

Merkblatt

Leistungsprüfung für technische Adsorbermaterialien und dezentrale technische Anlagen zur Behandlung von Niederschlagswasser

VSA-Leistungsprüfung

24. April 2017

Projektgruppe:

- Bigler, Roland, AWA, Bern
- Burkhardt, Michael (Leitung), HSR, Rapperswil
- Lienhard, Martin, MALL, Donaueschingen
- Meister, Daniel, AWEL, Zürich
- Schmidt, Stella, HSR, Rapperswil
- Steiner, Michele, WST21, Zürich
- Töws, Rudolf, Funke Kunststoffe, Hamm-Uentrup
- Walter, Jean-Louis, ENVIREAU, Courtedoux
- Welker, Antje, Frankfurt University of Applied Sciences, Frankfurt a.M.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
1. Einleitung	5
2. Anwendungsbereich und Abgrenzung	5
3. VSA-Leistungsprüfung.....	6
4. Labortest	7
4.1 Vorabklärung	7
4.2 Vorgehen.....	8
4.3 Auswertung.....	11
4.4 Beurteilung des Labortests	13
5. Feldtest	14
5.1 Anlagenstandorte.....	14
5.2 Messkampagne	15
5.3 Bilanzierung der hydraulischen Leistung.....	17
5.4 Bilanzierung der Stoffe.....	17
5.5 Beurteilung der Adsorberanlagen	18
6. Gesamtbeurteilung der Adsorberanlage	20
7. Literatur	21
8. Anhang.....	22
8.1 Dokumentation der Labortestresultate	22
8.2 Bauliche und technische Charakterisierung der Anlage	23
8.3 Dokumentation der Messkampagnenresultate pro Anlage	25
8.4 Testsubstanzen	27

Glossar

Adsorbiermaterial	Technisches Substrat zum Rückhalt von gelösten Stoffen aus Wasser vornehmlich durch Adsorption. Aufgrund der Materialeigenschaften können Adsorber auch den pH-Wert beeinflussen und gelöste Metalle durch Filtration zurückhalten.
Adsorption	Anreicherung von Stoffen aus Wasser an der Oberfläche eines Festkörpers. Synonym: Rückhalt.
Abflussbeiwert	Abflussbeiwert ist als Verhältnis zwischen Gesamtabfluss und Gesamtniederschlag definiert. Eigenschaften der Flächen in einem definierten Einzugsgebiet wie Versiegelungsgrad, Retention, Neigung, Verdunstung etc. beeinflussen den Faktor.
Aliquot	Teil einer Probe.
Anschlussflächenverhältnis	Verhältnis von Filterfläche zu angeschlossener Fläche.
Bettvolumen	Das vom Adsorptionsmaterial in der Säule eingenommene Volumen.
Biozide	Chemische Substanzen gemäss Schweizer Biozidprodukteverordnung (VBP) [1].
Dezentral	Die Anschlussfläche umfasst in der Regel ca. < 2'000 m ² .
GUS	Gesamte ungelöste Stofffraktion, die nach 0.45 µm Filtration den Filtrerrückstand bildet. Entspricht in Deutschland den abfiltrierbaren Stoffen (AFS) oder international den Total Suspended Solids (TSS).
Kompaktanlage	Anlage zur Behandlung von Niederschlagswasser, die als Gesamtsystem seriell produziert und in immer vergleichbarer Bauweise angeboten wird. Die Anlagen werden vorgefertigt vom Hersteller angeboten und ausgeliefert.
Liegenschaft	(Bebautes) Grundstück mit Häusern, Plätzen, Garagen, Strassen, Parkplätzen usw.
Mischprobe	Durch Mischen von Einzelproben resultierende Gesamtprobe.
Pestizide	Chemische Substanzen, die lästige oder schädliche Lebewesen töten, vertreiben oder in Keimung, Wachstum oder Vermehrung hemmen gemäss Schweizer Pflanzenschutzmittelverordnung [2].
Remobilisierung	Freisetzung von adsorbierten Substanzen, hier die Rücklösung von Testsubstanzen durch den Einsatz von Tausalz.
Riffelteiler	Gerät zur repräsentativen Probenteilung von trockenen, schüttbaren Proben.
Technische Behandlungsanlage	Die in der Anlage zur Behandlung von Niederschlagswasser verwendeten Substrate sind standardisiert und immer gleich zusammengesetzt. Dies ist z.B. für Boden nicht der Fall, für Sand und Splitt auch nur eingeschränkt.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Säulenversuchs. 9

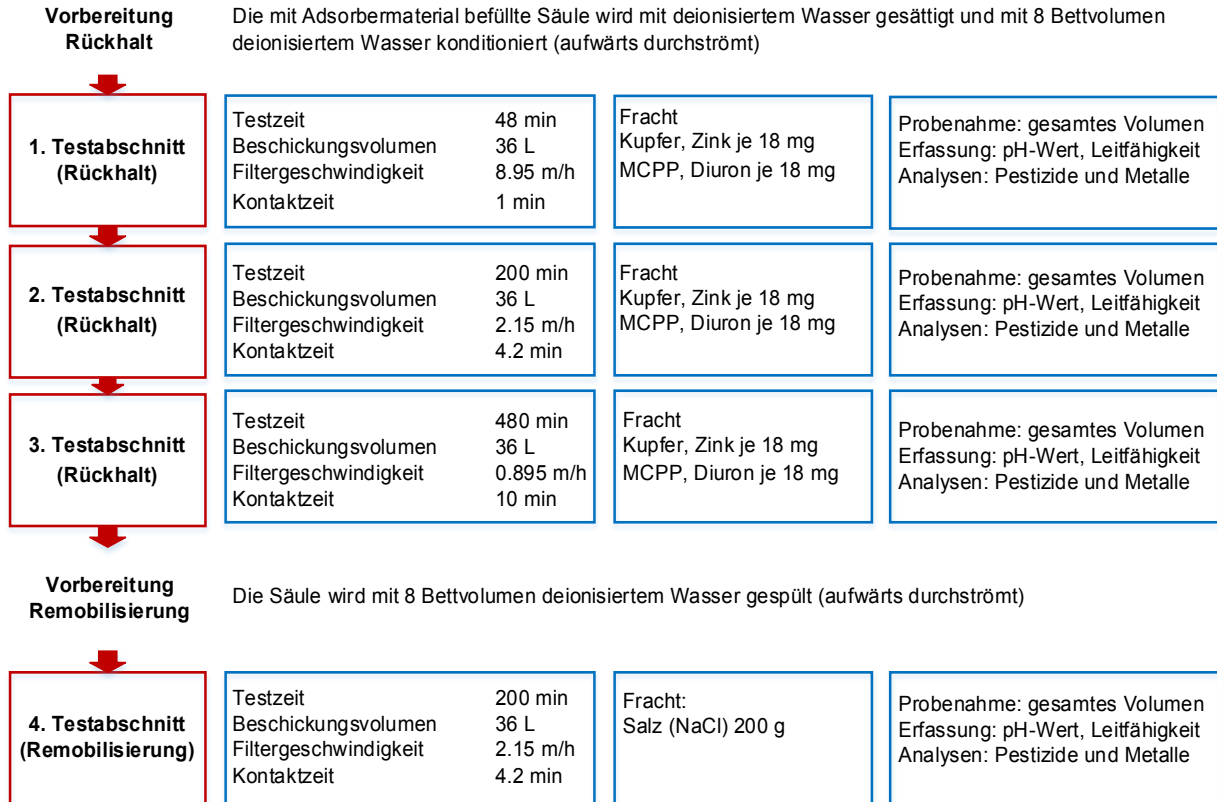


Abbildung 2: Übersicht zum Vorgehen im Labor zur Bestimmung des Rückhalts und der Remobilisierung..... 11

Abbildung 3: Schema zur möglichen Installation der Mess- und Probenahmegeräte in einer Anlage mit Vorbehandlung (Grobabscheidung), Retention und Adsorberbehandlung. Andere Anlagentypen sind davon abweichend zu instrumentieren. Bei Rinnensystemen sind die Installationen an die baulichen Möglichkeiten anzupassen. 15

1. Einleitung

Das von bebauten oder befestigten Flächen abfliessende Niederschlagswasser gilt gemäss Gewässerschutzverordnung (GSchV) in der Regel als nicht verschmutztes Abwasser [3]. Nicht verschmutztes Wasser kann ohne Behandlung zur Versickerung gebracht werden oder, wenn die örtlichen Verhältnisse dies nicht zulassen, in ein Oberflächengewässer eingeleitet werden.

Niederschlagswasser von Gebäuden, Strassen, Wegen und Plätzen dagegen umfasst je nach örtlichen Verhältnissen und Verkehrsbelastung einen ganzen Cocktail von anorganischen und organischen Schadstoffen [4, 5, 6, 7]. Von Metalldächern und -fassaden und in Strassenwasser sind Schwermetalle (z.B. Kupfer, Zink) zu erwarten. Zusätzlich gelangen organische Stoffe aus Baumaterialien (z.B. Flammschutzmittel, Weichmacher, Pestizide), dem Unterhalt von Wegen und Grünflächen (z.B. Pflanzenschutzmittel, Insektizide) oder über den Strassenverkehr (z.B. Mineralölkohlenwasserstoffe, Vulkanisationsmittel, Stabilisatoren, Russ, Tausalze) ins Wasser. Je nach Empfindlichkeit des Bodens, des Grundwassers oder des Oberflächengewässers gilt solches Niederschlagswasser als behandlungsbedürftig.

