spezifische Flächenbelastung mit 136 m ² aktiver Filterfläche pro ha Strasse entspricht Klasse 3 und ist somit höher als diejenige von bepflanzen Filtern.
Ablaufkonzentrationen	Die erzielten Ablaufkonzentrationen der Schlüsselparameter GUS, Zink, PAK und DOC entsprechen durchwegs Klasse 5. Einzig Kupfer verpasst Klasse 5 knapp und erzielt Klasse 4.
Wirkungsgrade	Entsprechend hoch sind die Wirkungsgrade von GUS, Cu und Zn. Für GUS und Zn liegen sie deutlich über 90 %, bei Kupfer zwischen 80 und 90 %.
Druckhöhe	Die Druckhöhe bezieht sich auf die Aufstauhöhe in den Retentionsfilterbecken, welche rund 1 m beträgt.
Bauhöhe	Die Bauhöhe des Retentionsfilters beträgt knapp 3 m und entspricht somit Klasse 3. Bezüglich des Lamellenabscheiders ergäbe die Bauwerkshöhe Klasse 1.
Unterhalt	Für die beiden Retentionsfilter sind bisher Unterhaltsaufwendungen von 0.2 h/ha/Jahr angefallen. Insgesamt belaufen sich bisher die Unterhaltsaufwendungen der gesamten SABA inkl. Lamellenabscheider auf 2.6 h/ha/Jahr (Daten der Schwester-SABA Wiler), die notwendig sind für einen kolmationsarmen Betrieb der RFB.
Entsorgung	Die Entsorgungskosten des Schlammes betragen 45 CHF pro ha und Jahr und beziehen sich auf den Schlamm aus dem Lamellenabscheider. Für den Retentionsfilter sind bisher keine Entsorgungskosten angefallen.

Besonderes

Bisher konnte bei den RFB keine kritische verschmutzungsbedingte Kolmation festgestellt werden. Tritt diese in den nächsten Jahren auf, würden sich der Unterhaltsaufwand und die Entsorgungskosten erhöhen. Dasselbe betrifft den Ersatz der Adsorbenschichten, welcher allerdings erst in 15-20 Jahren erfolgen wird.

Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen

- Die Ergebnisse der Versuchsanlage in Hannover-Seelhorster mit einem Sand/Ferrosorp Gemisch können die hohen Wirkungsgrade der SABA Attinghausen für GUS und Zink bestätigen [33]. Die Kupfer-Elimination fällt bei den Versuchen mit der Leistungsklasse 5 eine Klasse höher aus.

V.3.2 Splitt-Kiesfilter (+ Schilffilter)

Die Beurteilung dieses Verfahrenstyps basiert auf der Leistungsprüfung des Splitt-Kiesfilters der SABA Hagnau [35]. Die Leistungscharakteristika sind in Abb. V.10 dargestellt.

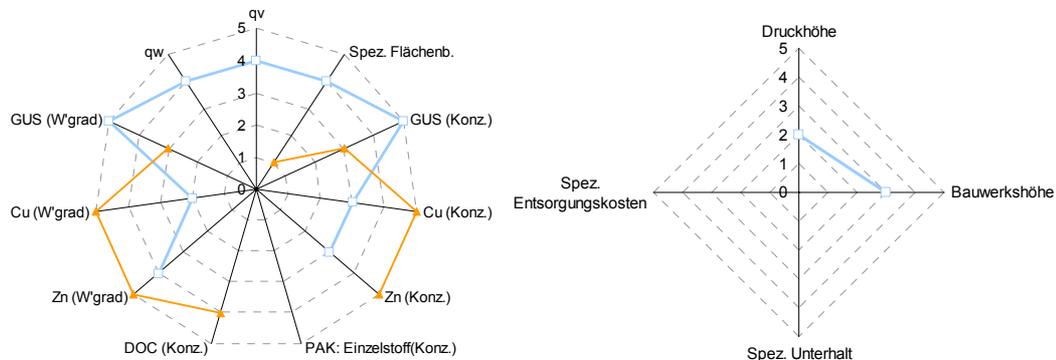


Abb. V.10 Leistungscharakteristika des Splitt-Kiesfilters der SABA Hagnau. Die Daten der SABA Baulos Ost sind orange dargestellt

