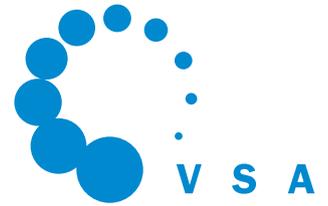


Verband Schweizer  
Abwasser- und  
Gewässerschutz-  
fachleute

Association suisse  
des professionnels  
de la protection  
des eaux

Associazione svizzera  
dei professionisti  
della protezione  
delle acque

Swiss Water  
Association



mit Unterstützung des BAFU

## VSA-LEISTUNGSPRÜFUNG FÜR BEHANDLUNGSANLAGEN

MERKBLATT «LEISTUNGSPRÜFUNG FÜR ADSORBERMATERIALIEN UND DEZENTRALE TECHNISCHE ANLAGEN ZUR BEHANDLUNG VON NIEDERSCHLAGSWASSER»



## Impressum

### Mitarbeit 1. Auflage 2019

Bigler, Roland, AWA, Bern  
Burkhardt, Michael (Leitung), OST, 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.

### Mitarbeit 2. Auflage 2023

Antener, Markus, ERZ, Zürich  
Burkhardt, Michael (Leitung), OST, Rapperswil  
Dürst, Marco, ACO, Netstal  
Hasler, Stefan, VSA, Glattbrugg  
Herren, Thomas, Rehau Vertriebs AG, Münsingen  
Keller, Fabian, OST, Rapperswil  
Lienhard, Martin, MALL, Donaueschingen  
Torrás-Piqué, Jorge, 3P Technik Filtersysteme, Bad Überkingen  
Patrick, Michael, OST, Rapperswil  
Thonüs, Martin, Creabeton, Rickenbach  
Töws, Rudolf, Funke Kunststoffe, Hamm-Uentrup  
Wollschläger, Andre, ACO, Netstal  
Zenker, Armin, ZHAW, Muttenz

### Herausgeber

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute  
Association suisse des professionnels de la protection des eaux  
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

### Titelfoto

Urs Matter, OST

### Bezugsquelle

VSA, Europastrasse 3, Postfach, CH-8152 Glattbrugg,  
Telefon 043 343 70 70, sekretariat@vsa.ch, www.vsa.ch

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	4
<b>2</b>	<b>ANWENDUNGSBEREICH UND ABGRENZUNG</b>	5
2.1	Dezentrale Behandlungsanlagen	5
2.2	Einsatzbereiche	5
<b>3</b>	<b>VSA-LEISTUNGSPRÜFUNG</b>	7
3.1	Bewertung der Leistungsfähigkeit	7
3.2	Technische Kommission	7
3.3	Identifikationskennwerte	8
<b>4</b>	<b>LABORTEST - SÄULENVERSUCH</b>	9
4.1	Vorabklärung	9
4.2	Vorgehen	9
4.3	Auswertung	13
4.4	Beurteilung des Labortests	14
<b>5</b>	<b>SIMULIERTER FELDTTEST</b>	15
5.1	Aufbau und Betrieb der Anlage	16
5.2	Hydraulische Beschickung	16
5.3	Stoffliche Beschickung	17
5.4	Inbetriebnahme	18
5.5	Standard-Leistungskontrolle	19
5.6	Dachwasser-Prüfung	20
5.7	Probenahme	21
5.8	Bilanzierung der Stoffe	22
5.9	Beurteilung der Behandlungsanlagen	22
<b>6</b>	<b>DOKUMENTATION UND GESAMTBEURTEILUNG</b>	25
<b>7</b>	<b>LITERATUR</b>	26
<b>8</b>	<b>GLOSSAR</b>	27
<b>9</b>	<b>ANHANG</b>	29
9.1	Dokumentation der Laborresultate	29
9.2	Herleitung der Prüfgrenspenden	30
9.3	Hinweise zur Stabilität und Ausfällung der dosierten Stoffe	31

# 1 EINLEITUNG

Die Bewirtschaftung von Niederschlagswasser ist von zentraler Bedeutung für den lokalen Wasserhaushalt und insbesondere bei einer wassersensiblen Siedlungsentwicklung («Schwammstadt»). Allerdings sind bei der Versickerung oder Direkteinleitung die mögliche Belastung und das Behandlungsgebot stets zu beachten, um die Gewässer vor einer Verschmutzung zu schützen.

Das von bebauten oder befestigten Flächen abfliessende Niederschlagswasser gilt gemäss Gewässerschutzverordnung (GSchV) in der Regel als nicht verschmutztes Abwasser [1]. Nicht verschmutztes Wasser kann ohne Behandlung zur Versickerung gebracht werden oder, wenn die örtlichen Verhältnisse dies nicht zulassen, in ein Oberflächengewässer eingeleitet werden. Verschmutztes Niederschlagswasser ist hingegen zu behandeln.

Niederschlagswasser von Gebäuden, Strassen, Wegen und Plätzen jedoch umfasst je nach örtlichen Verhältnissen und Verkehrsbelastung einen ganzen Cocktail von Schwermetallen und Mikroverunreinigungen [2, 3, 4, 5]. Von Metalldächern und -fassaden und im 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, Tausalz) ins Wasser. Viele Stoffe kommen aus mehreren Quellen. So wird Kupfer von Metallflächen und als Abrieb von Fahrleitungen emittiert, aber auch als Fungizid gegen Moose und Pilze angewendet. Pestizide wiederum werden im Gleis- und Platzunterhalt, in Dach- und Fassadenbeschichtungen eingesetzt. Reifenabrieb kann darin enthaltene Additive (z. B. 6PPD-Quinon, Benzothiazol) freisetzen. Je nach Empfindlichkeit des Bodens, des Grundwassers oder des Oberflächengewässers gilt solches mit Partikeln, Schwermetallen und organischen Mikroverunreinigungen belastetes Niederschlagswasser als behandlungsbedürftig.

Die Reduktion der diffusen Stoffeinträge durch Massnahmen an der Quelle, dem Vorsorgeprinzip folgend, steht immer an erster Stelle der Planung (gemäss VSA «Priorität 0»).

Eine dezentrale Behandlungsanlage mit Adsorbermaterial stellt eine Alternative zur Niederschlagswasserbehandlung mit einem bewachsenen Bodenfilter (Bodenpassage) oder in einer Kläranlage dar. In der VSA-Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter» sind dafür Wirkungsgrade für die Direkteinleitung und Versickerung festgelegt [6].

Um Leistungskenngrossen zum stoffspezifischen Rückhalt und hydraulischen Wirkungsgrad für technische Adsorberanlagen unter vergleichbaren Bedingungen zu ermitteln, ist von den Herstellern die nachfolgende zweistufige Leistungsprüfung, bestehend aus dem Labor- und simuliertem Feldtest, anzuwenden. Alternativ zum simulierten Feldtest kann ein realer Feldtest gemäss VSA-Merkblatt durchgeführt werden [7]. Das Ergebnis des simulierten Feldtests ist dem realen Feldtest gleichgestellt. Das VSA-Vorgehen schafft schweizweit einheitliche Test- und Beurteilungskriterien.

Die Resultate der Leistungsprüfung dienen Planungsbüros und Bewilligungsbehörden als Entscheidungsgrundlage. Durch vergleichbare, unabhängige Informationen zur Leistungsfähigkeit lassen sich der Planungs- sowie Bewilligungsprozess vereinfachen und individuelle Leistungskontrollen vermeiden.

Zu einem erfolgreichen Betrieb gehören regelmässige Kontrolle, Wartung und Unterhalt. Eine jährliche Sichtkontrolle sollte als Mindestanforderung vorgesehen und dabei der bauliche Zustand sowie Schlamm-anfall dokumentiert werden. Im Rahmen der Wartung ist die Betriebsbereitschaft zu klären, eine allfällige gründliche Reinigung und Einstellung der Anlage, ggf. der Austausch von Teilen, vorzusehen. Der Unterhalt betrifft vor allem das Adsorbermaterial, welches gemäss Herstellerempfehlungen mit Erreichen der Standzeit ersetzt und geordnet einer Entsorgung oder Wiederverwertung zugeführt werden muss.

## 2 ANWENDUNGSBEREICH UND ABGRENZUNG

### 2.1 Dezentrale Behandlungsanlagen

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

Dazu zählen Schacht- bzw. Kompaktanlagen, die Niederschlagsabflüsse von kleineren Anschlussflächen, in der Regel <4000 m<sup>2</sup>, behandeln [8]. Rinnensysteme erfassen konstruktionsbedingt Abflüsse von eher kleinen Flächen je Laufmeter, vielfach 10 bis 50 m<sup>2</sup> Anschlussfläche je Rinnenlaufmeter.

In der Regel umfassen die zu prüfenden Anlagen eine Wasserretention, eine Abscheidung für Partikel und ein technisches Substrat primär zum Rückhalt gelöster Stoffe (Adsorbermaterial). Die eingesetzten Materialien zur Stoffadsorption 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 Adsorbermaterial 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. Das Adsorbermaterial kann in der Praxis auch der hydraulischen Drosselung und dem Rückhalt von partikulären Stoffen (GUS) dienen (Filtrationswirkung).

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 [9]. Systeme für den reinen Rückhalt von Partikeln, die gelöste Stoffe aus Strassen- oder Liegenschaftswasser nicht zurückhalten sollen, gehören ebenfalls nicht zum Anwendungsbereich des Prüfverfahrens.

Der VSA unterscheidet zwischen Niederschlagswasser und Niederschlagsabwasser. Aus Gründen der Bequemlichkeit und Vereinfachung wird im gesamten Dokument der Begriff Niederschlagswasser verwendet.

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

### 2.2 Einsatzbereiche

Die Eigenschaften einer technischen Adsorberanlage sind auf die möglichen Belastungen im Niederschlagswasser zugeschnitten. Die Anlagen können auf eine Stoffgruppe oder mehrere Problemstoffe ausgerichtet sein. Die Belastungen sind meistens mit bestimmten Herkunftsflächen verbunden (Tabelle 1) [6]. Beispielsweise sollte eine Anlage für die Behandlung von Niederschlagsabwasser von Dächern oder Fassaden mit Metallanteil primär Schwermetalle zurückhalten (Kupfer, Zink). Anlagen für Umschlag-, Lager-, Parkplätze und Strassen hingegen sind bevorzugt auf den Rückhalt von GUS, Schwermetallen und Mikroverunreinigungen auszurichten.

Der Hersteller legt die jeweiligen Einsatzbereiche der Anlage gemäss vorliegender fünf Flächenkategorien fest (Tabelle 1). Die Herkunftsfläche «Eisenbahnanlagen» ist einbezogen, weil technische Anlagen auch zur Behandlung von Gleisabwasser geeignet sein können.