Ist das Niederschlagswasser so stark verschmutzt, dass weder die Versickerung über einen bewachsenen Bodenfilter ausreichend oder möglich, noch die Einleitung in eine Kläranlage erwünscht sind, stellt eine dezentrale Behandlungsanlage mit technischen Adsorbermaterial eine Alternative dar. Solche Anlagen haben stark an Bedeutung gewonnen und sind bei Metalldächern und -fassaden in gewissen Fällen schon obligatorisch.

Alternativ bzw. ergänzend sind grundsätzlich weitere Massnahmen zu berücksichtigen. Die Reduktion der diffusen Stoffeinträge, dem Vorsorgeprinzip folgend, durch Massnahmen an der Quelle hat dabei oberste Priorität.

Um Leistungskenngrössen zum stoffspezifischen Rückhalt und hydraulischen Wirkungsgrad für technische Adsorberanlagen unter vergleichbaren Bedingungen zu ermitteln, wird vom VSA eine zweistufige Leistungsprüfung empfohlen.

2. Anwendungsbereich und Abgrenzung

Die VSA-Leistungsprüfung richtet sich an dezentrale technische Kompaktanlagen, Schacht- und Rinnensysteme, die für den Rückhalt von partikulären und gelösten Stoffen aus Niederschlagswasser von Dächern und Fassaden, Liegenschaften und Strassen für geringe bis hohe Belastungsklassen entwickelt wurden. Solche Anlagen zeichnen sich durch eine standardisierte Bauweise und gleiche Verfahrensprinzipien aus.

Dazu zählen Schacht- bzw. Kompaktanlagen, die Niederschlagsabflüsse von kleineren Anschlussflächen, in der Regel $< 2'000 \text{ m}^2$, behandeln [8]. Rinnensysteme erfassen konstruktionsbedingt Abflüsse von eher kleinen Flächen je Laufmeter, vielfach nur 10 bis 50 m^2 Anschlussfläche je Rinnenlaufmeter.

Nachfolgend wird vereinfacht von Adsorberanlagen gesprochen, in denen Adsorbermaterialien zum Einsatz kommen. Das VSA-Vorgehen schafft schweizweit einheitliche Test- und Beurteilungskriterien. Im Rahmen der DIBt-Zulassung in Deutschland werden teilweise die gleichen Anlagentypen unter kontrollierten Laborbedingungen getestet, sodass die Erkenntnisse aus diesem Zulassungsverfahren auch beim Schweizer Vorgehen genutzt werden können [9].

In der Regel umfassen die zu prüfenden Anlagen eine Wasserretention, eine Abscheidung für Partikel und einen technischen Adsorber zum Rückhalt gelöster Stoffe. Die eingesetzten Adsorbentmaterialien bestehen entweder aus einer einzigen Komponente, z. B. granuliertem Eisenhydroxid, Aktivkohle, Zeolith, oder aus der Mischung von mehreren Komponenten und sind lose oder in Behältnissen (z.B. Modulen, Kissen) verbaut. Durchströmt wird das Adsorbentmaterial vertikal oder lateral und liegt bei Trockenwetter wasserungesättigt oder wassergesättigt vor. Manchmal wird der pH-Wert dahingehend beeinflusst, dass gelöste Metalle ausfallen und aus dem Niederschlagswasser filtriert werden. Der Adsorber kann auch der hydraulischen Drosselung und Filtration dienen.

Zentrale Anlagen im Siedlungsgebiet können ebenfalls nach dem VSA-Verfahren getestet werden, sofern Betriebserfahrungen mit vergleichbaren Anlagentypen oder Adsorbentsubstraten aus Schacht- bzw. Kompaktanlagen vorliegen.

Nicht vorgesehen ist die Leistungsprüfung für Boden-, Sand- oder Splittfilter, die sich durch fallspezifische Dimensionierung und grössere Einzugsgebiete auszeichnen und im Rahmen der Leistungs- und Funktionsprüfung gemäss ASTRA-Verfahren geprüft werden sollen [10]. Systeme für den reinen Rückhalt von Partikeln, die gelöste Stoffe nicht zurückhalten, gehören ebenfalls nicht zum Anwendungsbereich des Prüfverfahrens.

Eine technische Kommission des VSA steht bei Fragen und der Anwendung des Prüfverfahrens als Ansprechpartner zur Verfügung.

3. VSA-Leistungsprüfung

Die zweistufige Leistungsprüfung, bestehend aus einem Labor- und Feldtest, wird empfohlen, um Leistungskenngrößen zu ermitteln und zu bewerten. Mit dem Labortest wird der potentielle Stoffrückhalt des technischen Adsorbentmaterials für gelöste Stoffe (Kupfer, Zink, Diuron, Mecoprop) bestimmt (Kapitel 4, Labortest). Der Labortest dient Herstellern auch als Entscheidungshilfe, ob der nachfolgende Feldtest sinnvoll ist. Im Feldtest wird von zwei Anlagen der hydraulische Wirkungsgrad sowie der stoffliche Rückhalt für GUS und bestimmte gelöste Stoffe ermittelt (Kapitel 5, Feldtest). Das experimentelle Vorgehen im Feldtest orientiert sich unmittelbar an der „Leistungsprüfung neuer Verfahren“ [10].

Nachdem der Labor- und Feldtest abgeschlossen sind, werden der hydraulische und stoffliche Wirkungsgrad des Anlagentyps beurteilt (Kapitel 6, Gesamtbeurteilung der Adsorbentanlage). Nur der Feldtest findet Berücksichtigung in der Gesamtbeurteilung der stofflichen und hydraulischen Leistungsfähigkeit des jeweiligen Anlagentyps. Der stoffliche Wirkungsgrad berücksichtigt GUS, Metalle (Kupfer, Zink) und Pestizide (Diuron, Mecoprop) unter Einhaltung eines hydraulischen Wirkungsgrades von 90%. Der Hersteller kann seine Anlagen für alle oder für einzelne der drei Stoffgruppen prüfen lassen. Sind Mecoprop (MCP) und Diuron nicht nachweisbar, kann statt MCP ein anderes organisches Pestizid der Mobilitätsklasse 1 (hohe Mobilität) und statt Diuron ein Pestizid der Mobilitätsklasse 2 (geringe Mobilität) gewählt werden (Kapitel 8.4, Testsubstanzen). Die Anforderungen des zu Stoffrückhalts sind folgende:

- „Erhöht“: ≥ 90 % Rückhalt (grün)
- „Standard“: ≥ 70 bis 90 % Rückhalt für Metalle und Pestizide, ≥ 80 bis 90 % für GUS (gelb)
- „Anforderungen nicht erfüllt“: < 70 % bzw. 80 % Rückhalt (rot).

Die Resultate der Klassen „Standard“ und „Erhöht“ werden vom VSA empfohlen (Kapitel 6, Gesamtbeurteilung der Adsorberanlage, S. 20). Die Klasse „Anforderungen nicht erfüllt“ wird für die Behandlung von Niederschlagswasser nicht empfohlen.

Das Bewertungsergebnis ist an das eingesetzte technische Adsorbermaterial, den Anlagentyp und die Prüfbedingungen gebunden. Werden die Zusammensetzung des Adsorbermaterials, die Verfahrensweise der Anlage oder die Prüfbedingungen massgeblich verändert, verliert die Bewertung ihre Gültigkeit. Die des VSA legt auf Antrag fest, wie Änderungen beim Adsorbermaterial und Merkmale der Anlage (z.B. angeschlossene Fläche, Abmessungen) zu bewerten sind und ist Ansprechpartner für diesbezügliche Fragen. Die Technische Kommission des VSA kann an der Leistungsprüfung im zeitlichen Abstand von 5 Jahren, dem technischen Stand und Wissen folgend, Anpassungen vornehmen.

4. Labortest

Der Labortest zielt auf die Vergleichbarkeit technischer Adsorbermaterialien zum Rückhalt von gelösten Stoffen ab und ist ein reiner Materialtest. Der Labortest beabsichtigt nicht die Realität widerzuspiegeln, sondern unter reproduzierbaren Bedingungen den Rückhalt bei unterschiedlicher hydraulischer Belastung abzuschätzen. Die Konzentrationen sind so gewählt, dass bei hoher Rückhalteleistung die Konzentrationen noch quantifiziert werden können sowie mehrjährige Stofffrachten auf das Adsorbermaterial gelangen. Da das Adsorbermaterial eine begrenzte Aufnahmeleistung aufweist und dies den theoretischen Zeitpunkt des Austauschs des Adsorbers bestimmt (Standzeit), sind vorgängig die Adsorptionskinetik und Beladungskapazität zu bestimmen. Die Labortests sind von qualifizierten Institutionen und die chemischen Analysen durch akkreditierte Labore durchzuführen. Die Auswahl der Institutionen ist mit der technischen Kommission des VSA abzustimmen.

4.1 Vorabklärung

a. *Batchtest*

Zur Vorabklärung wird Herstellern empfohlen, einen Batchtest gemäss OECD TG 106 (oder einer vergleichbaren Vorgehensweise) durchzuführen¹. Einzusetzen ist eine Lösung mit jeweils 0.5 mg l⁻¹ Diuron, MCP, Kupfer und Zink. Diuron und MCP sind in Ethanol vorzulösen. Empfohlen wird, das Adsorbermaterial mit einem Feststoff-/Flüssigkeits-Verhältnis von 1:10 bei 5 bis 10 rpm für 24 h überkopf zu schütteln, die Probe 15 min bei 2'000 g zu zentrifugieren und den Überstand mit einem 0.45 µm Spritzenvorsatzfilter zu filtrieren. Im Filtrat werden die Konzentrationen der vier Testsubstanzen analysiert. Eine geringer Rückhalt ist ein Hinweis, dass das Material im Säulenversuch die Anforderungen nicht oder nur teilweise erfüllen wird.

b. *Identifikationskennwerte*

Für das zu testende Adsorbermaterial sind durch den Hersteller mindestens drei charakteristische Identifikationskennwerte zu hinterlegen und eine Rückstellprobe (mindestens 1 kg) der technischen Kommission des VSA abzugeben. Identifikationskennwerte können z.B. Glühverlust, Eisengehalt, Kalkgehalt, Körnungslinie oder andere Parameter sein, welche spezifisch für das Material sind.