Datengrundlage	Die Datengrundlage ist mit 8 beprobten Ereignissen verteilt über einen Untersuchungszeitraum von eineinhalb Jahren knapp ausreichend. Ende 2009 werden die Ergebnisse zeigen, ob sich die bisherigen Erkenntnisse bestätigen.
Hydraulische Leistung	Die hydraulische Leistungsfähigkeit q_w und q_v des Splittfilters kann mit Werten von durchschnittlich 4-5 und maximal bis zu 6 l/min/m ² als hoch bezeichnet werden (Klasse 4), dies insbesondere bei der vorliegenden hohen spezifischen Flächenbelastung von 256 m ² Strassenfläche pro Quadratmeter Filteroberfläche (Klasse 4). Bisher ist noch keine irreversible Kolmation zu beobachten (siehe Besonderes).
Ablaufkonzentrationen	Die erzielten Ablaufkonzentrationen von GUS sind mit Werten von weniger als 10 mg/l gering und entspricht Klasse 5. Interessanterweise erzielen Kupfer und Zink nur Klasse 3. Die tiefen Ablaufwerte für GUS können auf den Rückhalt in der sich gebildeten Schlammschicht und auf den Raumfiltrationseffekt im Filterinnern zurückgeführt werden. Die sorptive Wirkung der Schlammschicht und des Splittfilters ist jedoch begrenzt, was die Kupfer- und Zinkkonzentrationen im Ablauf belegen.
Wirkungsgrade	Der Wirkungsgrad von GUS beträgt 92 % . Die Wirkungsgrade von Cu und Zn sind tiefer und liegen bei 66 und 85 %.
Druckhöhe	Die Druckhöhe bezieht sich auf die Aufstauhöhe in den Retentionsfilterbecken und beträgt 1.3 m und somit Klasse 2.
Bauhöhe	Die gesamte Bauhöhe des Splittfilters inklusive Drainage und Abdichtung beträgt 3 m.
Unterhalt	Positiv auf den Unterhalt wirkt sich die Tatsache aus, dass die Schlammschicht auf dem Splittfilter infolge bisher ausbleibender irreversibler Kolmation noch nie entfernt werden musste. Der vorgeschaltete Ölabscheider wurde seit der Inbetriebnahme jährlich gereinigt. Der Zeitaufwand betrug hierfür 24h/a. Notwendig war allerdings die Entfernung des Bewuchses auf der Filteroberfläche.
Entsorgung	Die Entsorgungskosten für den jährlich anfallenden Schlamm aus dem Ölabscheider lagen bisher zwischen 2'000.- und 6'800.- CHF.

Besonderes Vor dem Splittfilter befindet sich ein bereits bestehender Ölabscheider, der anhand der Angaben des Werkhofs zwischen 15 - 25 % der GUS-Fracht zurückhält. Inwiefern der neu eingebrachte Strassenbelag als Partikelfänger wirkt, wird im Rahmen der weiteren Leistungsprüfung untersucht. Faktoren, welche die Leistung des Kies-Splittfilters beeinflussen sind die hydraulische Belastung, die Abflussdrosselung, der Schichtaufbau sowie die Zulaufkonzentrationen. Weitere Messungen werden die Leistungsfähigkeit näher beschreiben, insbesondere auch was den spezifischen Durchfluss betrifft.

Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen

- Die Ergebnisse der SABA Baulos Ost zeigen, dass die Leistung bei der Kupfer-Elimination zwei Klassen höher und bei der GUS-Elimination zwei Klassen geringer ausfällt [25]. Die Zink-Elimination fällt mit der Stufe 5 eine Klasse höher aus. Bei der SABA Baulos Ost handelt es sich um einen ursprünglich unbewachsenen Kiesfilter, auf dem sich mit zunehmender Betriebszeit ein geringer Pflanzenbewuchs eingestellt hat, der wahrscheinlich für die höhere Kupfer- und Zink-Elimination verantwortlich ist. Unklar ist die Ursache für die tiefere GUS-Elimination.

VI Zusammenfassung der Daten und Anlagen

Abb. VI.1 Zusammenfassung der im Bericht genannten Anlagen und der dazugehörigen Literaturquelle.