**Tabelle 1**

Einsatzbereiche von  
Behandlungsanlagen

Herkunftsfläche	Einsatzbereich der Anlage
1	Dach- und Fassadenflächen mit Metallanteil (beschichtet, unbeschichtet)
2	Dach- und Fassadenflächen mit pestizidhaltigen Materialien
3	Platz- und Verkehrsflächen (Strassen, Wege, Umschlag-, Lager-, Park-, Sportplätze etc)
4	Gemischtes Einzugsgebiet (Dach-, Fassaden-, Platz- und Verkehrsflächen)
5	Eisenbahnanlagen

# 3 VSA-LEISTUNGSPRÜFUNG

Mit dem Labortest wird der potenzielle Stoffrückhalt des technischen Adsorbermaterials für gelöste Stoffe (Kupfer, Zink, Diuron, Mecoprop) bestimmt (Kapitel 4, Labortest).

Im Zuge der Erstprüfung ist der Labortest optional und dient als Entscheidungshilfe, ob ein simulierter Feldtest sinnvoll ist. Zwingend erforderlich ist der Labortest jedoch, wenn spätere Anpassungen des Mischungsverhältnisses bzw. ein Typwechsel von einzelnen Komponenten (z.B. erzwungen aufgrund fehlender Lieferfähigkeit) möglich sein sollen. Grundsätzlich besteht bei Mischsubstraten die Möglichkeit, durch zielgerichtete Anpassung der Gewichtsanteile (z. B. erhöhter Anteil eines Schwermetalladsorbers bei einem Kupferdach) das Substrat zu optimieren. Die Eignung der angepassten Mischung muss durch einen Vergleich der Labortestergebnisse der bei der Erstprüfung geprüften Mischung (Referenzrückhalt) nachgewiesen werden. Daher wird dringend empfohlen, auch den Labortest bei der Erstprüfung durchzuführen.

Die Rückhalteleistung nach der Anpassung muss mindestens dem ursprünglich zertifizierten Adsorbermaterial entsprechen, um die Anforderungsstufe der Anlage beizubehalten. Ist später zudem eine stoffgruppenspezifische Anwendung für Dächer und Fassaden (Schwermetalle oder Mikroverunreinigungen) vorgesehen, müssen nach der Anpassung die Labortestresultate ebenfalls mindestens die gleiche Leistung wie die ursprünglich getestete Mischung aufweisen.

Die Laborresultate sind nicht entscheidungsrelevant für die Einstufung der Anlage in die Anforderungsstufe.

Im simulierten Feldtest wird der hydraulische sowie stoffliche Wirkungsgrad einer Anlage unter Laborbedingungen ermittelt (Kapitel 5, Simulierter Feldtest). Der stoffliche Wirkungsgrad basiert auf dem Rückhalt von Partikeln (gesamte ungelöste Stofffraktion, GUS), Schwermetallen (Kupfer, Zink) und Mikroverunreinigungen (Diuron, Mecoprop). Der Hersteller kann seine Anlagen für alle drei Stoffgruppen oder für einzelne prüfen lassen. Ein hydraulischer Wirkungsgrad ist stets einzuhalten.

Kupfer und Zink treten in Strassenabwasser regelmässig auf und gelten deshalb als die wichtigsten Schwermetalle. Kupfer fällt bereits ab ca. pH 8 aus und ist damit weniger mobil als Zink.

Mecoprop und Diuron werden als Pflanzenschutzmittel und Biozide (z.B. in Fassadenfarben) eingesetzt, treten häufig in urbanen Regenwasserabflüssen und Oberflächengewässern auf, und sind vergleichsweise stabil und gut analysierbar. Mecoprop ist als polare Substanz mobil und bindet schlecht an Boden, hingegen Diuron als unpolare Stoff bedeutend besser adsorbierend. Beide Stoffe werden aufgrund ihrer physikochemischen Eigenschaften als Leitsubstanzen für Mikroverunreinigungen im Strassenabwasser, die vergleichbare Eigenschaften aufweisen, eingesetzt.

## 3.1 Bewertung der Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit des Anlagentyps wird auf Grundlage der Resultate aus dem simulierten Feldtest beurteilt und den Anforderungen zugeordnet:

- «Erhöht» (grün): Rückhalt  $\geq 90\%$  für alle Stoffparameter
- «Standard» (gelb): Rückhalt  $\geq 70$  bis  $90\%$  für Schwermetalle und Mikroverunreinigungen,  $\geq 80$  bis  $90\%$  für GUS
- «Anforderungen nicht erfüllt» (rot): Rückhalt  $< 70\%$  für Schwermetalle und Mikroverunreinigungen bzw.  $< 80\%$  für GUS.

Die Klassen «Standard» und «Erhöht» werden vom VSA empfohlen. Die Klasse «Anforderungen nicht erfüllt» wird für die Behandlung von Niederschlagsabwasser nicht empfohlen.

Das Bewertungsergebnis ist an das eingesetzte Adsorbiermaterial, den Anlagentyp mit einer spezifischen Verfahrenskombination und die Prüfbedingungen gebunden. Werden die Zusammensetzung des Adsorbiermaterials, die Verfahrensweise der Anlage oder die Prüfbedingungen massgeblich verändert, verliert die Bewertung ihre Gültigkeit.

Das geprüfte Produkt ist auf eine spezifische Anschluss- und Filterfläche bezogen getestet. Produkte eines Herstellers mit der gleichen Verfahrensabfolge und ähnlichem Verhältnis von Anschluss- zu Filterfläche, die sich proportional zur geprüften Anlage verhalten, bilden eine Produktfamilie. In der Produktfamilie müssen die Kontakt- und hydraulische Aufenthaltszeit (Schichtdicke der Adsorbiermaterialien), das Kolmationsverhalten, der Druckverlust (Höhenversatz Zu- und Ablauf), Wasserlauf und Anströmart auf den Filter gleich sein. Kann der Hersteller durch einen anderen Nachweis die Einhaltung der Kriterien für die Produktfamilie belegen, entscheidet über die Übertragbarkeit der Anforderungsstufe von der geprüften auf die neue Anlage die Technische Kommission des VSA. Der Hersteller ist verantwortlich dafür, dass die Anlagen einer Produktfamilie die Prüfbedingungen einhalten.

Für die Behandlung von Niederschlagswasser von Dächern und Fassaden kann die Zusammensetzung eines ursprünglich getesteten Mischadsorbierers (zwei separate Einzelkomponenten oder eine Mischung) nachträglich auf eine stoffgruppenspezifische Anwendung (Schwermetalle von Metallflächen, Pestizide von Bahnen und Beschichtungen) neu ausgerichtet werden (Labortest). Nach der Anpassung müssen die Labortestresultate mindestens die gleiche Leistung wie in der ursprünglich getesteten Mischung aufweisen. Die Anforderungsstufe der geprüften Anlage ändert sich hierdurch nicht.

Eine Erhöhung der Anforderungsstufe ist nur durch eine neue vollständige Leistungsprüfung (Standard- oder Dachwasser-Prüfung) möglich.

Werden an der Leistungsprüfung, dem technischen Stand und Wissen folgend, Anpassungen vorgenommen, bleiben gebaute Anlagen davon unberührt.

### **3.2 Technische Kommission**

Die technische Kommission des VSA legt auf Antrag fest, wie Änderungen beim Adsorbiermaterial und bei Merkmalen der Anlage (z. B. angeschlossene Fläche, Abmessungen) zu bewerten sind und ist Ansprechpartner für diesbezügliche Fragen. Bei Produktfamilien prüft sie auf Antrag der Hersteller die Nachweissführung.

### **3.3 Identifikationskennwerte**

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

## 4 LABORTEST - SÄULENVERSUCH

Der Labortest zielt auf die Vergleichbarkeit technischer Adsorbentmaterialien 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 hohe Stofffrachten auf das Adsorbentmaterial gelangen.

Da das Adsorbentmaterial eine begrenzte Aufnahmeleistung aufweist und dies den theoretischen Zeitpunkt des Austauschs des Adsorbentmaterials bestimmt (Standzeit), sind durch den Hersteller 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

Zur Vorabklärung wird Herstellern empfohlen, einen Batchtest gemäss OECD TG 106 (oder einer vergleichbaren Vorgehensweise) durchzuführen<sup>1</sup>. Einzusetzen ist eine Lösung mit jeweils 0.5 mg/l Diuron, MCP, Kupfer und Zink. Diuron und MCP sind in Ethanol vorzulösen. Empfohlen wird, das Adsorbentmaterial mit einem Feststoff-/Flüssigkeits-Verhältnis von 1:10 bei 5 bis 10 rpm für 24 h überkopf zu schütteln, die Probe 15 min bei 2000 g zu zentrifugieren und den Überstand mit einem 0.45-µm-Spritzenvorsatzfilter zu filtrieren. Im Filtrat werden die Konzentrationen der vier Testsubstanzen analysiert.

### 4.2 Vorgehen

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

Das Adsorptionsverhalten von Zink, Kupfer, Diuron und MCP 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. Liegt die zurückgehaltene Stoffmenge  $\leq 70\%$  (rot), wird die Durchführung des Feldtests für den jeweiligen Stoff oder die Stoffgruppe nur empfohlen, wenn die Bemessungsgrundlagen im Einbauzustand eine wesentliche Verbesserung erwarten lassen.

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

#### a) Materialvorbereitung

Vom Adsorbentmaterial 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

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

Materials wird gemäss EN 12880:2001-02<sup>2</sup> und die Schüttdichte nach EN 1097-3:1998-06<sup>3</sup> bestimmt und dokumentiert.