¹ OECD (2000), *Test No. 106: Adsorption -- Desorption Using a Batch Equilibrium Method*, OECD Publishing, Paris.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264069602-en>

Die Adsorbermaterialien und weitere Materialien der Anlage (z.B. Umhüllungen der Adsorber) dürfen nachweislich keine problematischen Stoffe abgeben (z.B. Kupfer, Zink, Cadmium, Arsen, Blei, Nickel, PAK). Der Hersteller legt Testergebnisse vor, die beispielsweise nach DIN 19528² zur Bestimmung der Freisetzung von Stoffen aus dem Adsorbermaterial erarbeitet wurden.

4.2 Vorgehen

Der Labortest beruht auf einer mit Adsorbermaterial gefüllten Säule und umfasst drei Testabschnitte zum Stoffrückhalt und einem Testabschnitt zur Remobilisierung.

Das Adsorptionsverhalten von Zink, Kupfer, Diuron und MCPP in der Säule, beschrieben als Stoffrückhalt, wird durch die Stoffmenge im Zu- und Ablauf bestimmt (Abbildung 1). Die Beurteilung des Stoffrückhalts erfolgt in drei Klassen (rot, gelb, grün), jeweils für die Stoffe und Stoffgruppen. Erreicht die zurückgehaltene Stoffmenge $\leq 70\%$ (rot), wird die Durchführung des Feldtests für den jeweiligen Stoff oder die Stoffgruppe nicht empfohlen.

Bei der Remobilisierung wird der Einsatz von Auftausalz mit Natriumchlorid (NaCl) im Winter simuliert. Die Remobilisierung wird bei allen Adsorbermaterialien unabhängig von ihrem späteren Einsatzgebiet getestet.

a. Materialvorbereitung

Vom Adsorbermaterial sind 10 kg Material in einem Riffelteiler vorgängig zum Labortest zu homogenisieren. Eine weitere Probenvorbereitung, z. B. durch Sieben oder Mahlen, ist nicht vorgesehen, um die ursprüngliche Zusammensetzung und Oberfläche unverändert zu testen. Der Trockensubstanzgehalt des Materials wird gemäss EN 12880:2001-02³ und die Schüttdichte nach EN 1097-3:1998-06⁴ bestimmt und dokumentiert.

b. Versuchsaufbau

Die Komponenten des Säulenversuchs sollten aus Glas, HDPE oder Polypropylen bestehen, die Schläuche aus Teflon (Abbildung 1). Die Säule weist 170 mm Länge und 80 mm Innendurchmesser auf. Das lufttrockene Adsorbermaterial (+20°C) ist gemäss den Angaben des Herstellers einmalig wie folgt in die Glassäule einzubauen (von unten nach oben):

1. Glaswolle: 14 mm
2. Glasfritte: 3 mm Schichtdicke, Porengrösse 0.7 mm
3. Adsorbermaterial: 150 mm; Schüttdichte gemäss Herstellerangabe einhalten
4. Glasfritte: 3 mm Schichtdicke, Porengrösse 0.7 mm

Das Gewicht des eingesetzten Adsorbermaterials ist zu ermitteln, indem die Säule mit Glaswolle und -fritte vor und nach dem Befüllen gewogen wird (Gewichtsdifferenz). Das spezifische Vorgehen sollte mit dem Hersteller, bei möglichen Abweichungen vom Standardvorgehen mit der technischen Kommission des VSA, abgestimmt werden.

² DIN 19528: Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen.

³ DIN EN 12880:2001-02: Charakterisierung von Schlämmen - Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehalts.

⁴ DIN EN 1097-3:1998-06: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 3: Bestimmung von Schüttdichte und Hohlraumgehalt.

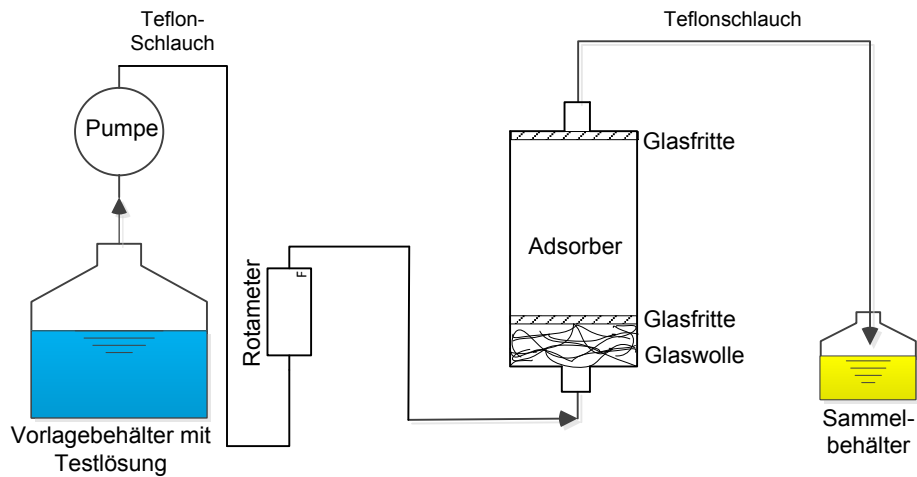


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Säulenversuchs.

c. Testlösungen

Vorzubereiten sind zwei verschiedene Testlösungen, eine für den Stoffrückhalt und eine für die Remobilisierung. Ein Schema zum Vorgehen ist in Abbildung 2 dargestellt.

Zur Bestimmung des Rückhalts werden für die 3 Testabschnitte jeweils 36 l Lösung mit jeweils 0.5 mg l^{-1} Kupfer, Zink, Diuron und MCPP benötigt. Über jeden Testabschnitt gelangen 18 mg pro Stoff ($36 \text{ l} \times 0.5 \text{ mg l}^{-1}$) und 54 mg für alle drei Testabschnitte auf das Adsorbiermaterial. Bei der Durchführung der Testabschnitte müssen der pH-Wert der Lösung durchgängig im Bereich $\text{pH } 6.0 \pm 0.2$ und die Hintergrundkonzentrationen von Kupfer und Zink im eingesetzten Wasser $< 5 \text{ } \mu\text{g/l}$ liegen.

Empfohlen wird, 120 l Testlösung in einem Behälter herzustellen (3 x 36 l Versuchslösung, 12 l Reserve). Dabei sind folgende Schritte einzuhalten und Abweichungen zur Chemikalien- und Salzqualität zu dokumentieren:

1. Vorlagebehälter mit 118 l Wasser füllen. Damit das Wasser $\text{pH } 6.0 \pm 0.2$ aufweist, ist wie folgt zu puffern (Leitfähigkeit ca. $830 \text{ } \mu\text{s/cm}$):
 - 118 l deionisiertes Wasser im Behälter vorlegen
 - 60 g Kaliumhydrogenkarbonat unter Rühren vollständig lösen
 - 11.88 g Natriumchlorid (NaCl) unter Rühren vollständig lösen
 - Mit Salzsäure (HCl) unter Rühren den pH auf 6.0 einstellen
2. 1 l Metall-Stammlösung mit Kupfer und Zink (je 60 mg/l) im Messkolben herstellen:
 - 500 ml deionisiertes Wasser im 1 l Messkolben (PP) vorlegen
 - 236 mg Kupfersulfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$) dazugeben und unter Rühren vollständig lösen
 - 264 mg Zinksulfat ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$) dazugeben und unter Rühren vollständig lösen
 - Auf 1 l mit deionisiertem Wasser auffüllen
3. 1 l Pestizid-Stammlösung mit Diuron und MCPP (je 60 mg/l) im Messkolben herstellen:
 - 100 ml Ethanol (Analysequalität) in einem 1 l Messkolben (Glas) vorlegen
 - 60 mg Diuron dazugeben und unter Rühren vollständig lösen

- 60 mg MCCP dazugeben und unter Rühren vollständig lösen
- Auf 1 l mit deionisiertem Wasser auffüllen

Die Testlösung mit den Metall- und Pestizid-Stammlösungen ist wie folgt vorzubereiten.

1. Metall-Stammlösung (1 l, je 60 mg/l Kupfer und Zink) unter Rühren zu den 118 l Wasser im Vorlagebehälter geben
2. 20 min rühren
3. Pestizid-Stammlösung (1 l je 60 mg/l Diuron und MCP) unter Rühren zu den 119 l Schwermetalllösung im Vorlagebehälter geben
4. 20 min rühren
5. pH-Wert überprüfen und ggf. auf $\text{pH } 6.0 \pm 0.2$ nachjustieren

Die effektiven Konzentrationen von Kupfer, Zink, Diuron und MCP in der Testlösung sind analytisch nachzuweisen (Referenzprobe). Bei den Metallen sind der gelöste Anteil (0.45 μm Filtration) und der Gesamtgehalt zu erfassen. Bei > 15 % Abweichung zwischen SOLL- und IST-Konzentration des jeweiligen Stoffes und/oder > 15 % Abweichung zwischen Gesamtgehalt und gelöstem Metallanteil sind die Versuche ungültig und sind zu wiederholen.