Behandlungsverfahren	Bezeichnung	Literatur
Versickerung über das Bankett	Burgdorf	Eawag et al., 2006a
	Augsburg	Nadler und Meißner, 2007
	Wallis A9	Boivin et al. 2008
Bewachsene Sandfilter	SABA Ristet	ilu AG, 2009
	SABA Baulos Ost	Geiger-Kaiser und Jäger, 2005
	SABA Geilenkirchen	Mertsch, 2003
	Augsburg	Nadler und Meißner, 2007
	Sonstige	Kasting et al., 2003
Bewachsene kombinierte Filter Boden/Sand oder Boden/Kies- sand	SABA Schwarzenberg-kaserne und SABA Baulos West	Geiger-Kaiser und Jäger, 2005
	SABA Hamburg	Tegge und Heinrich, 2006
Absetzbecken	Ölabscheider Allmendingen	Kaufmann et al., 2008b
	Leichstoffabscheiders A4 – Westhover Weg	Grotehusmann et al., 2007
Lamellenabscheider	SABA Attinghausen	Steiner und Goosse, 2009a
Mikrosieb	Rüdtlingen-Alchenflüh	Kaufmann et al., 2008a
Polstofffilter	Rüdtlingen-Alchenflüh	Kaufmann et al., 2007b Kaufmann et al., 2008c
	Burgdorf	Eawag et al., 2006b
Adsorberschichten	Burgdorf	Eawag et al., 2006b.
	Hannover-Seelhorster	Kasting und Grotehusmann, 2007
Lamellenabscheider, Sandfilter und Adsorber	SABA Attinghausen	Steiner und Goosse, 2009a
	Hannover-Seelhorster (nur Sand/Adsorber)	Kasting und Grotehusmann, 2007
Splitt-Kiesfilter (+ Schilffilter)	SABA Hagnau	Steiner et al., 2009b

Abb. VI.2 Zuordnung der Anlagen.

Bezeichnung Grafiken	Bezeichnung Literatur
Bankett (1)	Bankett Burgdorf
Bankett (2)	Bankett Augsburg
Boden-Kies, Schilf	Seltenbach
Boden-Kies, Gras (1)	Schwarzenbergkaserne
Boden-Kies, Gras (2)	Baulos West
Boden-Kies/Sand, Schilf (1)	Moosbach/Wildbach
Boden-Kies/Sand, Schilf (2)	<i>Thur Süd</i>
Boden-Kies/Sand, Gras	Wildried
Lehm/Humus-Sand, Gras	Hamburg
Sandfilter, Schilf (1)	Ristet
Sandfilter, Schilf (2)	Geilenkirchen
Ölabscheider (1)	ÖA Allmendingen
Ölabscheider (2)	A4 - Westhover Weg
Absetzbecken	Absetzbecken Burgdorf
Lamellenabscheider	Lamellenabscheider (Attinghausen)
Polstoff (1)	Mecana Polstofffilter (TBA)
Polstoff (2)	<i>Mecana Polstofffilter Eawag</i>
Mikrosieb	Huber RO-Disc
Adsorber (1)	Hannover-Seelhorster
Adsorber (2)	Burgdorf Versuche
Splitt-Kiesfilter	SABA Hagnau (Splitt-Kiesfilter)
Kiesfilter	Baulos Ost
Sandfilter, Adsorber	SABA Attinghausen

Glossar

Begriff	Bedeutung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
Cd	Cadmium
Cl	Chlorid
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff
Einleitbedingungen	Einleitbedingung von kommunalem Abwasser in die Gewässer
GSchV	Gewässerschutzverordnung
GUS	Gesamt ungelöste Stoffe
KW	Kohlenwasserstoffe
MTBE	Methyl-tert-Butylether
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium
NO ₂ ⁻	Nitrit
NO ₃ ⁻	Nitrat
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
Qualitätsziele	Anforderungen an die Qualität von Fließgewässern
q _v	Spezifischer Durchfluss bezüglich der gesamten Anlagenfläche
q _w	Spezifischer Durchfluss bezüglich der wirksamen Behandlungsfläche
RFB	Retentionsfilterbecken
Zn	Zink