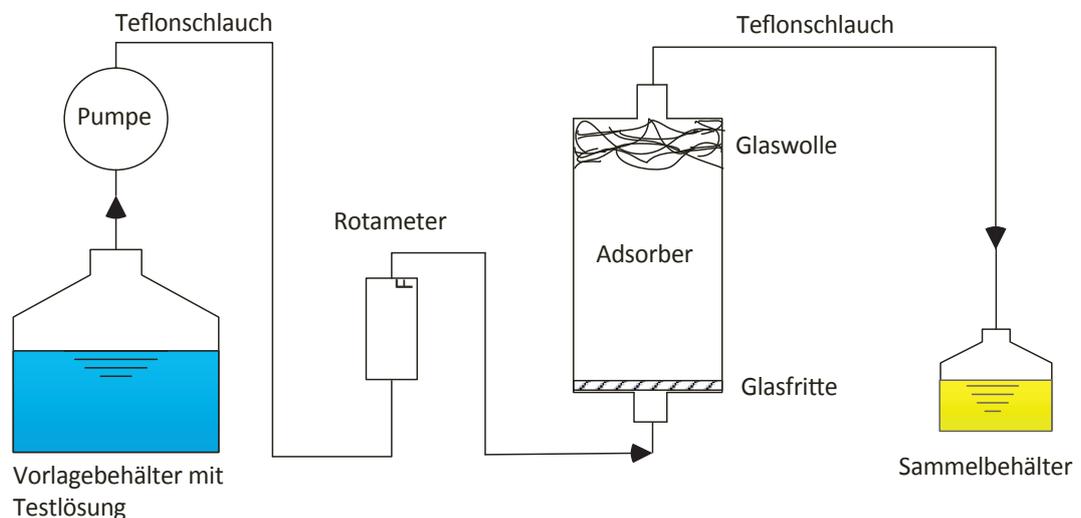
### b) Versuchsaufbau

Die Komponenten des Säulenversuchs sollten aus Glas, HDPE oder Polypropylen bestehen, die Schläuche aus Teflon (Abbildung 1). Mit einer pulsationsarmen Pumpe (z. B. Zahnradpumpe) lässt sich der Durchfluss einstellen und mit einem Rotameter der effektive Fluss kontrollieren. Die Säule weist 170 mm Länge und 80 mm Innendurchmesser auf. Das lufttrockene Adsorbiermaterial (+20 °C) ist gemäss den Angaben des Herstellers einmalig wie folgt in die Glassäule einzubauen (von unten nach oben):

- Glaswolle, 14 ± 2 mm
- Adsorbiermaterial, 150 ± 5 mm; Schüttdichte gemäss Herstellerangabe einhalten
- Glasritze, 6 ± 1 mm Schichtdicke, Porengrösse 0.25 bis 0.5 mm

Aus 150 mm Füllhöhe und 80 mm Durchmesser ergeben sich 0.754 l Adsorbervolumen. Das Gewicht des eingesetzten Adsorbiermaterials ist zu ermitteln, indem die Säule mit Glaswolle und -ritze vor und nach dem Befüllen gewogen wird (Gewichtsdifferenz).

**Abbildung 1**  
Schematischer Aufbau  
des Säulenversuchs.



Das spezifische Vorgehen sollte mit dem Hersteller, bei möglichen Abweichungen vom Standardvorgehen mit der technischen Kommission des VSA, abgestimmt werden.

### c) Herstellung wässriger Lösungen

Vorzubereiten sind zwei Testlösungen, eine für den Stoffrückhalt und eine für die Remobilisierung, sowie eine gepufferte Lösung zur anfänglichen Konditionierung der Säule und zum Spülen zwischen Testabschnitten 3 und 4. Ein Schema zum Vorgehen ist in Abbildung 2 dargestellt.

**Testlösung Stoffrückhalt:** Über drei Testabschnitte werden jeweils 36 l Testlösung mit je 0.5 mg/l Kupfer, Zink, Diuron und MCPP benötigt, sodass über jeden Testabschnitt 18 mg pro Stoff (36l · 0.5 mg/l) bzw. 54 mg über drei Testabschnitte eingesetzt werden. Empfohlen wird, 120 l Testlösung herzustellen (3 · 36 l für Testabschnitte und 12 l Reserve). Dabei sind folgende Schritte einzuhalten und Abweichungen zur Chemikalien- und Salzqualität zu dokumentieren:

- Gepuffertes Wasser mit pH 6.0 ± 0.2 in Vorlagebehälter wie folgt herstellen (elektrische Leitfähigkeit ca. 750 µS/cm):
  - 116 l deionisiertes Wasser in Vorlagebehälter füllen
  - 60 g Kaliumhydrogenkarbonat unter Rühren vollständig lösen

<sup>2</sup> DIN EN 12880:2001-02: Charakterisierung von Schlämmen – Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehalts.

<sup>3</sup> DIN EN 1097-3:1998-06: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 3: Bestimmung von Schüttdichte und Hohlraumgehalt.

- 12 g Natriumchlorid (NaCl) unter Rühren vollständig lösen
- Mit 0.1 M Salzsäure (HCl) unter Rühren den pH-Wert auf 6.0 einstellen
- Metall-Stammlösung mit Kupfer und Zink (je 60 mg) herstellen:
  - 500 ml deionisiertes Wasser im 2 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 2 l mit deionisiertem Wasser auffüllen
- Pestizid-Stammlösung mit Diuron und MCPP (je 60 mg/l) im 2 l Braunglaskolben herstellen:
  - 100 ml Ethanol (Analysequalität) in einem 2 l Messkolben (Glas) vorlegen
  - 60 mg Diuron (99%) dazugeben und unter Rühren vollständig lösen
  - 60 mg MCPP (99%) dazugeben und unter Rühren vollständig lösen
  - Auf 2 l mit deionisiertem Wasser auffüllen

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

1. Metall-Stammlösung (s. o.) unter Rühren dem Vorlagebehälter mit 116 l dazugeben
2. 20 min rühren
3. Pestizid-Stammlösung (s. o.) unter Rühren dem Vorlagebehälter mit 118 l dazugeben
4. 20 min rühren
5. pH-Wert überprüfen und ggf. auf  $\text{pH } 6.0 \pm 0.2$  nachjustieren

In der vorbereiteten Testlösung sind die effektiven Konzentrationen von Kupfer, Zink, Diuron und MCPP analytisch nachzuweisen (Referenzprobe). Bei den Schwermetallen sind der gelöste Anteil (0.45- $\mu\text{m}$ -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 zu wiederholen.

**Pufferlösung zum Konditionieren und Zwischenspülen:** Zum Konditionieren der Säule vor Versuchsbeginn und Spülen nach Testabschnitt 3 wird gepuffertes Wasser ( $\text{pH } 6.0 \pm 0.2$ , elektrische Leitfähigkeit ca.  $750 \mu\text{S/cm}$ ) benötigt. Die Herstellung erfolgt gleichartig wie bei der Testlösung für die Bestimmung des Stoffrückhalts (s. o.). Beispielsweise sind bei 18 l Spülwasser folgende Schritte einzuhalten:

- 18 l deionisiertes Wasser im Behälter vorlegen
- 9 g Kaliumhydrogenkarbonat unter Rühren vollständig lösen
- 1.8 g Natriumchlorid (NaCl) unter Rühren vollständig lösen
- Mit Salzsäure (HCl) unter Rühren den pH auf 6.0 einstellen

**Testlösung Remobilisierung:** Die Remobilisierung der adsorbierten Zielsubstanzen wird mit 36 l Salzlösung bei einer Konzentration von 5.0 g/l (NaCl) bestimmt. Wie folgt ist vorzugehen:

- 40 l deionisiertes Wasser in Behälter vorlegen
- 200 g NaCl einwiegen
- Gründlich einzurühren

#### d) Testdurchführung

Für die Bestimmung des Rückhalts werden 3 · 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 des gepufferten Wassers bei 0.075 l/min Durchfluss zu spülen. Anschliessend beginnt der vierte Testabschnitt zur Remobilisierung. Der gesamte Laborversuch (Rückhalt, Spülen und Remobilisierung) ist innerhalb von 3 Tagen mit dem gleichen Adsorbentmaterial durchzuführen. Das Vorgehen und die Filtergeschwindigkeiten sind in Abbildung 2 dargestellt und nachfolgend erläutert.

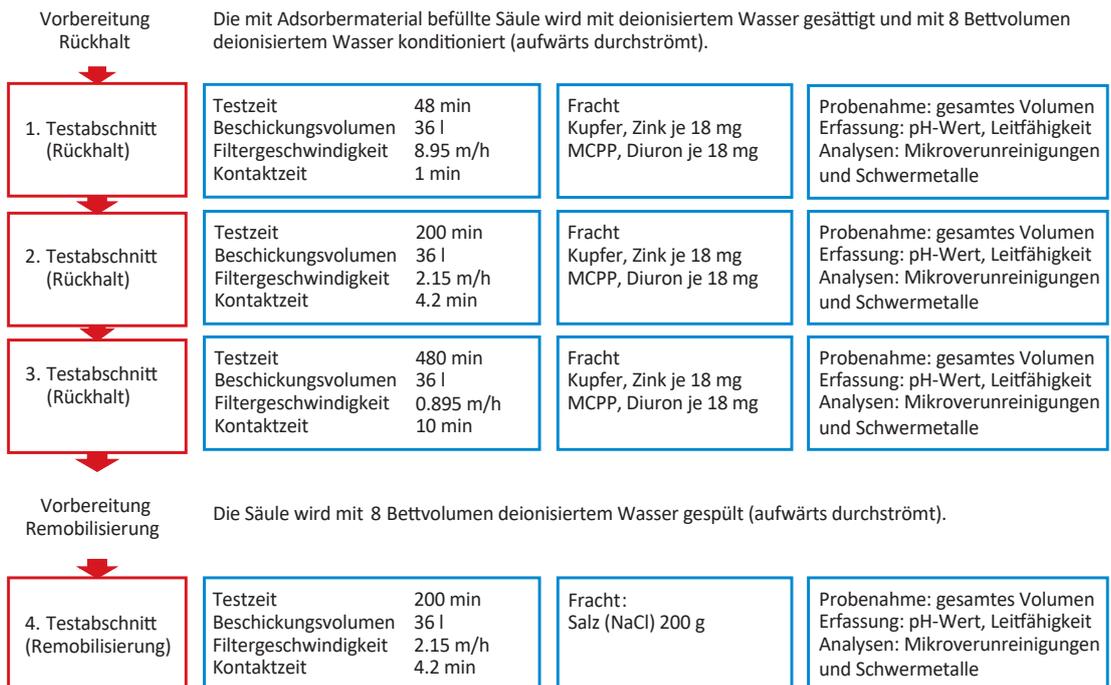
- **Konditionierung:** Die befüllte Säule ist von unten nach oben mit gepuffertem Wasser bei einem Durchfluss von 0.075 l/min zu sättigen, bis die elektrische Leitfähigkeit konstant ist.
- **Stoffrückhalt:** Der 1. bis 3. Testabschnitt wird gemäss den Parametern in Abbildung 2 umgesetzt. Der pH-Wert der Testlösung ist über die Testdauer regelmässig zu kontrollieren, ggf. auf  $\text{pH } 6.0 \pm 0.2$  zu

nachjustieren. Jede Sammelprobe pro Testabschnitt (je 36 Liter) wird separat aufgefangen und darin der pH bestimmt.

- **Spülen:** Nach dem 3. Testabschnitt wird die Säule frühestens nach 16 h und spätestens nach 72 h mit gepuffertem Wasser von unten nach oben durchströmt gespült, bis die elektrische Leitfähigkeit konstant ist. Die möglicherweise ausgetragene Stoffmenge von Kupfer, Zink, Diuron und MCPP ist nachzuweisen, indem ein Aliquot des komplett aufgefangenen Wassers analysiert wird. Die remobilisierten Stoffmenge ist bei der Berechnung zu berücksichtigen.
- **Remobilisierung:** Im 4. Testabschnitt wird die Remobilisierung unter den Randbedingungen von Abbildung 2 ermittelt. Der Versuchsablauf und die Probenahme sind analog zum Vorgehen bei den Testabschnitten 1 bis 3.

