VSA-LEISTUNGSPRÜFUNG

LEISTUNGSERMITTLUNG IN LABOR- UND FELDTESTS FÜR ANLAGEN ZUR NIEDERSCHLAGSWASSERBEHANDLUNG

Damit die Leistungsfähigkeit von Kompaktanlagen, Schacht- und Rinnenfiltersystemen für die Behandlung von Dach-, Fassaden-, Platz- und Strassenabwasser vergleichbar ermittelt werden kann, wurde die VSA-Leistungsprüfung erarbeitet. Das zweistufige Vorgehen umfasst Labor- und Feldtests, in denen der Stoffrückhalt von Kupfer, Zink, Diuron und Mecoprop – im Feld auch von gesamten ungelösten Stoffen – bilanziert wird. Anlagen mit mindestens 70% stofflichem Wirkungsgrad werden durch den VSA für die Praxis empfohlen.

Michael Burkhardt; Stella Schmidt, HSR Hochschule für Technik Rapperswil*
Roland Bigler, Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern (AWA)

RÉSUMÉ

CONTRÔLE DES PERFORMANCES D'INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DES EAUX PLUVIALES

De nombreux produits existent aujourd'hui, permettant d'éliminer les substances dissoutes et particulaires des eaux pluviales s'écoulant des toitures, le long des façades, sur les places et les chaussées. Un groupe de projet du VSA a élaboré un contrôle de performance pour pouvoir déterminer de manière comparable le niveau d'efficacité d'installations compactes et de systèmes de filtration pour puits et caniveaux.

La procédure englobe un essai en colonne en laboratoire sur la rétention et la remobilisation du cuivre, du zinc, du diuron et du mécoprop. Ce test révèle le niveau de qualité de la rétention des différentes substances. Des essais préliminaires ont montré qu'il est très facile de différencier les divers matériaux. Si au moins 70% d'un groupe de substances sont éliminés, il convient de passer à l'étape du test de terrain. Avec deux installations, où la capacité de rétention de substances particulaires MES est également déterminée, ce test permet de mesurer sur une année le rendement hydraulique et de la rétention des substances. Le test *in-situ* est déterminant pour l'évaluation globale. La nouvelle recommandation du VSA préconise des installations présentant

> S. 41

HINTERGRUND

Abfliessendes Niederschlagswasser von Gebäuden, Strassen, Wegen und Plätzen umfasst je nach örtlichen Verhältnissen einen ganzen Cocktail von anorganischen und organischen Schadstoffen [1-4]. Von Metalldächern und -fassaden und im Strassenabwasser sind Schwermetalle (z. B. Kupfer, Zink) zu erwarten. Organische Stoffe gelangen aus Baumaterialien (z. B. Flammschutzmittel, Weichmacher, Pestizide), dem Unterhalt von Wegen und Grünflächen (z. B. Pflanzenschutzmittel, Insektizide) oder über den Strassenverkehr (z. B. Schwermetalle, Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW), Vulkanisationsmittel, Stabilisatoren, Tausalze) ins Wasser. Die Stoffeinträge in Gewässer umfassen beispielsweise das Herbizid Glyphosat aus der Anwendung in Gärten, Plätzen und auf Bahngleisen, Benzothiazol als Vulkanisationsbeschleuniger im Abrieb von Pneus und anderen Kautschukprodukten oder Mecoprop (MCPP) aus wurzelfesten Bitumendachbahnen und aus der Anwendung als Herbizid auf privaten und öffentlichen Grünflächen. Dabei spielen nicht nur die Ausgangssubstanzen, sondern auch deren Transformationsprodukte eine Rolle. Die partikuläre Fracht, die geogenen Ursprungs ist oder aus Abrieb- und Verbrennungsprozessen stammt, wird mit der gesamten ungelösten Stofffraktion (GUS)