Die Remobilisierung der adsorbierten Zielsubstanzen wird mit 36 l Salzlösung bei einer Konzentration von 5.0 g l⁻¹ (NaCl) bestimmt. Dafür sind 200 g NaCl im 2 l Messkolben (Glas) einzuwiegen, mit deionisiertem Wasser aufzufüllen und in einen vorgängig mit 38 l deionisiertem Wasser befüllten Vorlagebehälter gründlich einzurühren.

d. Testdurchführung

Für die Bestimmung des Rückhalts werden 3 x 36 l Testlösung bei drei Geschwindigkeiten von unten nach oben durch die Säule gepumpt (Abbildung 2). Nach dem dritten Testabschnitt ist innerhalb von 16 h mit 8 Bettvolumen deionisiertem Wasser bei 0.075 l min⁻¹ Durchfluss zu spülen. Anschliessend beginnt der Testabschnitt zur Remobilisierung.

Der gesamte Laborversuch (Rückhalt und Remobilisierung) ist innerhalb von 3 Tagen mit dem gleichen Adsorbermaterial durchzuführen. Mit einer pulsationsarmen Pumpe (z. B. Fahrradpumpe) wird der Durchfluss eingestellt und der effektive Fluss kontrolliert (z. B. Rotameter). Das Vorgehen und die Filtergeschwindigkeiten sind in Abbildung 2 dargestellt. Im Folgenden werden die einzelnen Testabschnitte erläutert:

Konditionierung der Säule: Die befüllte Säule wird von unten nach oben mit deionisiertem Wasser gesättigt, sodass die Porenluft nach oben entweichen kann. Nach 4 h wird die Säule mit 8 Bettvolumen des Adsorbermaterials bei einem Durchfluss von 0.075 l min⁻¹ mit deionisiertem Wasser gespült.

1.-3. Testabschnitt (Rückhalt): Der 1. bis 3. Testabschnitt wird gemäss den Parametern in Abbildung 2 umgesetzt. Jede Sammelprobe pro Testabschnitt (je 36 Liter) wird separat aufgefangen. Der pH-Wert der Vorlagelösung ist vor jedem Testabschnitt zu auf 6.0 ± 0.2 zu justieren. Nach jedem Testabschnitt ist der pH-Wert der Testlösung zu dokumentieren.

4. Testabschnitt (Remobilisierung): Nach der Probenahme des Filtrates des 3. Testabschnittes wird die Säule mit 8 Bettvolumen deionisiertem Wasser von unten nach oben durchströmt gespült. Anschliessend wird der 4. Testabschnitt (Remobilisierung) mit den Parametern aus Abbildung 2 gestartet. Der Versuchsablauf und die Probenahme sind analog zum Vorgehen bei den Testabschnitten 1 bis 3.

Während der gesamten Versuchsdurchführung ist darauf zu achten, dass in die Adsorbersäule keine Luft eingebracht wird, da hierdurch die Ergebnisse verfälscht werden können. Während der Versuchsdurchführung ist der Durchfluss zu überprüfen und ggf. anzupassen. Der pH Wert ist vor und nach der Säule jeweils zu dokumentieren.

Aus dem Vorgehen ergeben sich 4 Sammelproben (Abbildung 1). Aus den 4 Sammelproben sind nach guter Durchmischung je 2 x 250 ml Aliquote (Glas) zu entnehmen. Die Aliquote und die Referenzprobe sind durch ein beauftragtes Labor innerhalb von 5 Tagen auf die vier Stoffe (Kupfer, Zink, Diuron, MCPP) chemisch zu analysieren. Bis zur Analyse sind die Proben im Kühlschrank (+4°C) zu lagern sowie weitere 250 ml bis zum Erhalt der Ergebnisse aufzubewahren (Rückstellprobe).

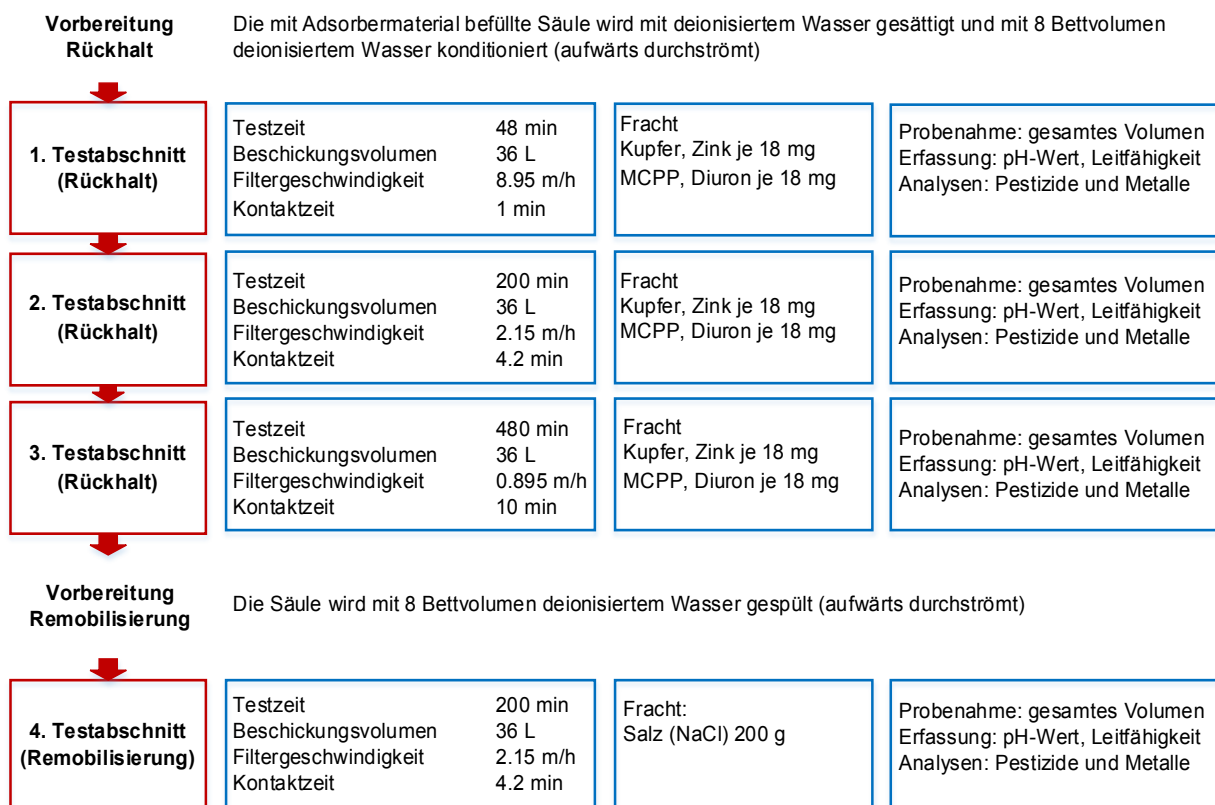


Abbildung 2: Übersicht zum Vorgehen im Labor zur Bestimmung des Rückhalts und der Remobilisierung.

4.3 Auswertung

a. Trockensubstanzgehalt

Bestimmung des Trockensubstanzgehalts in Prozent (TS %):

$$\text{Trockensubstanzgehalt } TS [\%] = \frac{\text{getrocknetes Adsorbermaterial [g]}}{\text{frisches Adsorbermaterial [g]}} * 100 [\%]$$

b. Masse des Adsorbermaterials

Masse des in der Säule eingesetzten frischen Adsorbermaterials (g; wie angeliefert) sowie des berechneten getrockneten Adsorbermaterials:

$$\text{frisches Adsorbermaterial}_{\text{Säule}} [g] = \text{Säule}_{\text{mit Adsorber}} [g] - \text{Säule}_{\text{ohne Adsorber}} [g]$$

$$\text{getrocknetes Adsorbiermaterial}_{\text{säule}} [g] = \frac{\text{frisches Adsorbiermaterial} [g] * TS [\%]}{100 [\%]}$$

c. Stoffrückhalt

Der Rückhalt (stoffspezifische Wirkungsgrad) wird anhand der analytisch nachgewiesenen Konzentration in der Testlösung (C_{Zu}) und der Abflusskonzentration (C_{Ab}), d.h. der Konzentration im Eluat, je Teilprobe berechnet:

$$\text{Stoffspezifischer Wirkungsgrad } \eta_{\text{Stoff}} [\%] = \frac{C_{Zu} [mg/L] - C_{Ab} [mg/L]}{C_{Zu} [mg/L]} * 100 [\%]$$

C_{Zu}	Konzentration im Zufluss ($mg\ l^{-1}$)
C_{Ab}	Konzentration im Abfluss ($mg\ l^{-1}$)
η_{Stoff}	stoffspezifischer Wirkungsgrad (%)

d. Zurückgehaltene Stoffmenge

Die zurückgehaltene Fracht wird für jeden Stoff pro Teilabschnitt auf Grundlage der bekannten Zuflussfracht (Testlösung) sowie ermittelten Abflussfracht berechnet.

$$\text{Fracht}_{Zu} [mg] = 36 [L] * C_{Zu} [mg/L]$$

$$\text{Fracht}_{Ab} [mg] = 36 [L] * C_{Ab} [mg/L]$$

$$\text{Fracht}_{Ads} [mg] = \text{Fracht}_{Zu} [mg] - \text{Fracht}_{Ab} [mg]$$

Fracht_{Zu}	Fracht im Zufluss (mg)
Fracht_{Ab}	Fracht im Abfluss (mg)
36 L	getestetes Volumen (L)
C_{Ab}	Konzentration im Abfluss ($mg\ l^{-1}$)
Fracht_{Ads}	Zurückgehaltene Fracht (mg)

e. Beladung des Adsorbiermaterials

Für jedes Pestizid und Schwermetall wird die Beladung pro Gramm Adsorbiermaterial berechnet.

$$\text{Beladung} [mg/g] = \frac{\text{Fracht}_{Ads} [mg]}{\text{Adsorbiermaterial}_{\text{trocken}} [g]}$$

f. Remobilisierung

Die Remobilisierbarkeit der adsorbierten Stoffe in Prozent (%) wird aus der Ausgangsbeladung pro Stoff und den remobilisierten Mengen in Prozent (%) wie folgt berechnet:

$$\text{Fracht}_{Rem} [mg] = 36 [L] * C_{Ab} [mg/L]$$

$$\eta_{Rem} [\%] = \frac{\text{Fracht}_{Rem} [mg]}{\text{Fracht}_{Ads} [mg]} * 100 [\%]$$

Fracht_{Rem}	Remobilisierte Fracht (mg)
Fracht_{Ads}	Adsorbierte Fracht (mg)
η_{Rem}	Stoffrückhalt bei Remobilisierung (%)

Die Beladung des Adsorbiermaterials mit Metallen und Pestiziden wird auf 100% gesetzt. Die remobilisierte Menge wird auf den zurückgehaltenen Anteil normiert, welcher bewertungsrelevant ist.