**Abbildung 2**

Übersicht zum Vorgehen im Labor zur Bestimmung des Rückhalts und der Remobilisierung. Bei der Kontaktzeit handelt es sich um eine Annahme, hergeleitet auf Grundlage der Filtergeschwindigkeit.



Während der gesamten Versuchsdurchführung ist darauf zu achten, dass in der Adsorbersäule keine Luft vorliegt und der Durchfluss ist regelmässig zu überprüfen und ggf. anzupassen.

Aus dem Vorgehen ergeben sich 4 Sammelproben (Abbildung 2). Der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit sind in den Sammelproben jeweils zu dokumentieren. Aus den 4 Sammelproben sind nach guter Durchmischung je 2·250 ml Aliquote (Glas) zu entnehmen.

Die Aliquote und die Referenzprobe sind durch ein beauftragtes Labor innerhalb von 5 Tagen auf Kupfer, Zink, Diuron und 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).

## 4.3 Auswertung

### a) Trockensubstanzgehalt

Bestimmung des Trockensubstanzgehalts in Prozent (TS %):

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

#### Gleichung 1

Trockensubstanzgehalt

### b) Masse des Adsorbiermaterials

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

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

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

#### Gleichung 2

Masse des Adsorbiermaterials

### 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:

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

#### Gleichung 3

Stoffrückhalt

$C_{Zu}$	Konzentration im Zufluss (mg/l)
$C_{Ab}$	Konzentration im Abfluss (mg/l)
$\eta_{\text{Stoff}}$	stoffspezifischer Wirkungsgrad (%)

### d) Zurückgehaltene Stoffmenge

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

$$\text{Fracht}_{Zu} [\text{mg}] = 36 [\text{l}] \cdot C_{Zu} [\text{mg/l}]$$

$$\text{Fracht}_{Ab} [\text{mg}] = 36 [\text{l}] \cdot C_{Ab} [\text{mg/l}]$$

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

#### Gleichung 4

Zurückgehaltene Stoffmenge

$\text{Fracht}_{Zu}$	Fracht im Zufluss (mg)
$\text{Fracht}_{Ab}$	Fracht im Abfluss (mg)
36 l	getestetes Volumen (l)
$C_{Ab}$	Konzentration im Abfluss (mg/l)
$\text{Fracht}_{Ads}$	Zurückgehaltene Fracht (mg)

### e) Beladung des Adsorbiermaterials

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

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

#### Gleichung 5

Beladung des Adsorbiermaterials

### f) Remobilisierung

Die Remobilisierung der adsorbierten Stoffe in Prozent (%) wird aus der Ausgangsbeladung pro Stoff, der möglicherweise ausgespülten Stoffmenge durch die Konditionierung mit bis zu 8 Bettvolumen ( $\text{Fracht}_{Spü}$ ) und den remobilisierten Mengen im 4. Testabschnitt berechnet:

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

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

#### Gleichung 6

Remobilisierung

$\text{Fracht}_{Ads}$	Adsorbierte Fracht (mg)
$\text{Fracht}_{Spü}$	ausgespülte Stoffmenge durch Konditionierung (mg)
$\text{Fracht}_{Rem}$	Remobilisierte Fracht (mg)
$\eta_{Rem}$	Stoffrückhalt bei Remobilisierung (%)

Die bei der Spülung nach dem dritten Testabschnitt ausgetragene Stofffracht wird bei der Berechnung der Remobilisierung nicht mit einbezogen. Die remobilisierte Stoffmenge wird folglich auf den effektiv zurückgehaltenen Anteil normiert.

#### 4.4 Beurteilung des Labortests

Die Erfüllung der Anforderungen wird durch drei Leistungsklassen für die beiden Schwermetalle und Mikroverunreinigungen abgebildet, die durch die Farben grün, gelb und rot repräsentiert und über ein Punktesystem vergeben werden (Tabelle 2).

**Tabelle 2**

Bewertungsschema zum Rückhalt der Schwermetalle und Mikroverunreinigungen in den drei Testabschnitten des Laborversuchs.

Eine Excel-Datei für die automatische Berechnung kann unter [www.vsa.ch/adsorber](http://www.vsa.ch/adsorber) heruntergeladen werden.

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

Für die Stoffgruppen «Schwermetalle» und «Mikroverunreinigungen» sind die Gesamtpunktzahlen 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

**Tabelle 3**

Bewertung der Leistungsfähigkeit des Adsorbermaterials gemäss den Anforderungen.

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

Durch Addition der Einzelpunkte ergibt sich die jeweilige Gesamtpunktzahl (Tabelle 3). Bei maximaler Gesamtpunktzahl (2 Stoffe  $\times$  3 Punkte = 6 Punkte) ist die Anforderung «Erhöht» voll erfüllt.

Beim Remobilisierungstest bedeuten «grün»  $\leq 1\%$  Remobilisierung der adsorbierten Fracht und «rot»  $> 10\%$  Remobilisierung. Bei  $> 10\%$  Remobilisierung ist der gesamte Labortest für die jeweilige Stoffgruppe (Schwermetalle und Mikroverunreinigungen) mit «rot» einzustufen. 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, hat die Beurteilung der Remobilisierung keine Praxisrelevanz.

# 5 SIMULIERTER FELDTEST

Der simulierte Feldtest zielt auf die Bestimmung der hydraulischen und stofflichen Leistungsfähigkeit ( $\eta_{\text{hyd}}$ ,  $\eta_{\text{stoff}}$ ) von Adsorberanlagen ab, insbesondere den Rückhalt von Partikeln (GUS), Schwermetallen (Kupfer, Zink) und Mikroverunreinigungen (Diuron, MCP), sowie deren möglichen Remobilisierung. Ermittelt werden Wirkungsgrade beim Stoffrückhalt. Die Stoffauswahl orientiert sich am Labortest.

Die Anlagen werden im Massstab 1:1 im künstlich geschaffenen Umfeld (Labor, Halle Technikum) getestet. Der Test berücksichtigt durchschnittliche Belastungssituationen, wie sie unter Anwendungsbedingungen auftreten können. Gegenüber dem realen Feldtest lassen sich die experimentellen Unwägbarkeiten (Witterungsverlauf, Stoffbelastung etc.) vermeiden.

Der simulierte Feldtest setzt sich aus zwei Prüfungen zusammen.

- **Standard-Prüfung:** Die Standard-Prüfung umfasst drei Prüfblocke zum Stoffrückhalt (SP1, SP2, SP3), zwei hydraulische Kontrollen (HK1, HK2) und einen Test zur Remobilisierung (SR). Die Gesamtdauer umfasst mindestens 6 Monate. Die Standard-Prüfung ist für jede Anlage obligatorisch. Mit der Standard-Prüfung sind die Einsatzbereiche 3, 4 und 5 gemäss Tabelle 1 abgedeckt.
- **Dachwasser-Prüfung:** Die Dachwasser-Prüfung (DP) dient der Bestimmung des Rückhalts ausschliesslich gelöster Schadstoffe und deckt die Herkunftsflächen 1 und 2 ab. Die Unterschiede der Dachwasser- zur Standard-Prüfung liegen in den höheren Konzentrationen und der Anzahl Prüffregenspenden (=Testdauer). Sie kann an die Standard-Prüfung anschliessen. Wird sie im Anschluss durchgeführt, ist das Material bereits vorbeladen. Andernfalls ist die Vorbeladung entsprechend vorzusehen, bevor die Dachwasser-Prüfung beginnen kann.

Ziel der Standard- und Dachwasser-Prüfung ist es nicht, die Standzeit der Adsorber zu ermitteln. Hierfür sind die erwarteten oder effektiven Belastungen im Bereich der Anschlussflächen und die Hinweise der Hersteller einzubeziehen.

Die zwei Prüfungen des simulierten Feldtests sind durch eine vom Hersteller unabhängige Institution mit entsprechendem Qualifikationsnachweis und die chemischen Analysen von einem akkreditierten Labor durchzuführen.

Um den Fortschritt und die Qualität des simulierten Feldtests zu begleiten, sind die Resultate nach Abschluss der einzelnen Prüfblocke, bzw. der zwei Prüfungen, der technischen Kommission des VSA vorzulegen.

## 5.1 Aufbau und Betrieb der Anlage

Die Prüfanordnung besteht in der Regel aus einem Vorlagebehälter (Wasserspeicher), einer Pumpe für den Zulauf, einem Durchflussmesser, drei Dosiereinheiten, einem statischen Mischer und der zu prüfenden Anlage, wie sie vom Hersteller in der Praxis vorgesehen ist (Abbildung 3).

Vom Vorlagebehälter (>10 m<sup>3</sup> Speichervolumen) wird das Wasser zur Dosierstelle gepumpt, gut durchmischt (statischer Mischer), und strömt über Freispiegel in einer Rohrleitung zur Schachtanlage oder über eine Verteilrinne und zwei Zulaufflächen beidseitig in einen Rinnenfilter.

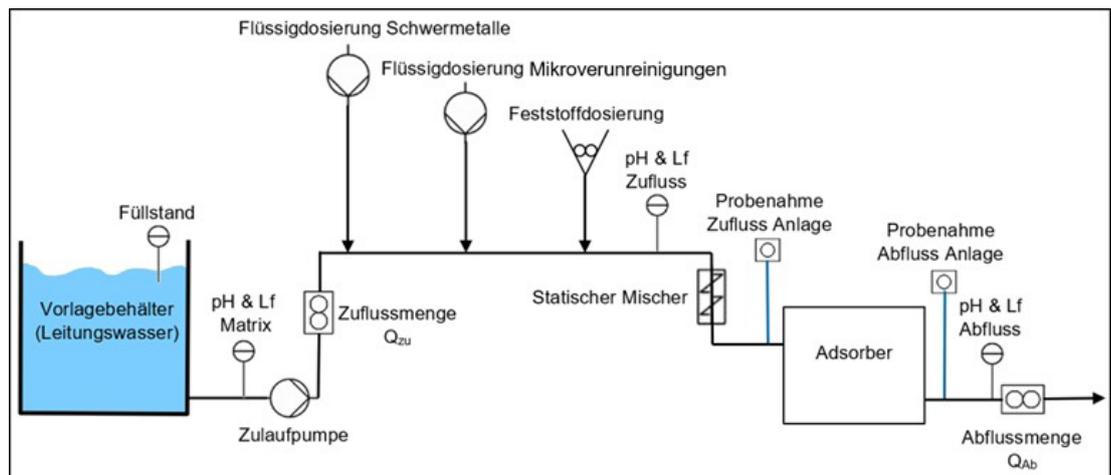
Die Probenahmen erfolgen manuell unmittelbar vor der Anlage und im Ablauf. Im Zulaufrohr wird 10 bis 20 cm vor dem Schacht oder bei einer Rinne an der Unterseite der Wasserverteilung über einen Ablasshahn beprobt. Der Hahn ist an der Unterseite vom Rohr installiert. Das behandelte Ablaufwasser wird am Ende vom Auslaufrohr entnommen.