** Kontakt: michael.burkhardt@hsr.ch*

zusammengefasst. Untersuchungen zeigen, dass mehr als 80% der Gesamtfracht von Kupfer, Zink, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und GUS mit dem Niederschlagswasser aus Trennsystemgebieten diffus in Gewässer eingeleitet werden [5]. Bemerkenswert ist insbesondere, dass zahlreiche organische Spurenstoffe wie MCPP, Organophosphate TBEP und TCPP, Carbendazim, Terbutryn und Diuron überwiegend regengetrieben in die Gewässer gelangen. Die Emissionsschwerpunkte hängen im Wesentlichen mit Art und Alter der Siedlungsstruktur, Verkehr sowie Unterhaltsarbeiten zusammen.

TECHNISCHE MERKMALE VON REGENWASSERBEHANDLUNGSANLAGEN

Eine zukunftsweisende Bewirtschaftung von urbanen Niederschlagswasserabflüssen sollte so ausgerichtet sein, dass die gelösten und partikulären, organischen und anorganischen Stoffe bereits vor Erreichen der Gewässer wirksam zurückgehalten werden. Massnahmen sind dort angebracht, wo Belastungsschwerpunkte mit umweltproblematischen Stoffen zu erwarten sind. Seit vielen Jahren wird deshalb verschmutztes Niederschlagswasser über beispielsweise Boden, Sand-, Splittfilter behandelt. Verschiedene bauliche Varianten sind in der Praxis etabliert, die im Zusammenhang mit der Strassenabwasserbehandlung generell als «SABA» bezeichnet werden [6, 7]. Die Stärken dieser Verfahren liegen beim Rückhalt von GUS, Schwermetallen und MKW. Organische Spurenstoffe lassen sich dagegen nur in geringem Masse zurückhalten. Der Eintrag ins Grundwasser ist deshalb zu erwarten [8]. Der geringe Rückhalt ist auf die Stoffeigenschaften (Polarität), aber auch die pedologischen Eigenschaften zurückzuführen. Eine hohe Wasserdurchlässigkeit ($> 10^{-4}$ m/s) und kurze Sickerstrecken stehen der Anforderung nach schnellem und hohem Bindungsvermögen diametral gegenüber.

TECHNISCHE KOMPAKTANLAGEN

Weil im innerstädtischen Bereich oder entlang von Strassen der Platz für flächenintensive Bodenfilter fehlt, haben technische Kompaktanlagen (technische SABAs), Schacht- und Rinnensysteme, in denen das Niederschlagswasser vor der Versickerung oder Einleitung in ein Oberflächengewässer behandelt wird, stark an Bedeutung gewonnen [9]. Die Anlagen bestehen in der Regel aus einer Retention, einer Abscheidung für Partikel und einer gezielt konzipierten Substratmischung. In der Regel müssen bei Adsorbersystemen, zur Erzielung der gewünschten Gesamtleistung aufgrund der limitierten Durchflusskapazität, Drosselungen und Retentionsvolumen vorhanden sein. Bei gewissen Systemen, z. B. Rinnensystemen, sind neben der Einstauhöhe über dem Substrat keine weiteren Retentionsvolumina vorhanden. Bei mehrstufigen Anlagen sind verschiedene Wirkmechanismen nicht immer klar in unterschiedlichen Bauteilen getrennt voneinander umgesetzt.

Die Anwendungen zielen auf die Behandlung von Dach-, Fassaden- und Strassenabwasser. Schwerpunktmässig sind Kompaktanlagen, Schacht- und Rinnensysteme auf den Rückhalt von GUS, MKW und gelösten Schwermetallen ausgelegt. Bei Metalldächern und -fassaden sind Anlagen für den reinen Rückhalt von gelösten Schwermetallen in gewissen Fällen obligatorisch [6]. Zunehmend werden auch Anlagenkonzepte mit Bindungsvermögen für organische Stoffe beworben oder für solche Anforderungen spezifisch entwickelt. Eine zentrale Anlage zum Rückhalt von organischen und anorganischen Stoffen im Regenwasser wird in Ostermundigen bei Bern betrieben [10].