4.4 Beurteilung des Labortests

Die Erfüllung der Anforderungen wird durch drei Leistungsklassen für die beiden Metalle und Pestizide abgebildet, die durch die Farben grün, gelb und rot repräsentiert und über ein Punktesystem vergeben werden (Tabelle unten).

Rückhalt	Metalle						Pestizide							
	Kupfer			Zink			Mecoprop			Diuron				
1. Testabschnitt														
2. Testabschnitt														
3. Testabschnitt														
Summe Stoffe	<input type="checkbox"/>			+	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>			+	<input type="checkbox"/>		
Gesamtpunktzahl (Gesamtbeurteilung)	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>							

Für die Substanzgruppen „Metalle“ und „Pestizide“ sind jeweils die Gesamtpunktzahl zu berechnen. Die Punktevergabe für die drei Anforderungsklassen ist folgende:

- 1 Punkt: $\geq 90\%$ Rückhalt, grün
- 0.5 Punkte: $< 90\%$ und $\geq 70\%$ Rückhalt, gelb
- 0 Punkte: $< 70\%$ Rückhalt, rot

Durch Addition der Einzelpunkte ergibt sich die Gesamtpunktzahl (Tabelle unten). Bei maximaler Gesamtpunktzahl (6 = 3 Punkte x 2 Stoffe) ist die Anforderung „Erhöht“ voll erfüllt.

Farbe	Punktzahl	Rückhalt Metalle / Pestizide	Anforderungen Metalle / Pestizide
	5 – 6	$\geq 90\%$	Erhöht: Die hohe potentielle Rückhalteleistung zeigt an, dass solche Materialien für den Feldtest sehr geeignet sind.
	2 – 4.5	< 90 bis $\geq 70\%$	Standard: Die Dimensionierung und Betriebsweise beeinflussen die effektive Leistungsfähigkeit im Feld.
	≤ 1.5	$< 70\%$	Anforderungen nicht erfüllt: Die Durchführung des Feldtests wird nicht empfohlen.

Beim Remobilisierungstest bedeuten „grün“ $\leq 10\%$ Remobilisierung der adsorbierten Fracht und „rot“ $> 10\%$ Remobilisierung. Bei $> 10\%$ Remobilisierung ist der gesamte Labortest für die jeweilige Stoffgruppe (Metalle, Pestizide) mit „rot“ einzustufen und das Material erfüllt nicht die Anforderungen. Der Labortest für die entsprechende Stoffgruppe gilt als gesamthaft nicht bestanden.

Ist das Material gemäss Hersteller ausschliesslich für die Behandlung von Dach- und Fassadenwasser vorgesehen, kann auf die Beurteilung der Remobilisierung verzichtet werden. Diese Anwendungseinschränkung ist zu dokumentieren (Kapitel 6, Gesamtbeurteilung der Adsorberanlage: Vermerk „nicht getestet“).

5. Feldtest

Der Feldtest ist an zwei gleichartigen Anlagen mit dem gleichen Adsorbiermaterial wie aus dem Labortest durchzuführen. Die zu ermittelnde Gesamtreinigungsleistung der Behandlungsanlage wird durch den hydraulischen Wirkungsgrad (η_{hyd}) und stoffspezifischen Wirkungsgrad (η_{Stoff}) beschrieben. Das Vorgehen zum Messzeitraum, der Probenahme und Frachtbilanzierung beruht auf dem ASTRA-Merkblatt „Leistungsprüfung neuer Verfahren“ [10]. Der Test ist für Anlagentypen mit und ohne Entlastung anwendbar, dieser aber eindeutig zu beschreiben.

Der Feldtest ist durch eine Institution mit entsprechender Qualifikation, die chemischen Analysen von einem akkreditierten Labor durchzuführen. Um den Fortschritt und die Qualität der Feldtests zu begleiten, sind Quartalsberichte der technischen Kommission des VSA zuzustellen.

5.1 Anlagenstandorte

Die Hersteller schlagen zwei Anlagenstandorte in der Schweiz, Deutschland, Österreich oder Liechtenstein vor, die mit der technischen Kommission des VSA vorgängig abzustimmen sind. Für die Abstimmung sind technische Informationen zum Anlagentyp, der Anschlussfläche, Hinweise zur erwarteten stofflichen Belastung sowie der in Kapitel **Error! Reference source not found.** vorgestellte Erfassungsbogen vorzulegen. Die Teststandorte müssen auf Nachfrage zugänglich sein. Folgende Rahmenbedingungen sind darüber hinaus zu beachten:

- *Einsatzbereich:* Der Hersteller legt den Einsatzbereich der Anlage fest. Universell einsetzbare Systeme sind an einem Standort mit reinem Strasseneinzugsgebiet und einem zweiten mit gebäudelastigen Einzugsgebiet (z.B. mit Metaldach) umzusetzen. Damit eine Anlage für den Einsatz von mittel und hoch belastetem Strassenabwasser empfohlen wird, muss an einer solchen Strasse getestet werden.
- *Schmutzwasserweiche:* Die technische Kommission des VSA ist zu kontaktieren, wenn Anlagenkonfigurationen mit Schmutzwasserweichen (Bypass), die auf eine Pulsbehandlung ausgelegt sind („Behandlung vom „first flush“), getestet werden sollen.
- *Einzugsgebiet:* Für jede Anlage sind die abgrenzbare abflusswirksame Einzugsgebietsfläche, die erwarteten Wassermengen und die stofflichen Belastungen, welche in der Regel die Dimensionierungsgrundlage für die technischen Anlagen darstellen, zu dokumentieren. Die Anlagen sind ohne Fremdwasserzufluss zu betreiben.
- *Vorabklärung:* Empfohlen wird, vor Testbeginn die stoffliche Belastung im Niederschlagswasser analytisch abzuklären. Ungereimtheiten sind mit der technischen Kommission des VSA abzustimmen.
- *Stoffauswahl:* Der Hersteller entscheidet, welche Stoffgruppen (GUS, Metalle, Pestizide) auf dem jeweiligen Anlagentyp geprüft werden sollen. An beiden Standorten müssen die gleichen Stoffgruppen nachgewiesen werden. Nur für die festgelegten Stoffgruppen gilt das Prüfergebnis.
- *Zuflusskonzentration:* Die Konzentrationen im Zufluss zur Anlage sollen in der Mehrzahl der analysierten Sammelproben in rund 10-fach erhöhter Konzentration gegenüber den numerischen Anforderungen für Oberflächengewässer vorliegen (GSchV: Gesamtgehalt Zink $20 \mu\text{g l}^{-1}$, Kupfer $5 \mu\text{g l}^{-1}$ und Pestizide $0.1 \mu\text{g l}^{-1}$), in jedem Fall in rund 10-fach höherer Konzentration als die Bestimmungsgrenzen.

- *Adsorbiermaterial:* Spätestens 6 Monate nach Einbau des Adsorbiermaterials ist mit der Leistungsprüfung zu beginnen und eine Rückstellprobe (mindestens 1 kg) von jeder Anlage an die technische Kommission des VSA abzugeben.
- *Tausalz:* Abzuklären ist, ob das Niederschlagswasser über Flächen fließt, die im Winter mit Tausalz (Menge und Art des Tausalzes) freigehalten werden. Der Tausalzeinsatz ist tagesgenau zu dokumentieren.
- *Niederschlag:* Im Umkreis von < 5 km soll eine Niederschlagsmessung verfügbar sein, die die Niederschlagshöhe im 10 min Intervall kontinuierlich aufzeichnet.

5.2 Messkampagne

Der Feldtest erfolgt über mindestens 1 Jahr und sollte bevorzugt im Frühling beginnen. Die hydraulischen Messdaten werden kontinuierlich erfasst und Sammelprouben über die gesamte Zeitspanne entnommen. Eine mögliche Anlagenkonfiguration und Anordnung der Mess- und Probenahmegeräte ist in Abbildung 3 dargestellt. Bei anderen Systemen, z.B. Rinnensystemen, sind neben der Einstauhöhe über dem Substrat keine weiteren Retentionsvolumina vorhanden. Die Durchflussmessung und Probenahmen sind für jede Anlage nachvollziehbar zu dokumentieren (Kapitel 8.2).