Eine kontinuierliche Durchflussmessung erfolgt im Zufluss (Abbildung 3). Das eingesetzte Messverfahren (z. B. Druck-, MID-, Ultraschall-, Dopplersonde) muss eine hohe Messgenauigkeit sicherstellen. Da die kontinuierliche Zuflussmessung für eine Rinne schwierig umzusetzen ist, ist das Vorgehen vor Beginn der Leistungsprüfung mit der technischen Kommission des VSA abzustimmen.

Der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit (Lf) und die Temperatur werden vor der Dosierung (im Vorlagentank), nach der Dosierung, und nach der Adsorberanlage kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet (Abbildung 3).

### Abbildung 3

Schema zur möglichen Prüfanordnung des simulierten Feldtests im Labor.



## 5.2 Hydraulische Beschickung

Die hydraulische Beschickung basiert auf drei unterschiedlichen Prüfregenspenden (Stark-, Land-, Kleinregen), die in einer festgelegten Anzahl und Abfolge in der Standard- und in der Dachwasser-Prüfung integriert sind (Tabelle 4). Die Herleitung der Prüfregenspenden ist im Anhang 9.2 erläutert.

In der Standard-Prüfung wird eine Wassermenge von  $810 \text{ l/m}^2$  Anschlussfläche, basierend auf 3 Stark-, 15 Land- und 45 Kleinregen, der Anlage zugeführt. Wird für die Anschlussfläche als Abflussbeiwert 0.9 angenommen (z. B. für Strassen), repräsentiert die Zuflussmenge zur Anlage einen Jahresniederschlag von ca. 900 mm, bei einem Abflussbeiwert 0.7 von ca. 1160 mm.

Bei der Dachwasser-Prüfung ergibt sich aus 3 Land- und 9 Kleinregen eine Zulaufwassermenge von  $150 \text{ l/m}^2$  Anschlussfläche.

Die Gesamtzulaufmenge für beide Prüfungen kumuliert sich auf 960 l/m<sup>2</sup> Anschlussfläche, wobei 940 l/m<sup>2</sup> durch die beiden stofflichen Prüfungen (Tabelle 4) und 20 l/m<sup>2</sup> durch den Remobilisierungstest beigesteuert werden. Wird für beide Anschlussflächen ein Abflussbeiwert 0.9 angenommen, entspricht die Zuflussmenge einem Jahresniederschlag von ca. 1100 mm.

Eine Anlage, welche für 500 m<sup>2</sup> Anschlussfläche ausgelegt ist, bekommt in der Standard- und der Dachwasser-Prüfung folglich kumuliert ca. 500 m<sup>3</sup> Wasser zugeführt (Standard-Prüfung ca. 85 %, Dachwasser-Prüfung ca. 15 %).

Regenstatistik	Starkregen	Landregen	Kleinregen
Regenintensität [mm/h]	40	20	5
Dauer [min]	20	60	120
Regenhöhe pro Ereignis [mm]	13.3	20	10
Abflussmenge [l/(s*ha)]	111	56	14

Standard-Prüfung	Starkregen	Landregen	Kleinregen
Anzahl Ereignisse	3	15	45
Prüfregenspende total [l/m <sup>2</sup> ]	40	300	450

Dachwasser-Prüfung	Starkregen	Landregen	Kleinregen
Anzahl Ereignisse	-	3	9
Prüfregenspende total [l/m <sup>2</sup> ]	-	60	90

**Tabelle 4**

Regenstatistik und Prüfregenspenden in der Standard- und Dachwasserprüfung.

### 5.3 Stoffliche Beschickung

Über die gesamte Prüfdauer hat das Wasser (Trinkwasser) pH 6 – 7.5, eine elektrische Leitfähigkeit zwischen 100 und 350 µS/cm und Hintergrundkonzentrationen von Kupfer und Zink < 10 µg/l (Blindwertkontrollen) aufzuweisen. Die Temperatur sollte im Bereich durchschnittlicher Raumtemperaturen liegen (20 °C ±5 °C).

#### a) Partikuläre Beschickung

Als Modellsubstanz für partikuläre Stoffe (gesamte ungelöste Stofffraktion, GUS) wird das Produkt «Millisil W 4» (Quarzwerte Frechen GmbH, Deutschland) mit definierter Korngrößenverteilung eingesetzt. Die Zulaufkonzentration beträgt 150 mg/l GUS (Tabelle 5) und liegt damit im Bereich von Strassenabwasser und Mischgebieten gemäss VSA-Richtlinie [11].

Das Quarzmehl wird über einen Schneckendosierer auf einer Waage kontinuierlich in den Zufluss dosiert.

Prüfblock	GUS	Kupfer	Zink	Diuron	Mecoprop
SP1, SP3	150 mg/l	0.2 mg/l	0.2 mg/l	0.2 mg/l	0.2 mg/l
SP2	150 mg/l	-	-	-	-
DP	-	1.0 mg/l	1.0 mg/l	1.0 mg/l	1.0 mg/l

**Tabelle 5**

Übersicht zu den Konzentrationen von GUS, den Schwermetallen und Mikroverunreinigungen im Zulauf der Adsorberanlagen.

#### **b) Schwermetalle**

Als Leitsubstanzen für Schwermetalle werden Kupfer und Zink, wie im Labortest, in gelöster Form eingesetzt (Salze, vgl. 4.2). Beide Schwermetalle treten regelmässig im Niederschlagswasser auf. Damit umweltrelevante Zulaufkonzentrationen vorliegen und ein Wirkungsgrad von mindestens 99 % analytisch eindeutig nachweisbar ist, ist in der Standard-Prüfung eine Zulaufkonzentration von je 0.2 mg/l Kupfer und Zink und in der Dachwasser-Prüfung (DP) von je 1 mg/l Kupfer und Zink festgelegt (Tabelle 5). Die kontinuierliche Dosierung erfolgt über eine automatisierte Schlauchpumpe.

#### **c) Mikroverunreinigungen**

Als Leitsubstanzen für organische Mikroverunreinigungen werden, wie im Labortest, Diuron und MCPP eingesetzt. Beide Stoffe kommen weit verbreitet in urban geprägten Niederschlagsabflüssen vor und zeichnen sich durch ein unterschiedliches Sorptionsverhalten aus. MCPP gilt als Leitsubstanz für mobile und Diuron für gut adsorbierende Mikroverunreinigungen. Um einen Rückhalt von mindestens 99 % analytisch eindeutig nachzuweisen, sind in der Standard-Prüfung je 0.2 mg/l und in der Dachwasser-Prüfung DP je 1 mg/l MCPP und Diuron festgelegt (Tabelle 5). Diese Konzentrationshöhen können im urbanen Regenwasserabfluss vorkommen. Die kontinuierliche Dosierung erfolgt über eine automatisierte Schlauchpumpe.

#### **d) Tausalz**

Um den Einfluss von Tausalz auf die Remobilisierung der zurückgehaltenen Schadstoffe abzuschätzen, werden nach der Standard-Prüfung 5 g/l NaCl dosiert. Das Prüfvolumen muss mindestens dem Austauschvolumen der zu prüfenden Anlage entsprechen. Empfohlen werden Volumenströme von 1 l/s für Schachtsysteme und 0.2 l/s für Rinnensysteme. Der Volumenstrom kann anlagenspezifisch gewählt werden. Da Rinnensysteme meist trockenfallend sind und kein Austauschvolumen besitzen, ist eine Prüfdauer von mindestens 30 min vorgeschrieben. Die kontinuierliche Dosierung erfolgt über eine automatisierte Schlauchpumpe.

### **5.4 Inbetriebnahme**

Die Inbetriebnahme der Anlage dient einer Vorabklärung und erfolgt in zwei Schritten. Die Resultate aus der Inbetriebnahme werden nicht in die Leistungsbeurteilung einbezogen. Die Inbetriebnahme ist nicht zwingend durchzuführen, wird aber stark empfohlen.

#### **a) Salzversuch**

Ziel des Salzversuchs ist die Bestimmung des Austauschvolumens in einer Adsorberanlage, welches den vollständigen Austrag eines zuvor eingebrachten inerten Stoffs in die Anlage beschreibt. Die Kenntnis des Austauschvolumens ist Voraussetzung für eine optimale Auslegung der Probenahme. Für den Salzttest wird ein Salzpuls mit einer Konzentration von 1 g/l NaCl eingesetzt. Die Austauschvolumina werden über die elektrische Leitfähigkeit im Ablauf der Anlagen ermittelt. Nach dem Salzversuch muss die Anlage mit mindestens einem Austauschvolumen Leitungswasser gespült werden. Bei einem trockenfallenden System wird der Salzversuch nicht durchgeführt.

#### **b) Tastversuch**

Die Adsorberanlage wird mit drei Prüfgengespenden in der Reihenfolge Kleinregen – Landregen – Starkregen beschickt. Eine Testlösung mit je 0.2 mg/l Diuron, MCPP, Kupfer und Zink sowie 150 mg/l GUS wird dosiert. Das Wasser im Zu- und Ablauf der Anlage wird beprobt, analysiert und ausgewertet. Der Stoffrückhalt sollte > 80 % für GUS und > 70 % bei den gelösten Stoffen liegen. Dann erscheint die Durchführung der Standard-Prüfung sinnvoll. Ist nur eine Dachwasser-Prüfung vorgesehen, kann der Tastversuch ohne GUS durchgeführt werden.

## 5.5 Standard-Leistungskontrolle

### a) Hydraulische Kontrolle

Die hydraulische Kontrolle umfasst zwei Teile (HK1, HK2), die am Anfang und Ende der stofflichen Leistungsprüfung durchgeführt werden.

Dafür wird die Prüffregenspende «Landregen» ohne stoffliche Belastung zunächst für 5 min simuliert. Davon ausgehend erfolgt eine schrittweise Erhöhung der Intensität um  $5 \text{ l/m}^2$  bis zum Überlaufen der Anlage. Bei jedem Schritt wird die Einstauhöhe im Vergleich zum Ruhewasserspiegel bestimmt. Die Durchführungen HK1 und HK2 sind identisch.