Technische Adsorbermaterialien eröffnen beim Stoffrückhalt neue Perspektiven, weil sie auf die Belastungen spezifisch abgestimmt werden können. Die Materialien bestehen entweder aus einer einzigen Komponente, z. B. granulierten Eisenhydroxiden, granulierten Aktivkohlen oder Zeolithen oder aus der Mischung von mehreren Komponenten. Durchströmt wird das Adsorbermaterial vertikal oder lateral und liegt bei Trockenwetter wasserungesättigt oder wassergesättigt vor. Manchmal wird der pH-Wert durch Karbonate oder Beton in den alkalischen Bereich verschoben, damit gelöste Metalle ausfallen und als Partikel aus dem Niederschlagswasser filtriert werden.

Da neben der rein adsorptiven Wirkung auch gefällte Metalle oder zugeströmte Partikel abgeschieden werden, funktioniert der Adsorber auch als Raumfilter. Diese Funktion kann zu unerwarteten hydraulischen Limitierungen (Kolmatierung des Filters) führen, sodass die versprochenen Standzeiten nicht erreicht werden. Gegen die Kolmation ist deshalb eine wirksame Vorabscheidung oder eine Verkürzung der Unterhaltsintervalle erforderlich. Die Begriffe «Adsorbermaterial» und «Adsorberanlage» erstrecken sich folglich auf die Abscheidung von gelösten Stoffen mittels Adsorption sowie partikulären Stoffen mittels Filtration mit synthetischen oder natürlichen Materialien. Die Doppelfunktion tritt in Abhängigkeit vom pH-Wert und der GUS-Vorabscheidung mehr oder weniger stark auf. Die hier verwendete Terminologie verzichtet auf eine breitere Differenzierung.

PLANUNGSGRUNDLAGEN

Für die Planung, den Bau und den erfolgreichen Betrieb von Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung werden zuverlässige Kenngrössen, wie stofflicher Rückhalt und hydraulischer Wirkungsgrad, zur Einordnung der Leistungsfähigkeit der Adsorberanlagen benötigt. In der Schweiz bestehen jedoch noch viele offene Fragen zum Wirkungsgrad von Adsorberanlagen, weil weder eine konsistente Teststrategie existiert noch einheitliche Anforderungen an die Behandlungsziele (Zielgrössen) festgelegt sind. In Deutschland und Österreich dagegen sind Laborverfahren für die Behandlung von Strassenabwasser entwickelt worden, um den Wirkungsgrad unter Einheitsbedingungen zu ermitteln und leistungsstarke Produkte zu empfehlen [11, 12]. Durch die abgestimmte Vorgehensweise lassen sich die Anzahl kostspieliger Parallelmessungen und spätere Fehlinvestitionen reduzieren. Zur weiteren Verbesserung lässt die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) das Merkblatt M-179 «Dezentrale Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung» entwerfen, in dem Verfahrensprinzipien, Planungsgrundlagen, Betrieb usw. definiert werden.

Um Leistungskenngrössen zum stoffspezifischen Rückhalt und hydraulischen Wirkungsgrad für technische Adsorberanlagen unter vergleichbaren Bedingungen auch in der Schweiz zu ermitteln, wurde durch eine Projektgruppe im VSA eine zweistufige Leistungsprüfung entworfen [13]. Das Konzept schlägt schweizweit einheitliche Test- und Beurteilungskriterien vor. Der Entwurf ist in enger Abstimmung zur neuen VSA-Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter» erarbeitet worden, gemäss welcher fallspezifisch Dach-, Fassaden-, Platz- und Strassenabwasser mit Adsorberanlagen behandelt werden kann [6].