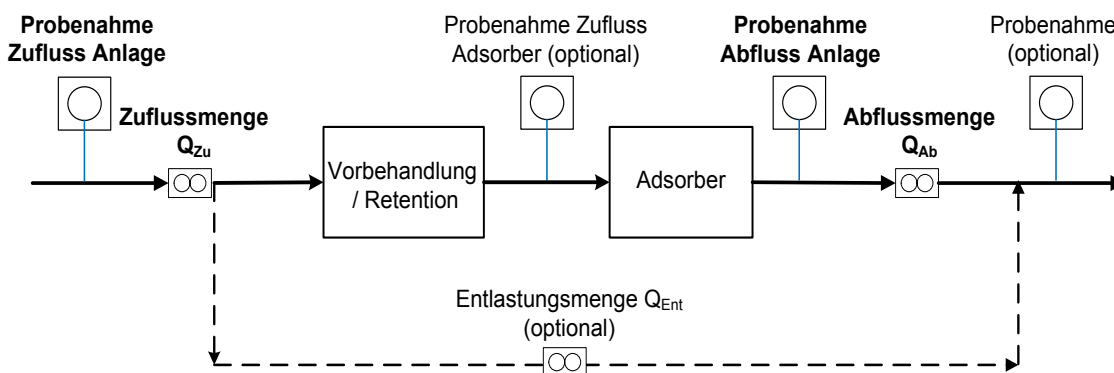


Abbildung 3: Schema zur möglichen Installation der Mess- und Probenahmegeräte in einer Anlage mit Vorbehandlung (Grobabscheidung), Retention und Adsorbierbehandlung. Andere Anlagentypen sind davon abweichend zu instrumentieren. Bei Rinnensystemen sind die Installationen an die baulichen Möglichkeiten anzupassen.

a. Durchflussmessung

Die kontinuierliche Durchflussmessung (1 min Intervall) zur Bestimmung des hydraulischen Wirkungsgrads erfolgt in der Regel im Zufluss vor der Retention und im Abfluss nach dem Adsorber (Abbildung 3). Der Gesamtzufluss wird vor der Entlastung und im Abfluss die gesamte behandelte Abwassermenge erfasst. Die kontinuierliche Zuflussmessung über die Fläche einer Rinnenlänge (z.B. 20 m Rinne) ist schwierig zu gestalten, sodass im Vorwege der Leistungsprüfung mit der technischen Kommission des VSA das Vorgehen abzustimmen ist.

Die technischen Voraussetzungen für die Messtechnik sind einzurichten. Das eingesetzte Messverfahren (z.B. Venturi, Druck-, MID-, Ultraschall-, Doppler-, Radarsonden) muss eine hohe Messgenauigkeit sicherstellen. Soll auch die Entlastungsmenge oder der durch eine Schmutzwasserweiche (handelsübliches Bauteil) abgetrennte nicht verschmutzte Wasseranteil bestimmt werden, ist mit der technischen Kommission Rücksprache zu halten. Die Anlage ist

auf unplanmässigen Rückstau durch den Adsorber zu kontrollieren. Die Resultate sind grafisch über die Versuchsdauer darzustellen.

Die kontinuierliche Messung von Trübung, Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit im Zu- und Abfluss sind optional vorgesehen.

b. Probenahme

Sammelproben über die gesamte Zeitspanne sollen jahreszeitliche Schwankungen abdecken und auf einen Jahresmittelwert schliessen lassen [10]. Die Probenahme zur Bestimmung des stoffspezifischen Gesamtwirkungsgrads sind im Zu- und Abfluss der Behandlung durchzuführen (Abbildung 3). Weitere Probenahmen sind vor dem Adsorber und nach der Vereinigung von Abfluss und Entlastung möglich, insbesondere wenn der Rückhalt der gelösten Stofffraktion vertieft nachgewiesen werden soll.

Der Probenehmer im Zulaufbauwerk wird mit der Zuflussmessung gekoppelt. Des Weiteren muss gewährleistet sein, dass die entnommene Probenmenge gleich bleibend proportional zu den Zu- und Abflussmengen verlaufen. Die Proben werden in einem 10 l Sammelbehälter gefasst, welcher alle 2 Wochen gewechselt wird [10]. Im Durchschnitt sollten mindestens 5 l pro Sammelprobe erfasst und die Einstellungen während des gesamten Tests nicht verändert werden. Die mengenproportionalen Sammelproben können mehrere Abflussereignisse umfassen. Die Abflussereignisse sollen die Niederschlagscharakteristik widerspiegeln, insbesondere kurze und intensive Regenereignisse, aber auch lange mit geringerer Intensität abdecken.

Über die gesamte Testdauer sind 12 bis 24 Mischproben gleichmässig über ein Jahr verteilt zu analysieren, die mindestens 40 % der Jahresabflussmenge des Einzugsgebiets abdecken. Die Versuchsdauer ist zu verlängern, wenn die Mindestanzahl von Proben innerhalb eines Jahres nicht vorliegt. Zum Beispiel resultieren bei einer Jahreszuflussmenge von 60'000 m³ und Entnahmemenge pro Einzelprobe von 100 ml, ein Entnahmeintervall von 50 m³ pro Einzelprobe sowie 24 Sammelproben im Zu- und Abfluss [10].

Wird die Anlage nur für GUS- und Metallrückhalt eingesetzt, kann auf gekühlte Probenehmer verzichtet werden. Wird der Rückhalt auch von Pestiziden erfasst, sind gekühlte Probenehmer einzusetzen und die Proben innerhalb von 24 h nach der letzten Probenahme zu entnehmen.

Das beauftragte Labor bekommt die gesamte Probenmenge. Proben für die Analysen auf Metalle werden angesäuert und ungekühlt in Kunststoffflaschen und für Pestizide im Kühlschrank (+4°C) in Glasflaschen aufbewahrt. Das Restvolumen ist für die weiteren Parameter kühl gelagert vorzuhalten. Die chemischen Analysen sind innerhalb von 5 Tagen nach der Entnahme durchzuführen.

c. Chemische Analysen

In sämtlichen Proben sind die elektrische Leitfähigkeit und der pH-Wert zu bestimmen. Die Parameter GUS, die Gesamtgehalte Zink und Kupfer, die Konzentrationen von zwei Pestiziden, bevorzugt Diuron und MCP, werden in Abstimmung mit dem Hersteller analysiert. In 50 % aller Abflussproben wird auch der gelöste Anteil der Metalle (< 0.45 µm) bestimmt, um das Verhältnis von Gesamtgehalt zu gelöster Fraktion für die ausgewählten Proben zu ermitteln.

Aus der Liste von mobilitätsgleichen Pestiziden kann jeweils eine Alternative für Diuron und MCP, ggf. in Abstimmung mit der technischen Kommission des VSA auch weitere organische Pestizide, gewählt werden (Kapitel 8.4, Testsubstanzen).

In begründeten Fällen kann auf GUS verzichtet werden, z.B. bei Metalldach- oder Fassadenabflüssen. Dies ist in der Gesamtbeurteilung zu dokumentieren.

5.3 Bilanzierung der hydraulischen Leistung

Der hydraulische Wirkungsgrad der Anlagen muss ≥ 90 % betragen, damit wenig Wasser unbehandelt in Gewässer gelangt. Wird der hydraulische Wirkungsgrad nicht erreicht, erfüllt die Anlage in der Regel sämtliche Anforderungen nicht.

a. Hydraulischer Wirkungsgrad

Zur Berechnung des hydraulischen Wirkungsgrades η_{hyd} (%) werden die zugeflossenen und behandelten Wassermengen über die gesamte Zeitdauer des Feldtests (Messperiode) benötigt [10].

$$\text{Hydraulischer Wirkungsgrad } \eta_{\text{hydr}} [\%] = \frac{Q_{\text{Ab}} [\text{m}^3/\text{Jahr}]}{Q_{\text{Zu}} [\text{m}^3/\text{Jahr}]} * 100$$

η_{hyd}	Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} (%)
Q_{Zu}	Gesamthaft zugeflossene Wassermenge in m^3 auf 365 Tage umgerechnet (m^3/Jahr)
Q_{Ab}	Gesamthaft behandelte Wassermenge in m^3 auf 365 Tage umgerechnet (m^3/Jahr)

b. Hydraulische Entlastung

Die hydraulische Entlastung der Anlage η_{ent} (%) wird über die insgesamt entlastete Wassermenge errechnet [10]. Bei der Bilanzierung der Wasserflüsse bleiben mögliche Verdunstungsverluste unberücksichtigt.

$$\text{Hydraulische Entlastung } \eta_{\text{ent}} [\%] = \frac{Q_{\text{Ent}} [\text{m}^3/\text{Jahr}]}{Q_{\text{Zu}} [\text{m}^3/\text{Jahr}]} * 100$$

η_{ent}	Hydraulische Entlastung η_{ent} (%)
Q_{Ent}	Gesamthaft entlastete Wassermenge in m^3 auf 365 Tage umgerechnet (m^3/Jahr)

5.4 Bilanzierung der Stoffe

Der stoffliche Wirkungsgrad wird für GUS, den Gesamtgehalt der Metalle und die Pestizide separat berechnet und bewertet. Das Vorgehen der Stoffbilanzierung orientiert sich am ASTRA-Merkblatt zur Leistungsprüfung [10]. Davon abweichend wird der stoffliche Wirkungsgrad für jeden Stoff pro Anlagenstandort separat bestimmt.

a. Schadstofffrachten

Die Schadstofffrachten errechnen sich aus den Abwassermengen pro Probe und den Konzentrationen in den einzelnen Sammelproben. Basis sind mindestens 12 analysierte Mischproben. Die Produkte werden über die gesamte Messperiode der Überprüfung jeweils für GUS, Kupfer, Zink und die Pestizide summiert.

$$\text{Schadstofffracht } L [g] = \sum_{k=1}^n C_k [\text{mg}/L] * V_k [\text{m}^3]$$

n	Anzahl Messungen der gesamten Messperiode
C_k	Konzentration der Sammelprobe der Zeitperiode k (mg/L)
V_k	Wassermenge während der Zeitperiode k (m^3)
k	Zeitperiode