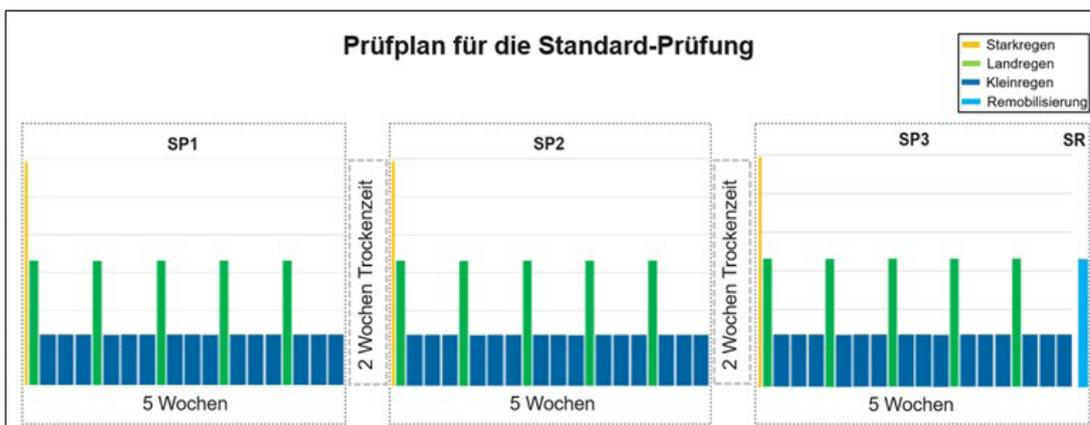
Der überlaufrelevante Volumenstrom (kritische Dimensionierungsdurchfluss  $[\text{l/s}]$ ) wird ermittelt und zusätzlich die Abnahme des kritischen Durchflusses zwischen Anfang und Ende des Tests (in Prozent) dokumentiert.

### b) Stoffliche Prüfung

Im Rahmen der stofflichen Prüfung wird der Stoffrückhalt von GUS, Kupfer, Zink, Diuron und MCPP über drei Prüfblocke (SP1, SP2, SP3) ermittelt. In SP2 wird die Anlage nur mit GUS belastet, um den Effekt einer möglichen Kolmation zu verstärken.

Jeder Prüfblock startet mit einem Starkregen, gefolgt von fünf Intervallen mit je einem Land- und drei Kleinregen (Abbildung 4). Zwischen den einzelnen Prüffregenspenden (Starkregen 20 min, Landregen 60 min, Kleinregen 120 min) müssen je 20 bis 28 h Abstand liegen (pro Tag eine Prüffregenspende). Ausgenommen sind die Wochenenden, an denen keine Beschickungen stattfinden.

Der Remobilisierungstest (SR) mit Tausalz folgt nach SP3 und ist integraler Bestandteil der Standard-Prüfung. Bilanziert wird die Remobilisierung (in Prozent) von der adsorbierten Stoffmenge der vier gelösten Stoffe.



**Abbildung 4**

Prüfplan für die Standard-Prüfung, welche drei Prüfblocke zum Stoffrückhalt (SP1, SP2, SP3) und den Remobilisierungstest (SR) umfasst. Die gesamte Prüfdauer umfasst mindestens 19 Wochen.

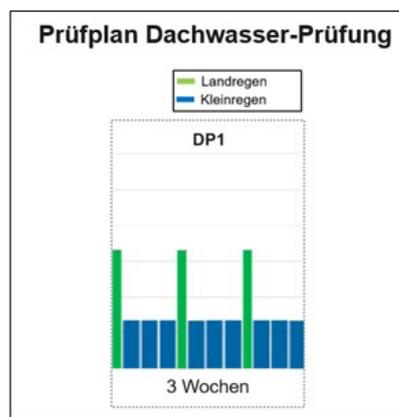
Zwischen den drei Prüfblöcken SP1, SP2 und SP3 sind jeweils Trockenzeiten von je 2 Wochen vorgesehen, da auch in der Realität regenfreie Zeiten auftreten, die Anlagenleistung beeinflussen können. Für die Standard-Prüfung ergibt sich damit eine minimale Prüfdauer von 19 Wochen.

Beispielsweise sind für eine Anschlussfläche von 500 m<sup>2</sup> folgende Stoffmengen als Absolutwerte zu berücksichtigen: 59.3 kg GUS, je 52.7 g Kupfer, Zink, Diuron und MCPP sowie 50 g Tausalz.

## 5.6 Dachwasser-Prüfung

Ist die Adsorberanlage für die Behandlung von Niederschlagsabwasser von «Dach und Fassade» vorgesehen (Tabelle 1), kann die Dachwasser-Prüfung entweder im Anschluss an die Standard-Prüfung oder separat durchgeführt werden.

**Abbildung 5**  
Prüfplan für die  
Dachwasser-Prüfung  
mit 3 Wochen  
Prüfdauer.



Die Abfolge der Prüfreignisse ist definiert und umfasst drei Intervalle von je 1 Land- und nachfolgenden 3 Kleinregen (Abbildung 5). Zwischen den einzelnen Beschickungen müssen mindestens 20 h Abstand liegen. Die Dachwasser-Prüfung dauert demzufolge mindestens 3 Wochen.

Bei einer separaten Durchführung ist die Standard-Prüfung mit GUS-Dosierung vorgängig durchzuführen. Da die Standard-Prüfung in diesem Fall nur für die Vorbeladung durchgeführt werden muss, sind folgende Anpassungen in der Standard-Prüfung möglich:

- Kein Test zur Remobilisierung notwendig (keine Tausalz-Dosierung)
- Dosierung nur der Zielsubstanzen einer Stoffgruppe (Schwermetalle oder Mikroverunreinigungen), entsprechend für die Anwendung bei Metallflächen nur Kupfer und Zink, für pestizidhaltige Bahnen und Beschichtungen nur Diuron und MCPP.
- Probenahme und Analyse dienen nur der Qualitätssicherung. Deshalb sind nur 5 Prüfreignisse mit je 5 Zu- und Ablaufproben, gleichverteilt über die Standard-Prüfung, zu analysieren.

In der Dachwasser-Prüfung werden höhere Konzentrationen von Schwermetallen und Mikroverunreinigungen (je 1 mg/l), jedoch kein GUS dosiert (Tabelle 5). Sofern nur die Behandlung von Niederschlagswasser von Metallflächen vorgesehen ist, kann auf die Dosierung von Mikroverunreinigungen verzichtet werden. Ebenso kann bei der primären Behandlung von Niederschlagswasser pestizidhaltiger Flächen auf Schwermetalle verzichtet werden. Entsprechend wird empfohlen, bei einer klaren Fokussierung auf eine der Stoffgruppen die eingesetzten Adsorbentmaterialien vollständig auf die Zielsubstanzen auszurichten.

## 5.7 Probenahme

Die für die Leistungsbeurteilung relevanten Probenahmen bzw. Analysen sind für die Standard- und Dachwasser-Prüfung festgelegt. Zu beproben sind jeder Stark- und Landregen sowie jeder dritte Kleinregen. Da die Zulaufkonzentrationen pro Ereignis konstant sind, reichen Stichproben aus.

Die gelösten Stoffe werden im Zu- und Ablauf jeweils 5 min vor Ende der Prüfrengspende manuell beprobt. Zur Bestimmung des GUS-Rückhalts werden, ergänzend zu den Ablaufproben, nur der Zulauf des ersten Stark-, Land- und Kleinregens pro Prüfblock (SP1, SP2, SP3) analysiert. Bei der Remobilisierung (SR) kann auf eine Probenahme im Zulauf verzichtet werden.

Standard-Prüfung	Gelöste Stoffe (Kupfer, Zink, Diuron, MCP)	Anzahl Prüfrengen	Analysierte Prüfrengen	Chemische Analysen (Zu- und Ablauf)
	SP1	21	11	22
	SP2	-	-	-
	SP3	21	11	22
	Total	42	22	44
	Analysierte Ereignisse/ Anzahl Prüfrengen	52 %		
	Partikuläre Stoffe (Millisil W4)	Anzahl Prüfrengen	Analysierte Prüfrengen	Chemische Analysen (Zu- und Ablauf)
	SP1	21	11	14
	SP2	21	11	14
	SP3	21	11	14
Total	63	33	42	
Analysierte Ereignisse/ Anzahl Prüfrengen	52 %			

**Tabelle 6**

Anzahl Proben und Analysen bei der Standard- und Dachwasser-Prüfung.

Dachwasser-Prüfung	Gelöste Stoffe (Kupfer, Zink, Diuron, MCP)	Anzahl Prüfrengen	Analysierte Prüfrengen	Chemische Analysen (Zu- und Ablauf)
	DP1	12	6	12
	Total	12	6	12
	Analysierte Ereignisse/ Anzahl Prüfrengen	50 %		

Die Beprobung der gelösten Stoffe erfolgt aus dem Teilstrom an einer Probenahmestelle im Zu- und Ablauf. Für die GUS-Bestimmung ist die Probe aus dem gesamten Querschnitt des Wasserstroms zu entnehmen, weil die Partikel nicht homogen in der Strömung verteilt sein können.

Bis zum Zeitpunkt der Probenahme muss mindestens ein Austauschvolumen die Anlage durchströmen, das bei der Inbetriebnahme durch den Salzversuch ermittelt wurde.

Die Anzahl der Proben und Analysen ist in Tabelle 6 dargestellt. Mit dem gewählten Vorgehen werden in der Standard-Prüfung 22 Ereignisse auf die gelösten Stoffe (Kupfer, Zink, Diuron, Mecoprop) und 33 Ereignisse auf partikuläre Stoffe (GUS: Millisil W4) analysiert. Die Aufteilung der Stichproben korrespondiert mit rund 50 % aller Prüfreispenden.

## 5.8 Bilanzierung der Stoffe

Der stoffliche Wirkungsgrad wird für GUS, die Schwermetalle und Mikroverunreinigungen jeweils für die Standard- und Dachwasser-Prüfungen bewertet.