VSA-LEISTUNGSPRÜFUNG

ANWENDUNGSBEREICH UND ABGRENZUNG

Mit der Leistungsprüfung werden dezentrale technische Kompaktanlagen, Schacht- und Rinnensysteme untersucht, die für den Rückhalt von partikulären und gelösten Stoffen aus Niederschlagswasser von Dächern, Fassaden, Liegenschaften, Plätzen und Strassen (= technische SABAs) für geringe bis hohe Belastungsklassen entwickelt wurden. Diese Anlagen zeichnen sich durch eine standardisierte Bauweise und ähnliche Verfahrensprinzipien aus [9].

Solche Schacht- bzw. Kompaktanlagen behandeln in der Regel Niederschlagsabflüsse von Anschlussflächen bis 3000 m². Rinnensysteme weisen unterschiedliche Breiten auf und erfassen konstruktionsbedingt Abflüsse von eher kleinen Flächen. Je Quadratmeter Rinnenfläche werden in der Regel 40 bis 70 m² zu entwässernde Fläche angeschlossen.

Im Rahmen der Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) werden in Deutschland teilweise die gleichen Anlagentypen unter kontrollierten Laborbedingungen getestet, sodass die Erkenntnisse aus diesem Zulassungsverfahren auch beim Schweizer Vorgehen genutzt werden können [11]. Die Vorgehensweise der VSA-Leitungsprüfung ist komplementär zur DIBt-Leistungsprüfung einzustufen.

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

Nicht vorgesehen ist die Leistungsprüfung für beispielsweise Boden-, Sand- oder Splittfilter, die sich durch fallspezifische Dimensionierung und grössere Einzugsgebiete auszeichnen und im Rahmen der Leistungsprüfung gemäss ASTRA-Vorgehen geprüft werden sollen [14]. Systeme für den ausschliesslichen Rückhalt von Partikeln, die gelöste Stoffe nicht zurückhalten können (z. B. Schlammsammler, Absetzbecken, Filtersäcke), gehören ebenfalls nicht zum Anwendungsbereich des Prüfverfahrens.

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

ZWEISTUFIGES VORGEHEN

Die zweistufige Leistungsprüfung umfasst einen Labor- und einen Feldtest. Mit dem Labortest wird der potenzielle Stoffrückhalt des technischen Adsorbermaterials für gelöste Stoffe (Kupfer, Zink, Diuron, MCPP) bestimmt. Der Labortest dient Herstellern als objektive Entscheidungshilfe, ob der Feldtest sinnvoll ist und welches Anwendungspotenzial das Adsorbersubstrat aufweist. Im Feldtest werden von zwei identischen Anlagen der hydraulische Wirkungsgrad sowie der stoffliche Rückhalt für GUS und gelöste Stoffe ermittelt und damit Planungs- und Betriebshinweise, die unter einheitlichen Bedingungen erarbeitet werden, bereitgestellt. Sind MCPP oder Diuron nicht nachweisbar, kann ein anderes organisches Pestizid mit hoher oder geringer Mobilität gewählt werden. Erst wenn beide Tests durchgeführt sind, gilt der gesamte Leistungstest als komplett abgeschlossen. Der Hersteller kann seine Anlagen für alle oder für einzelne Stoffgruppen prüfen lassen.

LABORTEST

Der Labortest zielt auf die Vergleichbarkeit technischer Adsorbermaterialien zum Rückhalt von gelösten Stoffen und ist ein reiner Materialtest. Der Labortest beabsichtigt nicht die Realität widerzuspiegeln, sondern unter reproduzierbaren Bedingungen den Rückhalt bei unterschiedlicher hydraulischer Belastung mit einer kostengünstigen Methodik abzuschätzen. Die Ausgangskonzentrationen sind so gewählt, dass selbst bei hoher Rückhalteleistung die Ablaufkonzentrationen eindeutig quantifizierbar sind sowie mit der beaufschlagten Wassermenge 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 durch die Hersteller zu bestimmen.

VORGEHEN

Im Säulenversuch wird das Adsorbermaterial in ursprünglicher Zusammensetzung über drei Abschnitte zum Stoffrückhalt und einem zur Remobilisierung getestet. 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.