In der Dokumentation der Anlage werden die Schadstofffrachten für den Zufluss und den Abfluss in normalisierter Form aufgeführt. Die Ergebnisse für jeden Parameter werden beispielsweise in „g für die gesamte Messperiode“ oder „g pro Jahr und Fläche“ umgerechnet.

b. Stoffspezifischer Wirkungsgrad der Anlage

Für GUS, Kupfer, Zink und jedes Pestizid wird ein stoffspezifischer Stoffrückhalt aus den Frachten im Zufluss und Abfluss berechnet. Der frachtgemittelte stoffspezifische Wirkungsgrad η_{Stoff} der Anlage beschreibt die Leistung in Bezug auf die Schadstoffentfernung. Zur Berechnung des Wirkungsgrades werden die jährlichen Schadstofffrachten benötigt. Für die Berechnung der Schadstofffracht im Zufluss $L_{(\text{Zufluss})}$ werden die Mess- und Analysendaten im Zufluss, die Fracht im Abfluss $L_{(\text{Abfluss})}$ aus den Mess- und Analysendaten im Abfluss berechnet. Die Schadstofffracht der Entlastung $L_{(\text{Entlastung})}$ errechnet sich aus den Zuflusskonzentrationen und entlasteten Abwassermengen.

$$\text{Stoffspezifischer Wirkungsgrad } \eta_{\text{Stoff}} [\%] = \frac{L_{(\text{Zufluss})} - L_{(\text{Entlastung})} - L_{(\text{Abfluss})}}{L_{(\text{Zufluss})} - L_{(\text{Entlastung})}} * 100$$

c. Gesamtwirkungsgrad des Entwässerungssystems

Der Gesamtwirkungsgrad des Entwässerungssystems η_{total} beschreibt die Leistung des gesamten Systems in Bezug auf die Schadstoffentfernung. Zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrades werden die jährlichen Schadstofffrachten benötigt. Zurückgehaltene Schadstofffrachten in vorgelagerten Becken werden in $L_{(\text{Zufluss})}$ miteingerechnet.

$$\text{Gesamtwirkungsgrad } \eta_{\text{total}} [\%] = \frac{L_{(\text{Zufluss})} - L_{(\text{Entlastung})} - L_{(\text{Abfluss})}}{L_{(\text{Zufluss})}} * 100$$

5.5 Beurteilung der Adsorberanlagen

a. Hydraulischer Wirkungsgrad

Der hydraulische Wirkungsgrad wird aus zugeflossener und behandelter Wassermenge von Testanfang bis –ende berechnet und muss $\geq 90\%$ erreichen. Dann sind uneingeschränkt die Voraussetzungen für die Bewertung des stofflichen Wirkungsgrads erfüllt. Beträgt die Veränderung der hydraulischen Leistung $\leq 10\%$, ist die Anlage insbesondere für die Behandlung von GUS-haltigem Abwasser geeignet.

Bei zwei unterschiedlichen hydraulischen Wirkungsgraden für den gleichen Anlagentyp – im einen Feldtest $> 90\%$ und im anderen $< 90\%$ – oder Anlagen mit dynamischer Abscheidung (z. B. first-flush Behandlung) entscheidet die technische Kommission des VSA, wie die Ergebnisse in die Gesamtbeurteilung einfließen.































Anlagen $< 90\%$ hydraulischem Wirkungsgrad erfüllen nicht die Anforderungen. Damit gilt in der Regel der gesamte Feldtest als nicht bestanden und der Anlagentyp wird nicht empfohlen.

Der Ausschluss von Anlagen aus der Bewertung wird in begründeten Fällen auf Antrag des Herstellers von der technischen Kommission des VSA individuell geprüft, beispielsweise wenn die Messkampagne verlängert werden soll, weil aufgrund von ausserordentlichen Ereignissen (Extremereignisse) der hydraulische Wirkungsgrad nicht erreicht wurde.

a. Stofflicher Wirkungsgrad

Für Gesamtbeurteilung der getesteten Anlagen sind die frachtgemittelten Wirkungsgrade für die Stoffgruppen GUS, Metalle und Pestizide zu bewerten, sofern die Stoffgruppen vom Hersteller

für die Bewertung gewünscht sind. Für beide Anlagen ist dafür die Gesamtpunktzahl durch Addition von Einzelpunkten je Stoffgruppe zu berechnen (Tabelle unten).




Feldtest	GUS	Metalle		Pestizide	
		Kupfer	Zink	Mecoprop	Diuron
1. Anlage	  	  	  	  	  
2. Anlage	  	  	  	  	  
Summe Stoffe		<input type="text"/> + <input type="text"/>		<input type="text"/> + <input type="text"/>	
Gesamtpunktzahl (Gesamtbeurteilung)	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	

Die Punktevergabe ist folgende:

- 1 Punkt: $\geq 90\%$ Rückhalt, grün
- 0.5 Punkte: $< 90\%$ und $\geq 70\%$ Rückhalt, gelb (GUS $\geq 80\%$)
- 0 Punkte: $< 70\%$ Rückhalt, rot (GUS $< 80\%$)

Bei maximaler Gesamtpunktzahl (GUS 2 Punkte; Metalle und Pestizide je 4 Punkte) ist die Anforderung „Erhöht“ voll erfüllt (Tabelle unten). Zum Erreichen der Anforderung „Standard“ sind pro Stoffgruppe stets stoffliche Wirkungsgrade $\geq 70\%$ (GUS $\geq 80\%$) zu erreichen. Rote Klassierungen führen zur nächsttieferen Anforderung in der Gesamtbeurteilung.

Anlagen mit mindestens einem stofflichen Wirkungsgrad „Standard“ ($\geq 80\%$ GUS bzw. $\geq 70\%$ Metalle und Pestizide) werden für die Behandlung von Niederschlagswasser für die Praxis empfohlen.

Farbe	Punkte GUS	Punkte Metalle / Pestizide	Rückhalt	Anforderungen Metalle / Pestizide
	1.5 – 2	3.5 – 4	$\geq 90\%$	Erhöht: Die Anlagen werden uneingeschränkt empfohlen.
	1	2 – 3	$\geq 70\%$ bis $< 90\%$ (GUS $\geq 80\%$)	Standard: Die Anlagen sind bei guter Planung und Betrieb empfehlenswert.
	≤ 0.5	≤ 1	$< 70\%$ (GUS $< 80\%$)	Anforderungen nicht erfüllt: Die Anlagen sind nicht empfehlenswert.

6. Gesamtbeurteilung der Adsorberanlage

VSA-Stammdatenblatt

Hersteller	Name Anschrift	Ansprechpartner Datum Zulassung	Name Datum
Anlagentyp	Produktbezeichnung, Identifikations-Nummer		
Verfahrensprinzipien	Sedimentation, Hydrozyklon, Fällung, Flächen-/Raumfiltration, Adsorption		
Einsatzbereich	Strasse, Metallfläche, Liegenschaften etc.		

Labortest

Der ermittelte Stoffrückhalt dient der Materialcharakterisierung.

- pH-Werte in Eluaten: z.B. 8, 7.6, 7.9
- Remobilisierung < 10 % der adsorbierten Stoffmenge: Ja, nein

Stoffgruppe	Anforderung	Rückhalt [%]	Remobilisierung [%]
Metalle	z.B. Standard, gelb	z.B. 80 %	z.B. 8 %
Pestizide	z.B. Erhöht, grün	z.B. 95 %	z.B. 6 %

Feldtest

Der stoffliche Wirkungsgrad (Rückhalt) ist für die Einstufung der Anforderungen entscheidend.

Stoffgruppe	Anforderung	Rückhalt [%]	nicht geprüft
GUS	z.B. Standard, gelb	z.B. 85 %	-
Metalle	z.B. Erhöht, grün	z.B. 95 %	-
Pestizide	-	-	X

Bemerkungen

(Hinweise zur Leistungsbeurteilung, zum Anwendungsbereich, Einsatz einer Schmutzwasserweiche, Betriebserfahrungen)

7. Literatur

- [1] Schweizer Bundesrat: Verordnung über das Inverkehrbringen von und den Umgang mit Biozidprodukten (VBP). 18. Mai 2005, Stand am 1. Oktober 2016.
- [2] Schweizer Bundesrat: Verordnung über Pflanzenschutz (PSV). 27. Oktober 2010, Stand am 1. Januar 2017.
- [3] Schweizer Bundesrat: Gewässerschutzverordnung (GSchV). 28. Oktober 1998, Stand am 1. Februar 2017.
- [4] Wicke, D., Matzinger, A., Sonnenberg, H., Caradot, H., Schubert, R.-L., Rouault, P., Heinzmann, B., Dünnbier, U., von Seggern, D. (2017): Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, 5:394-404.
- [5] Clara, M., Gruber, G., Humer, F., Hofer, T., Kretschmer, F., Ertl, T., Scheffknecht, C., Windhofer, G. (2014): Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- [6] Braun, C., Gälli, R., Leu, C., Munz, N., Schindler Wildhaber, Y., Strahm, I. Wittmer, I. (2015): Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen. Situationsanalyse. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1514: 78 S.
- [7] Wittmer, I. K., Scheidegger, R., Bader, H.-P., Singer, H., Stamm, C. (2011): Loss rates of urban biocides can exceed those of agricultural pesticides. Science of the Total Environment 409:920–932.
- [8] Huber, M.; Welker, A.; Helmreich, B., „Einführung in die dezentrale Niederschlagswasserbehandlung für Verkehrsflächen- und Metalldachabflüsse: Schacht-/ Kompaktsysteme, Rinnensysteme, Straßeneinläufe und Flächenbeläge“, Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität München, 2015, Band 213, ISSN 0942-914X, 98 Seiten.
- [9] DIBt (2011): Zulassungsgrundsätze - Niederschlagswasserbehandlungsanlagen, Teil 1: Anlagen zum Anschluss an Kfz-Verkehrsflächen bis 2000 m² und Behandlung des Abwassers zur anschliessenden Versickerung in Boden und Grundwasser. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.
- [10] ASTRA (2016): Leistungsprüfung neuer Verfahren. Bundesamt für Strassen, Bern.