### a) Stoffrückhalt

Der Rückhalt (stoffspezifische Wirkungsgrad) pro Substanz (Kupfer, Zink, MCP, Diuron, GUS) wird anhand der Zulaufkonzentration ( $C_{Zu}$ ) und der Abflusskonzentration ( $C_{Ab}$ ) jedes analysierten Ereignisses berechnet:

#### Gleichung 7

Stoffspezifischer Wirkungsgrad

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

$C_{Zu}$	Konzentration im Zufluss (mg/l)
$C_{Ab}$	Konzentration im Abfluss (mg/l)
$\eta_{\text{Stoff}}$	Stoffspezifischer Wirkungsgrad $\eta_{\text{Stoff}}$ (%)

### b) Remobilisierung

Die Remobilisierung des jeweils adsorbierten Stoffs ( $\eta_{\text{Rem}}$ ) in Prozent (%) wird aus der Ausgangsbeladung ( $\text{Fracht}_{\text{Ads}}$ ) pro Stoff und der remobilisierten Menge im Remobilisierungstest ( $\text{Fracht}_{\text{Rem}}$ ) berechnet:

#### Gleichungen 8 bis 10

Berechnung des Stoffrückhalts bei Remobilisierung.

$$\text{Fracht}_{\text{Ads}} [\text{mg}] = \frac{\text{Fracht}_{\text{Besch}} [\text{mg}]}{100 [\%]} \cdot \eta_{\text{Anlage}} [\%]$$

$$\text{Fracht}_{\text{Rem}} [\text{mg}] = 10 \cdot V_{\text{Bett}} [\text{l}] \cdot C_{\text{Ab}} [\text{mg/l}]$$

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

$\text{Fracht}_{\text{Ads}}$	Adsorbierte Fracht [mg]
$\text{Fracht}_{\text{Besch}}$	Beschickte Fracht in der Standard-Prüfung bezogen auf die Substanz [mg]
$\eta_{\text{Anlage}}$	Wirkungsgrad der Anlage bezogen auf die Substanz [%]
$\text{Fracht}_{\text{Rem}}$	Remobilisierte Fracht [mg]
$V_{\text{Bett}}$	Filterbettvolumen der Adsorberanlage [l]
$C_{\text{Ab}}$	Konzentration im Abfluss [mg/l]
$\eta_{\text{Rem}}$	Stoffrückhalt bei Remobilisierung [%]

Die Beladung des Adsorbermaterials mit den Schwermetallen und Mikroverunreinigungen wird aus dem Wirkungsgrad der Anlage bezogen auf die Substanzen bestimmt. Die remobilisierte Stoffmenge ist folglich auf den effektiv zurückgehaltenen Anteil bezogen.

## 5.9 Beurteilung der Behandlungsanlagen

### a) Hydraulischer Wirkungsgrad

In der Standard-Prüfung muss bis Versuchsende der hydraulische Wirkungsgrad  $\geq 90$  % liegen. Der kritische Bemessungsdurchfluss darf demnach bis zum Ende des Tests maximal 10 % abnehmen. Dann ist die Voraussetzung für die Beurteilung des stofflichen Wirkungsgrads uneingeschränkt erfüllt.

Anlagen < 90 % hydraulischem Wirkungsgrad erfüllen die Anforderungen nicht uneingeschränkt und Massnahmen bei der Planung sind notwendig. Folgende Punkte können dabei einfließen:

- Retentionsmassnahmen prüfen
- Stoffliche Belastung der Herkunftsflächen
- Ableitung des Notüberlaufs

Die Empfehlung der Anlage durch den VSA muss zuerst mit der technischen Kommission abgesprochen werden.

### b) Stofflicher Wirkungsgrad

Für die Beurteilung einer getesteten Anlage sind zunächst die ermittelten Wirkungsgrade aller beprobten Ereignissen und einzelner Substanzen der jeweiligen Prüfregenspenden Stark-, Land-, und Kleinregen als Mittelwert zusammenzufassen. Dies resultiert in einem Mittelwert der beprobten Starkregen, einem Mittelwert der beprobten Landregen und einem Mittelwert der beprobten Kleinregen für jede Substanz. Die resultierenden drei Mittelwerte pro Substanz der Standard-Prüfung und zwei Mittelwerte der Dachwasser-Prüfung (kein Starkregen) werden gemäss Tabelle 7 gewichtet in ein Gesamtwirkungsgrad eingerechnet.

Standard-Prüfung			Dachwasser-Prüfung		
Prüfregenspende	Anzahl	Anteil	Prüfregenspende	Anzahl	Anteil
Starkregen	3	5 %	Starkregen	-	-
Landregen	15	24 %	Landregen	3	25 %
Kleinregen	45	71 %	Kleinregen	9	75 %
Total	63	100 %	Total	12	100 %

**Tabelle 7**

Gewichtung der Wirkungsgrade für die Standard- und Dachwasserprüfung zur Beurteilung des Gesamtwirkungsgrades.

Über die Testdauer der Standard- und Dachwasser-Prüfung sollte pro Substanz der mittlere Stoffrückhalt > 50 % betragen, um den mittleren Rückhalt pro Stoffgruppe für Schwermetalle (Kupfer, Zink) und Mikroverunreinigungen (Diuron, MCP) zu bestimmen.

Ein geringerer mittlerer Stoffrückhalt wird nur in Rücksprache mit der technischen Kommission des VSA bewertet.

Die Wirkungsgrade der einzelnen gelösten Substanzen werden für die Auswertung als Mittelwert in ihre Stoffgruppe zusammengefasst. Der Mittelwert von Kupfer und Zink bildet den zu bewertenden Stoffrückhalt für Schwermetalle und der Mittelwert von MCP und Diuron den Rückhalt für Mikroverunreinigungen.

Die Auswertung ist folgende:

- Anforderung erhöht (grün): Rückhalt  $\geq$  90 % für Schwermetalle, Mikroverunreinigungen und GUS

- Anforderung Standard (gelb): Rückhalt  $\geq 70$  bis  $90$  % für Schwermetalle und Mikroverunreinigungen,  $\geq 80$  bis  $90$  % für GUS
- Anforderung nicht erfüllt (rot): Rückhalt  $< 70$  % für Schwermetalle und Mikroverunreinigungen,  $< 80$  % für GUS.

Bei Grün ist die Anforderung «Erhöht» voll erfüllt (Tabelle 8). Zum Erreichen der Anforderung «Standard» ist pro Stoff stets Gelb zu erreichen. Rote Klassierungen führen zur nächsttieferen Anforderung in der Gesamtbeurteilung.

Nach der Prüfung wird die Adsorberanlage den möglichen Einsatzbereichen und Leistungsstufen zugeordnet ( $B_{\text{Standard}}$ ,  $B_{\text{Erhöht}}$ ).

Anlagen mit mindestens einem stofflichen Rückhalt  $\geq 80$  % für GUS sowie  $\geq 70$  % für Schwermetalle und Mikroverunreinigungen (Standard) werden für die Behandlung von Niederschlagswasser empfohlen.

**Tabelle 8**

Anforderungen aufgrund des erreichten Rückhaltes.

Farbe	Rückhalt	Anforderungen
	$\geq 90$ %	<b>Erhöht:</b> Die Anlage wird bei geringen, mittleren und hohen Belastungen empfohlen.
	$\geq 70$ % bis $< 90$ %, GUS $\geq 80$ %	<b>Standard:</b> Die Anlage ist bei geringen und mittleren Belastungen empfehlenswert.
	$< 70$ %, GUS $< 80$ %	<b>Nicht erfüllt:</b> Die Anlage wird nicht empfohlen.

### c) Remobilisierung

Der Remobilisierungstest gilt als bestanden, wenn von den Schwermetallen und Mikroverunreinigungen je  $\leq 1$  % remobilisiert werden. Sollte die Remobilisierung nur für eine Stoffgruppe eingehalten sein, ist die Technische Kommission beizuziehen.

### d) Standzeit

Die erwartete Standzeit der Anlage ist vom Hersteller zu benennen und wird im Stammdatenblatt aufgenommen.

## **6 DOKUMENTATION UND GESAMTBURTEILUNG**

Die gesamten Resultate der Leistungsprüfung werden in einem Laborbericht dokumentiert. Der Bericht wird von der technischen Kommission des VSA auf Plausibilität überprüft.

In einem Stammdatenblatt werden die bewertungsrelevanten Ergebnisse, der Einsatzbereich der Anlagen, der Produkttyp sowie weitere technische Angaben zusammengefasst. Aufgrund dieser Angaben erfolgt die Freigabe der Prüfergebnisse.

## 7 LITERATUR

- [1] GSchV, Gewässerschutzverordnung, 28. Oktober 1998.
- [2] Wicke et. al., Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins (OgRe), Kompetenzzentrum Wasser, Berlin, 2015.
- [3] Clara et. al., Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen, BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2014.
- [4] Wittmer et. al., Loss rates of urban biocides can exceed those of agriculture pesticides, Science of the Total Environment, 409 (5), 920-932.
- [5] Schlupe et. al., Organische Mikroverunreinigungen und Nährstoffe - Eine Standortbestimmung für die Siedlungswasserwirtschaft, Umwelt Wissen 14, Bern, BAFU Bundesamt für Umwelt, 2006.
- [6] VSA, Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter, Glattbrugg, 2019.
- [7] VSA, Merkblatt - Feldtest, Glattbrugg 2023.
- [8] Huber et al., Dezentrale Niederschlagswasserbehandlungsanlagen für Verkehrsflächen- und Metalldachabflüsse: Schacht-/Kompaktsysteme, Rinnensysteme, Straßeneinläufe und Flächenbeläge. Bericht, Garching, 2015.
- [9] ASTRA, Leistungsprüfung neuer Verfahren, Bundesamt für Strassen, Bern, 2022.

## 8 GLOSSAR

<b>Adsorberanlage</b>	Niederschlagswasserbehandlungsanlagen im Sinne dieser Leistungsprüfung sind Abwasserbehandlungsanlagen, die das anfallende Niederschlagswasser durch physikalische und chemische Verfahren so behandeln, das es anschliessend versickert oder in ein Oberflächengewässer eingeleitet werden darf. Solche Anlagen bestehen beispielsweise aus einem Sedimentationsraum zum Rückhalt von Partikeln und einem Filterelement zur Bindung gelöster Stoffe.
<b>Adsorbermaterial</b>	Substrat zum Rückhalt von gelösten Stoffen aus Wasser vornehmlich durch Adsorption. Aufgrund der Materialeigenschaften können Adsorber auch den pH-Wert beeinflussen und ausgefällte Metalle durch Filtration zurückhalten.
<b>Adsorption</b>	Anreicherung von Stoffen aus Wasser an der Oberfläche eines Festkörpers. Synonym: Rückhalt.
<b>Abflussbeiwert</b>	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.
<b>Aliquot</b>	Teil einer Probe.
<b>Anlagevolumen</b>	Das bis zum Ruhewasserspiegel mit Wasser befüllbare Volumen einer Anlage.
<b>Anschlussfläche</b>	Die gesamte Fläche (m <sup>2</sup> ), welche an einer Adsorberanlage angeschlossen ist. Die Fläche ist nicht korrigiert um den Abflussbeiwert, entspricht folglich nicht der abflussreduzierten Fläche.
<b>Anschlussflächenverhältnis</b>	Verhältnis von angeschlossener Fläche zu Filterfläche.
<b>Austauschvolumen</b>	Das Wasservolumen, das von jeder Anlage zurückgehalten wird. Es ist das Speichervolumen (Totvolumen) welches im Betrieb ausgetauscht wird.
<b>Bettvolumen</b>	Das vom Adsorptionsmaterial in der Säule eingenommene Volumen.
<b>Dezentral</b>	Die Anschlussfläche umfasst in der Regel <4000 m <sup>2</sup> .
<b>GUS</b>	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).
<b>Kompaktanlage</b>	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.
<b>Liegenschaft</b>	(Bebautes) Grundstück mit Häusern, Plätzen, Garagen, Strassen, Parkplätzen usw.
<b>Mischprobe</b>	Durch Mischen von Einzelproben resultierende Gesamtprobe.