Die Säule weist eine Länge 170 mm und einen Innendurchmesser von 80 mm auf *(Fig. 1)*. Die Komponenten sollten aus Glas, HDPE oder Polypropylen bestehen, die Schläuche aus Teflon. Das lufttrockene Adsorbermaterial ist gemäss Herstellerangaben in die Glassäule einzubauen.

Vorzubereiten sind zwei verschiedene Testlösungen: eine für den Stoffrückhalt und eine für die Remobilisierung. Zur Bestimmung des Rückhalts werden für die drei Testabschnitte jeweils 36 Liter Lösung mit jeweils 0,5 mg l^{-1} Kupfer, Zink, Diuron und MCPP benötigt. Pro Testabschnitt gelangen 18 mg (36 l × 0,5 mg l^{-1}) bzw. über alle drei Testabschnitte 54 mg Stoff auf das Adsorbermaterial. Bei der Durchführung der Testabschnitte muss der pH-Wert der Lösung durchgängig im Bereich pH 6,0 ± 0,2 liegen. Die Remobilisierung der adsorbierten Zielsubstanzen wird mit 36 Liter Salzlösung bei einer

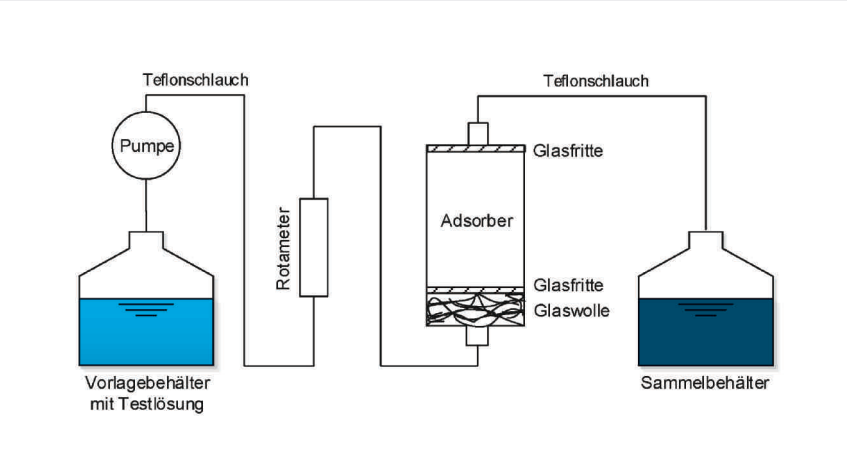

Fig. 1 Schematischer Aufbau des Säulenversuchs / Schéma du déroulement de l'essai en colonne.