Literaturverzeichnis

-
- [1] **GSchV**, „Gewässerschutzverordnung Stand 1. Juli 2008“.
-
- [2] BAFU (ehemals BUWAL), 2002, „**Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen**“, Wegleitung, Bern.
-
- [3] VSA, 2002, „**Richtlinie Regenwasserentsorgung**“, mit Update 2008. VSA 2008
-
- [4] Lambert, Benedikt (2009), „**Langzeitverhalten von Retentionsbodenfiltern**, DWA Informationsveranstaltung **20 Jahre Retentionsbodenfilter**“, Monheim 2009
-
- [5] Grotehusmann, Dieter (2008), „**Bodenfilter für Trennsystem und Strassenentwässerung – Unterschiede und Betriebsergebnisse**“, DWA 2008
-
- [6] Ehwald, Rudolf (2009), „**Schilf als unverzichtbares Verfahrenselement der RFB**, DWA Informationsveranstaltung **20 Jahre Retentionsbodenfilter**“, Monheim 2009
-
- [7] Nadler A., Meißner E. (2007), „**Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen – Abschlussbericht Entwicklungsvorhaben Oktober 1996 – Oktober 2005**“, Bayerisches Landesamt für Umwelt.
-
- [8] Hilliges R., Schriewer, A. und Helmreich, B. (2005), „**Entfernung von Schadstoffen aus Strassenabflüssen einer stark befahrenen Strasse durch ein mehrstufiges Filtersystem**“, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft. Technische Universität München.
-
- [9] Grau, A. (2003), „**Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser nach der neuen ATV DVWK A 138**“, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft. Technische Universität München.
-
- [10] Amt der Vorarlberger Landesregierung und Umweltinstitut Vorarlberg (2007), „**Abwasser- und Bodenuntersuchungen am Retentionsfilterbecken Landesstrasse L 202 Hard-Bregenz (Emissionsmessstelle Bregenzerachbrücke)**“, Abschlussbericht.
-
- [11] Scheiwiler E. (2008), „**Schadstoffabschwemmungen – Am Beispiel von Hochleistungsstrassen**“, GWA 7/2008.
-
- [12] Eawag, HSB/HTI Burgdorf, GSA Kt. Bern, ASTRA und BAFU (2006a), „**Untersuchung der Versickerung von Strassenabwasser über Strassenrandstreifen an einer bestehenden Strasse**“, Bericht Eawag Dübendorf.
-
- [13] Eawag, HSB/HTI Burgdorf, GSA Kt. Bern, ASTRA und BAFU, (2006b), „**Schadstoffe im Strassenabwasser einer stark befahrenen Strasse und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Adsorbermaterial**“, Bericht Eawag Dübendorf.
-
- [14] VSS (2009), „**Strassenentwässerung: Belastung von Strassenabwasser**“, VSS-Norm 640 347, Zürich.
-
- [15] Hütter L. (1994), „**Wasser und Wasseruntersuchung**“, Verlag Salle + Sauerländer. 6. Auflage, S. 126.
-
- [16] Umweltbundesamt (2003), „**Umweltrelevanz des Stoffes Methyltertiärbuthylether (MTBE) unter besonderer Berücksichtigung des Gewässerschutzes**“, Bericht.
-
- [17] Gisi U., Schenker R., Schulin R., Stadelmann F.X. und Sticher Hans. (1990), „**Bodenökologie**“, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.
-
- [18] Boller M. (2000), „**Wasserversorgung: Teil 2, Trinkwasseraufbereitung, Abtrennung partikulärer Stoffe**“, EAWAG/ETHZ, Dübendorf.
-
- [19] Melin T. und Rautenbach, R. (2007), „**Membranverfahren – Grundlagen der Modul- Anlagenauslegung**“, Springer Verlag Berlin.
-
- [20] Hermann E., Schwengeler R. Steiner M. und Boller M. (2005), „**Behandlung von hochbelastetem Strassenabwasser**“, GWA 12/2005.
-
- [21] Kaufmann P., Ochsenbein U., Scheiwiler E. und Rudin M. (2007a), „**Bericht über die Austestung des Systems FluidControl im Jahre 2006 (4.1-01)**“, Tiefbauamt des Kantons Bern, Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern, aquawet Gümligen.
-
- [22] Boivin P., Saadé M., Pfeiffer H.R., Hammecker C. and Degoumois Y. (2008), „**Dépuraton of Highway Runoff Water into grass-covered Embankments**“, Environmental Technology, 29:6, 709-720.
-
- [23] Ilu AG (2009), „**Strassenabwasserbehandlungsanlage SABA Ristet: Gesamtbericht über Erfolgskontrollen**“, Baudirektion Kanton Zürich.
-
- [24] Mertsch V. (2003), „**Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb**“, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
-
- [25] Geiger-Kaiser M., Jäger P. (2005), „**Wirksamkeit von Retentionsfilterbecken zur Reinigung von Strassenoberflächenwässern**“, Amt der Salzburger Landesregierung, Reihe Gewässerschutz.
-