<b>Prüfregenspende</b>	Eine definierte Wassermenge, die aus Niederschlagsstatistiken empirisch hergeleitet und aggregiert wurde, und mit der eine Anlage bei der Leistungsprüfung hydraulisch belastet wird. Dies sind Stark-, Land- und Kleinregen, die bestimmte Regenhöhen mit gewissen statistischen Wiederkehrzeiten aufweisen. Auf eine Feldinstallation übertragen, entspricht die Prüfregenspende der effektiv abfließenden Niederschlagwassermenge. Sie ist nicht identisch mit der Niederschlagsmenge.
<b>Remobilisierung</b>	Freisetzung von adsorbierten Substanzen, hier die Rücklösung von Testsubstanzen durch den Einsatz von Tausalz.
<b>Riffelteiler</b>	Gerät zur repräsentativen Probenteilung von trockenen, schüttbaren Proben.
<b>Rückhalt</b>	Die Fähigkeit einer Anlage, die im zufließenden Niederschlagswasser enthaltenen Partikel, Schwermetalle und Mikroverunreinigungen zurückzuhalten. Der Rückhalt kann beispielsweise über Adsorption, Filtration oder Fällung/Filtration erfolgen.
<b>Technische Behandlungsanlage</b>	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.

# 9 ANHANG

## 9.1 Dokumentation der Laborresultate

Auftraggeber: <input type="text"/> Auftragsnummer: <input type="text"/>		Probeneingang im Labor: <input type="text"/> Probennummer: <input type="text"/>						
Art des Adsorbentmaterials: <input type="text"/>		Einsatzbereich des Adsorbentmaterials: <input type="text"/>						
Abweichungen oder Besonderheiten und Begründung: <input type="text"/>								
	$C_{zu}$ [mg l <sup>-1</sup> ]	$C_{ab}$ [mg l <sup>-1</sup> ]	$\eta_{Stoff}, \eta_{Rem}$ [%]	Mittel $\eta_{Stoff}$ [%]	Beladung [mg/g]	Mittel Beladung [mg/g]	pH Zu- / Ablauf	LF Zu- / Ablauf [ $\mu S\ cm^{-2}$ ]
<b>Kupfer</b>	1. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	2. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	3. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	4. Teilabschnitt (Remobilisierung)							
<b>Zink</b>	1. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	2. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	3. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	4. Teilabschnitt (Remobilisierung)							
<b>MCPP</b>	1. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	2. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	3. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	4. Teilabschnitt (Remobilisierung)							
<b>Diuron</b>	1. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	2. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	3. Teilabschnitt (Rückhalt)							
	4. Teilabschnitt (Remobilisierung)							

**Tabelle 9**

Formular zur Dokumentation der Laborresultate. Das Formular wird auf der VSA-Homepage zur Verfügung gestellt.

## 9.2 Herleitung der Prüfreignispenden

Regenereignisse treten mit unterschiedlicher Intensität, Dauer und Wiederkehrperiode auf. Für den simulierten Feldtest wurden Niederschlagsstatistiken über 20 Jahre ausgewertet, um drei verschiedene Prüfreignispenden herzuleiten (Abbildung 8):

- Starkregen: Extremereignis, tritt durchschnittlich einmal pro Jahr auf
- Landregen: Schweizer Durchschnittsereignis mit hohen Abflussmengen
- Kleinregen: Geringe Intensität über grosse Zeitspanne

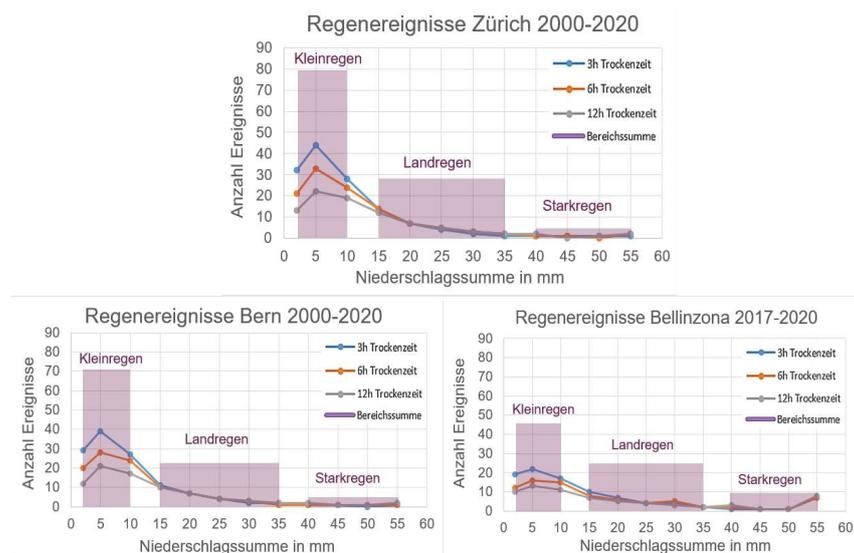
Die generelle Niederschlagsverteilung in der Schweiz ist in Regionen aufgeteilt, wobei die Intensität und Dauer aus SN 640 350 hergeleitet wurde [2].

Üblicherweise wird der Niederschlag in Intervallen von 5 bis 10 min und einer Auflösung von 0.1 mm gemessen. Daher wurde zunächst die Anzahl abflussrelevanter Ereignisse zwischen 2000 und 2020 für Zürich (Messstation «Fluntern»), Bern (Messstation «Zollikofen») und Bellinzona (Messstation «Cadenazzo») aus Daten von Meteoswiss bestimmt, welche > 0.1 mm in 10 min und mindestens 100 min Dauer umfassen. Mehrere Einzelereignisse wurden für Trockenwetterphasen von 3, 6 und 12 h Dauer vor und nach dem Ereignis analysiert.

Für die Festlegung der Prüfreignispenden wurde Zürich stellvertretend für die Region «Mittelland und Tesin Nord» gewählt, weil diese Region den Schweizer Durchschnitt gut repräsentiert.

### Abbildung 8

Durchschnittliche Anzahl von Regenereignissen (Regenmengen) pro Jahr in Zürich, Bern und Bellinzona zugeordnet in drei Kategorien. Die Ereignisse sind jeweils zwischen 2000 und 2020 oder 2017 und 2020 mit einem zeitlichen Abstand von 3, 6 und 12 h Trockenwetter davor und danach integriert.



Für die Prüfreignispende Starkregen wurden Ereignisse mit einer Intensität von 40 mm/h über 20 min bei gezogen.

Die Prüfreignispende Landregen mit 20 mm Intensität über 60 min Dauer basiert auf im Jahresmittel 135 Regenereignisse mit 15 mm Regenhöhe. Damit wird die Streuung der realen Regenereignisse hinreichend abgedeckt.

Am häufigsten treten Regen mit durchschnittlich 5 mm Intensität über 2 h Dauer auf, worauf die Prüfreignispende Kleinregen beruht. Die geringen Abflussmengen führen zwar zu einer geringen hydraulischen Belastung in Adsorberanlagen, aber dennoch müssen über die gesamte Zeitspanne hohe stoffliche Wirkungsgrade erzielt werden.

### 9.3 Hinweise zur Stabilität und Ausfällung der dosierten Stoffe

Mehrere Versuche wurden durchgeführt, um die Qualitätssicherung der Analytik zu gewährleisten. Insbesondere wurde der Einfluss des verwendeten Leitungswassers auf die Löslichkeit der dosierten Stoffe untersucht. Dafür wurden die Schwermetalle (Kupfer, Zink), Mikroverunreinigungen (Diuron, MCPP) und Millisil W4 zugesetzt und analysiert. Geprüft wurde die Abweichung von den Zielkonzentrationen und die Stabilität der Proben (z.B. Ausfällungen). Nachfolgend werden das Vorgehen und die Resultate beschrieben.

#### a) Schwermetalle

Zink und Kupfer wurden dem Leitungswasser in Konzentrationen von 0.1, 0.2 und 1 mg/l zugesetzt. Anschließend wurde der gelöste und gesamte Gehalt analysiert (Tabelle 10). Bei einem pH-Wert von 7.4 - 7.7 lagen alle drei Konzentration vollständig in gelöster Form vor. Die Anwesenheit von Diuron und MCPP (je 1 und 200 µg/l) sowie Millisil W4 (50 mg/l) hatten keinen Einfluss auf den gelösten Anteil der Schwermetalle.

Stoff	pH	Soll-Konzentration [mg/l]	Ist-Konzentration		Anteil gelöst [%]
			gelöst [mg/l]	gesamt [mg/l]	
Kupfer	7.7	0.1	0.11	0.11	100
Zink	7.7	0.1	0.11	0.11	100
Kupfer	7.5	0.2	0.20	0.20	100
Zink	7.5	0.2	0.21	0.21	100
Kupfer	7.8	1.0	0.91	0.91	100
Zink	7.8	1.0	0.95	0.95	100

**Tabelle 10**

Ergebnisse des gelösten Gehalts an Schwermetallen im zugesetzten Leitungswasser.

#### b) Mikroverunreinigungen

Diuron und MCPP wurden dem Leitungswasser in Konzentrationen von 1 und 200 µg/l zugesetzt. Dafür wurden zunächst zwei Stammlösungen mit Diuron und MCPP in Ethanol (1.0 und 0.5 g/l) hergestellt. Wie sich zeigt, führt selbst die höhere Konzentration (1 g/l) in Ethanol nicht zu Ausfällungen (Tabelle 11). Auch im Leitungswasser wurden nach Zugabe der beiden Stammlösungen die Soll-Konzentrationen nachgewiesen. Die Zugabe von Millisil W4 (50 mg/l), Kupfer und Zink (je 0.1, 0.2, 1.0 mg/l) hatten keinen messbaren

Einfluss auf die Konzentrationen von Diuron und MCPP				
Stoff	pH	Soll Konzentration [µg/l]	Ist Konzentration [µg/l]	Abweichung [%]
Diuron	7.7	1.0	0.90	-10
MCPP	7.7	1.0	1.00	0
Diuron	7.7	1.0	0.85	-15
MCPP	7.7	1.0	0.93	-7
Diuron	7.5	200	185	-8
MCPP	7.5	200	199	-1

**Tabelle 11**

Ergebnisse von Diuron und MCPP in zugesetztem Leitungswasser.



Verband Schweizer Abwasser-  
und Gewässerschutzfachleute (VSA)  
Europastrasse 3  
Postfach, 8152 Glattbrugg  
sekretariat@vsa.ch  
www.vsa.ch  
Tel. 043 343 70 70