8. Anhang

8.1 Dokumentation der Labortestresultate

Auftraggeber: Hersteller Auftragsnummer: [Type text]

Probeneingang im Labor: [Type text] Probennummer: [Type text]

Art des Adsorbermaterials: [Type text]

Einsatzbereich des Adsorbermaterials: [Type text]

Abweichungen oder Besonderheiten und Begründung:

		C_{Zu} [mg l ⁻¹]	C_{Ab} [mg l ⁻¹]	η_{Stoff}, η_{Rem} [%]	Mittel η_{Stoff} [%]	Beladung [mg/g]	Mittel Beladung [mg/g]	pH	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu S\ cm^{-1}$]
Kupfer	1. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	2. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	3. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	4. Teilabschnitt (Remobilisierung)								
Zink	1. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	2. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	3. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	4. Teilabschnitt (Remobilisierung)								
MCPP	1. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	2. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	3. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	4. Teilabschnitt (Remobilisierung)								
Diuron	1. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	2. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	3. Teilabschnitt (Rückhalt)								
	4. Teilabschnitt (Remobilisierung)								

8.2 Bauliche und technische Charakterisierung der Anlage

Gemeinde	<input type="text"/>	Bauwerk-Nr.	<input type="text"/>
Strasse	<input type="text"/>	Haus-Nr.	<input type="text"/>
Ort, Land	<input type="text"/>	Baujahr	<input type="text"/>
Koordinaten	<input type="text"/> / <input type="text"/>	Inbetriebnahme [Datum]	<input type="text"/>

Adsorberanlage

Anlagenbezeichnung	<input type="text"/>
Herstellerfirma	<input type="text"/>
Dimensionierung durch Firma	<input type="text"/>
Einbau durch Firma	<input type="text"/>

Adsorbermaterial

Produktebezeichnung	<input type="text"/>				
Labortest Nr.	<input type="text"/>				
Feldtest Nr.	<input type="text"/>				
Materialtest bezüglich	<input type="checkbox"/> Kupfer	<input type="checkbox"/> Zink	<input type="checkbox"/> Mecoprop	<input type="checkbox"/> Diuron	<input type="checkbox"/> keine Angabe
Datum Einbau	<input type="text"/>				
geplante Standzeit	<input type="text"/> Jahre				
Datum Auswechslung	<input type="text"/>				
Bewilligung Nr.	<input type="text"/>	Bewilligung gültig bis Datum	<input type="text"/>		
Eingebaute Masse [kg]	<input type="text"/>	Angeströmter Flächenquerschnitt [m ²]	<input type="text"/>		

Adsorbermaterial eingebaut in

- Rinne
 Schacht
 Andere *
 keine Angabe

Anlage mit Schacht / Zugänglichkeit

Verschluss	<input type="checkbox"/> verschraubt	<input type="checkbox"/> nicht verschraubt	<input type="checkbox"/> keine Angabe
Beschriftung	<input type="checkbox"/> beschriftet	<input type="checkbox"/> nicht beschriftet	<input type="checkbox"/> keine Angabe
Wasserdichtheit	<input type="checkbox"/> wasserdicht	<input type="checkbox"/> nicht wasserdicht	<input type="checkbox"/> keine Angabe
Zugänglichkeit	<input type="checkbox"/> zugänglich	<input type="checkbox"/> unzugänglich	<input type="checkbox"/> keine Angabe
Saugwagen	<input type="checkbox"/> zugänglich	<input type="checkbox"/> unzugänglich	<input type="checkbox"/> keine Angabe

Mechanische Vorreinigung

- keine
 Schlamm-sammler (Sedimentation)
 Filter
 keine Angabe

Zuflussregelung

- keine
 Retention
 Andere *
 keine Angabe

Beprobung

- keine
 vor dem Adsorber
 nach dem Adsorber
 keine Angabe

Systementlastung (Notüberlauf)

- keine
 in Vorfluter
 in Mischwasserkanalisation
 keine Angabe
 interner Bypass
 oberflächlich ausmündend
 in Regenwasserkanalisation

Ableitung in

- Versickerung mit Bodenpassage
 Vorfluter (Direkteinleitung)
 keine Angabe
 Versickerung ohne Bodenpassage
 Mischwasserkanalisation

8.3 Dokumentation der Messkampagnenresultate pro Anlage

Jede Anlage ist gemäss Vorlage zu dokumentieren und um folgende Angaben zu ergänzen: Abflussganglinie, kumulativer Abfluss, Niederschlagsverteilung, kumulativer Niederschlag, Zufluss- und Abflussmengen sowie Probenahmestrategie (z.B. Probenvolumen je Abflussmenge).

Messzeitraum: [Type text] Jahresniederschlagsmenge: [Type text]

Adsorbermenge / angeschlossene Fläche: [Type text] [kg/m²]

Anzahl analysierter Mischproben (von Zu-/ Abfluss mindestens je 10 Proben pro Anlage): _____

Entlastungsereignisse während der Versuchsdauer: Nein Ja, Anzahl _____

Rückstauereignisse während der Versuchsdauer: Nein Ja, Anzahl _____

	Mischproben												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Zeitraum [Datum]													
Niederschlagsmenge pro Ereignis [mm]													
Anteil vom Jahresniederschlag [%]													
Volumen Zufluss [m ³]													
Volumen Abfluss [m ³]													
Abflussbeiwert [-]													

	Metalle		Pestizide		GUS
	Kupfer	Zink	Mecoprop	Diuron	
1. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : _____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Abflusskonzentration [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
2. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : _____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Abflusskonzentration [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
3. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : _____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Abflusskonzentration [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
4. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : _____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Abflusskonzentration [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					

	Metalle		Pestizide		GUS
	Kupfer	Zink	Mecoprop	Diuron	
5. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : ____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Abflusskonzentration [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
6. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : ____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Konzentration Abfluss [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
7. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : ____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Konzentration Abfluss [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
8. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : ____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Konzentration Abfluss [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
9. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : ____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Abflusskonzentration [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
10. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : ____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Abflusskonzentration [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
11. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : ____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Abflusskonzentration [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
12. Mischprobe (Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} : ____ %)					
Stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Abflusskonzentration [mg/l]					
Zurückgehaltene Fracht [mg]					
Mittlerer hydraulischer Wirkungsgrad über 12 Monate [%]					
Frachtgemittelter stoffspezifischer Wirkungsgrad [%]					
Mittlere Abflusskonzentration [mg/l]					
Mittlere zurückgehaltene Fracht [mg]					

8.4 Testsubstanzen

Im abfließenden Niederschlagswasser lassen sich häufig Kupfer, Zink, MCPP und Diuron nachweisen. Für alle vier Substanzen bestehen numerische Anforderungen für oberirdische Gewässer und Grundwasser in der GSchV. Kupfer und Zink können von Metallflächen, aus Korrosionsbeschichtungen und Biozidprodukten freigesetzt werden. Die Stoffe MCPP und Diuron werden als Herbizide auf Grünflächen und in Baumaterialien eingesetzt. MCPP ist eine polare Substanz und weist deshalb gegenüber Diuron eine bedeutend schlechtere Adsorptionsfähigkeit auf. Aufgrund des breiten Vorkommens, den unterschiedlichen Adsorptionseigenschaften und der guten Analysierbarkeit wurden Kupfer, Zink, MCPP und Diuron als Leitsubstanzen für Metalle bzw. organische Pestizide für die Leistungsprüfung ausgewählt. Die im Labortest verwendeten Pestizide können im Feldtest gegen andere Pestizide ersetzt werden, wenn Diuron und MCPP nicht nachweisbar sind. Die alternativen Pestizide sollen ähnliche Mobilitätseigenschaften aufweisen wie Diuron und/oder MCPP.

Eine Entscheidungshilfe liefert die nachfolgende Tabelle, in der die Pestizide in zwei Klassen eingeteilt sind. Stoffe der Mobilitätsklasse 1 adsorbieren tendenziell ähnlich gering wie MCPP, die Stoffe der Mobilitätsklasse 2 dagegen vergleichbar gut wie Diuron. Berücksichtigt wurden Pestizide, die durch langsamen Abbau gekennzeichnet sind (DT50 > 20 Tage), in Niederschlagswasser vorkommen können und gewässerrelevant sind. Benzotriazol ist eine weit verbreitete organische Mikroverunreinigung, die ebenfalls stellvertretend für MCPP erfasst werden kann, aber kein Pestizid darstellt.

Name	CAS	Wasserlöslichkeit [g l ⁻¹]	LogKow	Mobilitäts- Klasse
Benzotriazol	95-14-7	7	1.23	1
Carbendazim	10605-21-7	0.008	1.48	1
Dimethoate	60-51-5	38	0.70	1
Diuron	330-54-1	0.035	2.87	2
Isoproturon	34123-59-6	0.07	2.50	2
Mecoprop	16484-77-8	0.06	0.02	1
MCPB	94-81-5	0.044	1.32	1
Tebuconazol	107534-96-3	0.029	3.70	2
Terbutryn	886-50-0	0.025	3.74	2