-
- [26] Tegge K.T., Heinrich D. (2006), „**Strassenabwasser – Untersuchung zur Reinigungsleistung eines Retentionsbodenfilters**“, Publikation in Strasse + Autobahn. 7/2006.
-
- [27] Kaufmann P., Ochsenbein U., Scheiwiller E. und Rudin M. (2008b), „**Untersuchung von Ölabscheidern und Schlamm aus Geotextilsäcken nach Scheibenfiltern (3.13_01)**“, Tiefbauamt des Kantons Bern, Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern, aquawet Gümligen.
-
- [28] Grotehusmann D., Kasting U., Hunze. M. (2007), „**Optimierung von Absetzbecken zur Regenwasserbehandlung**“, Publikation in KA – Abwasser, Abfall. 7/2007.
-
- [29] Steiner, M. und Goosse, P. (2009a), „**Abschlussbericht Monitoring SABA Attinghausen**“. Bericht, Zürich. www.wst21.ch.
-
- [30] Kaufmann P., Ochsenbein U., Scheiwiller E. und Rudin M. (2008a), „**Austestung des Systems Huber Mikrosieb und Geotextilsäcke für die Schlammbehandlung. Bericht über die Versuche im SAZ im Jahr 2007 (6.2-01)**“, Tiefbauamt des Kantons Bern, Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern, aquawet Gümligen.
-
- [31] Kaufmann P., Ochsenbein U., Scheiwiller E. und Rudin M. (2007b), „**Austestung des Systems Mecana-Scheibenfilter und Geotextilsäcke für die Schlammbehandlung. Bericht über die Versuche in Wangen a.A. im Jahre 2006 (5.2-01)**“, Tiefbauamt des Kantons Bern, Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern, aquawet Gümligen.
-
- [32] Kaufmann P., Ochsenbein U., Scheiwiller E. und Rudin M. (2008c), „**Austestung des Systems Mecana-Scheibenfilter und Geotextilsäcke für die Schlammbehandlung. Bericht über die Versuche im SAZ im Jahr 2007 (46/5.1/01)**“, Tiefbauamt des Kantons Bern, Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern, aquawet Gümligen.
-
- [33] Kasting, U., Grotehusmann, D. (2007), „**Bodenfilteranlagen zur Behandlung von Strassenabflüssen – Halbtechnische Bodenfilterversuche – Teil 2: Versuche zur Salzbelastbarkeit**“, Publikation in KA – Abwasser, Abfall 8/2007.
-
- [34] Steiner M., Langbein S. and Boller M. (2007), „**Development and full-scale implementation of a new treatment scheme for road runoff**“, G.M. Morrison and S. Rauch (eds.), Highway and Urban Environment: Proceedings of the 8th Highway and Urban Environment Symposium, 453-463. Springer Publishing.
-
- [35] Steiner M., Goosse P., Koch G., Ermuth M., Aebin G. und Lang T. (2009b), „**Zweiter Zwischenbericht zum Monitoring der SABA Hagnau**“, Bericht, Zürich. www.wst21.ch.
-
- [36] Rutz F. (2007), „**Strassenabwasser Behandlungsanlagen – Betriebserfahrungen und Erfolgskontrollen**“, Publikation GWA 2/2007.
-

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen