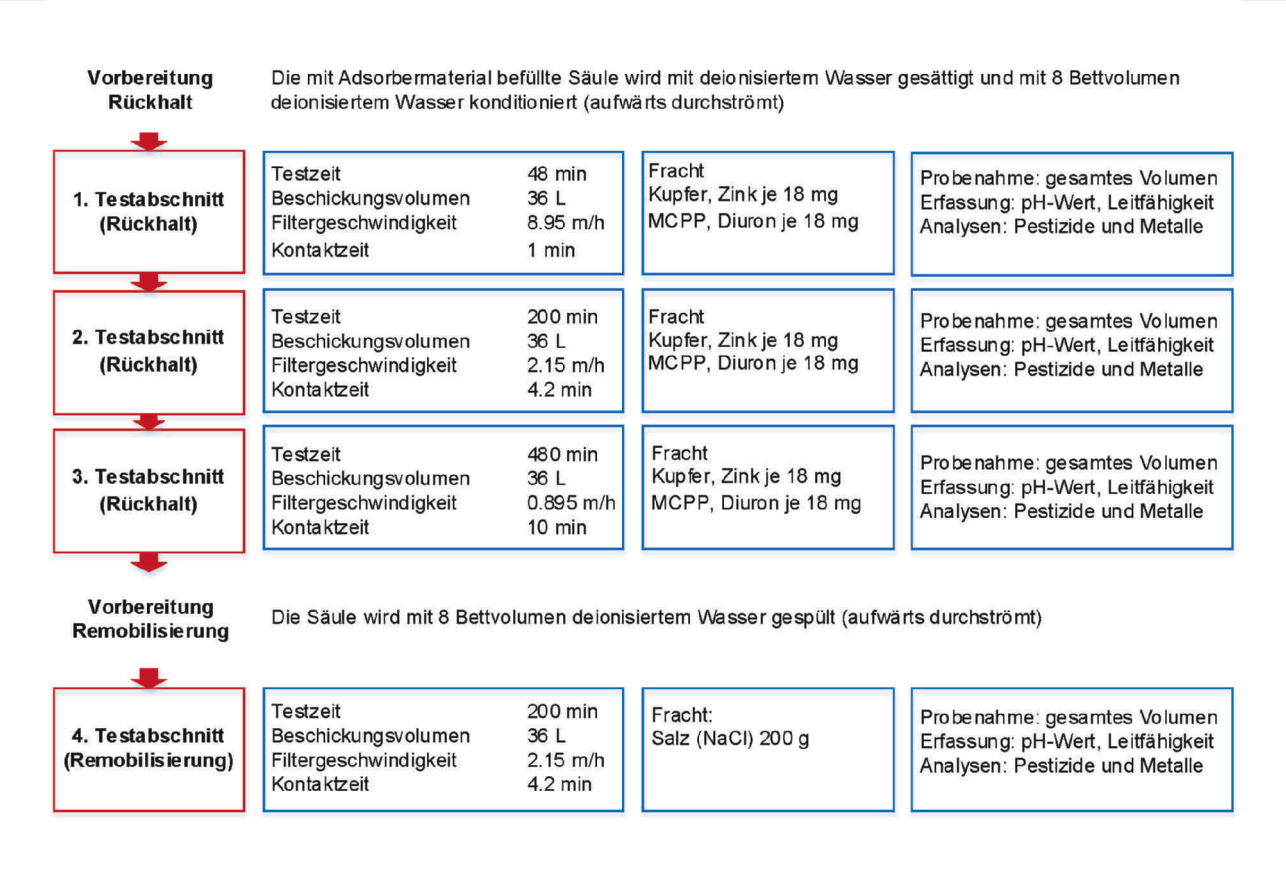

Fig. 2 Übersicht zum Vorgehen im Labortest zur Bestimmung des Stoffrückhalts und der Remobilisierung.
Aperçu de la procédure du test en laboratoire pour déterminer le niveau de rétention et remobilisation de substances.

Konzentration von 5,0 g l^{-1} (NaCl) bestimmt. Die befüllte Säule wird von unten nach oben mit deionisiertem Wasser gesättigt, sodass die Porenluft nach oben entweichen kann, und nachfolgend wird die Testlösung durch die Säule gepumpt. Das Vorgehen und die drei Filtergeschwindigkeiten sind in *Figur 2* dargestellt. Nach dem dritten Testabschnitt ist mit deionisiertem Wasser zu spülen, bevor der Testabschnitt zur Remobilisierung beginnt.

Pro Testabschnitt wird das gesamte Wasser (je 36 Liter) aufgefangen. Aus dem Vorgehen ergeben sich vier Sammelproben. Aus den vier Sammelproben sind nach guter Durchmischung jeweils Aliquote zu entnehmen, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit zu bestimmen sowie Kupfer, Zink, Diuron und MCPP chemisch zu analysieren.

AUSWERTUNG UND BEURTEILUNG

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

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

Dabei gilt:
C_{Zu} = Konzentration im Zufluss, 0,5 mg/l (mg l^{-1})
C_{Ab} = Konzentration im Abfluss (mg l^{-1})
η_{Stoff} = Stoffspezifischer Wirkungsgrad (%)

Die zurückgehaltene Fracht wird für jeden Stoff pro Teilabschnitt auf Grundlage der bekannten Zuflussfracht (Testlösung: $Fracht_{Zu}$ 18 mg pro Testabschnitt) sowie der ermittelten Abflussfracht ($Fracht_{Ab} = C_{Ab} * 36\,l$ pro Testabschnitt) berechnet:

$$Fracht_{Ads}\ [mg] = Fracht_{Zu}\ [mg] - Fracht_{Ab}\ [mg]$$

Dabei gilt:
$Fracht_{Zu}$ = Stoffmenge im Zufluss (mg)
$Fracht_{Ab}$ = Stoffmenge im Abfluss (mg)
$Fracht_{Ads}$ = Zurückgehaltene Fracht (mg)

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

$$\eta_{Rem}[\%] = \frac{Fracht_{Rem}\ [mg]}{Fracht_{Ads}\ [mg]} * 100[\%]$$

Dabei gilt:
$Fracht_{Rem}$ = Remobilisierte Fracht (mg)
$Fracht_{Ads}$ = Adsorbierte Fracht (mg)
η_{Rem} = Stoffrückhalt bei Remobilisierung (%)

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

Rückhalt Metalle / Pestizide	Punktzahl	Anforderungen Metalle / Pestizide
≥ 90%	5–6	**Erhöht:** Die hohe potenzielle Rückhalteleistung zeigt an, dass solche Materialien für den Feldtest sehr geeignet sind.
< 90 bis ≥ 70%	2–4,5	**Standard:** Die Dimensionierung und Betriebsweise beeinflussen die effektive Leistungsfähigkeit im Feld.
< 70%	≤ 1,5	**Anforderungen nicht erfüllt:** Die Durchführung des Feldtests wird nicht empfohlen.

Tab. 1 Anforderungsklassen zur Beurteilung des Stoffrückhalts der Adsorbermaterialien im Säulenversuch.

Classes d'exigences pour l'évaluation du niveau de rétention de substances des différents matériaux d'adsorption lors de l'essai en colonne.

Für die Substanzgruppen «Metalle» und «Pestizide» sind drei Anforderungsklassen für den stofflichen Rückhalt definiert, die jeweils durch eine Punktevergabe bewertet werden:

- 1 Punkt: ≥ 90% Rückhalt
- 0,5 Punkte: < 90 und ≥ 70% Rückhalt
- 0 Punkte: < 70% Rückhalt

Durch Addition der Einzelpunkte ergibt sich die Gesamtpunktzahl *(Tab. 1)*. Die maximale Gesamtpunktzahl beträgt 6 Punkte (6 = 3 Punkte × 2 Stoffe). Bei erreichten 5 bis 6 Punkten ist die Anforderung «Erhöht» erfüllt. Für die Anforderung «Standard» sind mindestens 2 Punkte erforderlich. Erreicht die zurückgehaltene Stoffmenge ≤ 70% bzw. werden 2 Punkte unterschritten, dann wird die Durchführung des Feldtests für den jeweiligen Stoff oder die Stoffgruppe nicht empfohlen.

Bei > 10% Remobilisierung erfüllt das Material die Anforderungen nicht. Der Labortest für die entsprechende Stoffgruppe (Metalle, Pestizide) gilt dann, unabhängig vom ermittelten Rückhalt, gesamthaft als 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.

BEISPIELE ZUM STOFFRÜCKHALT

Die stoffspezifische Rückhalteleistung für die Metalle Zink und Kupfer sowie die Pestizide Diuron und MCPP wurde für verschiedene Adsorbermaterialien exemplarisch ermittelt, um die Aussagekraft und Praktikabilität des Labortests zu veranschaulichen. Ausgewählt wurden ein granuliertes Eisenhydroxid ohne Karbonatzuschlag, ein Zeolith und zwei Mischadsorber, von denen der eine auf den Metallrückhalt, der andere auf organische Spurenstoffe ausgelegt war. Die Produkte sind marktgängig und in der ursprünglichen Körnung eingebaut worden.

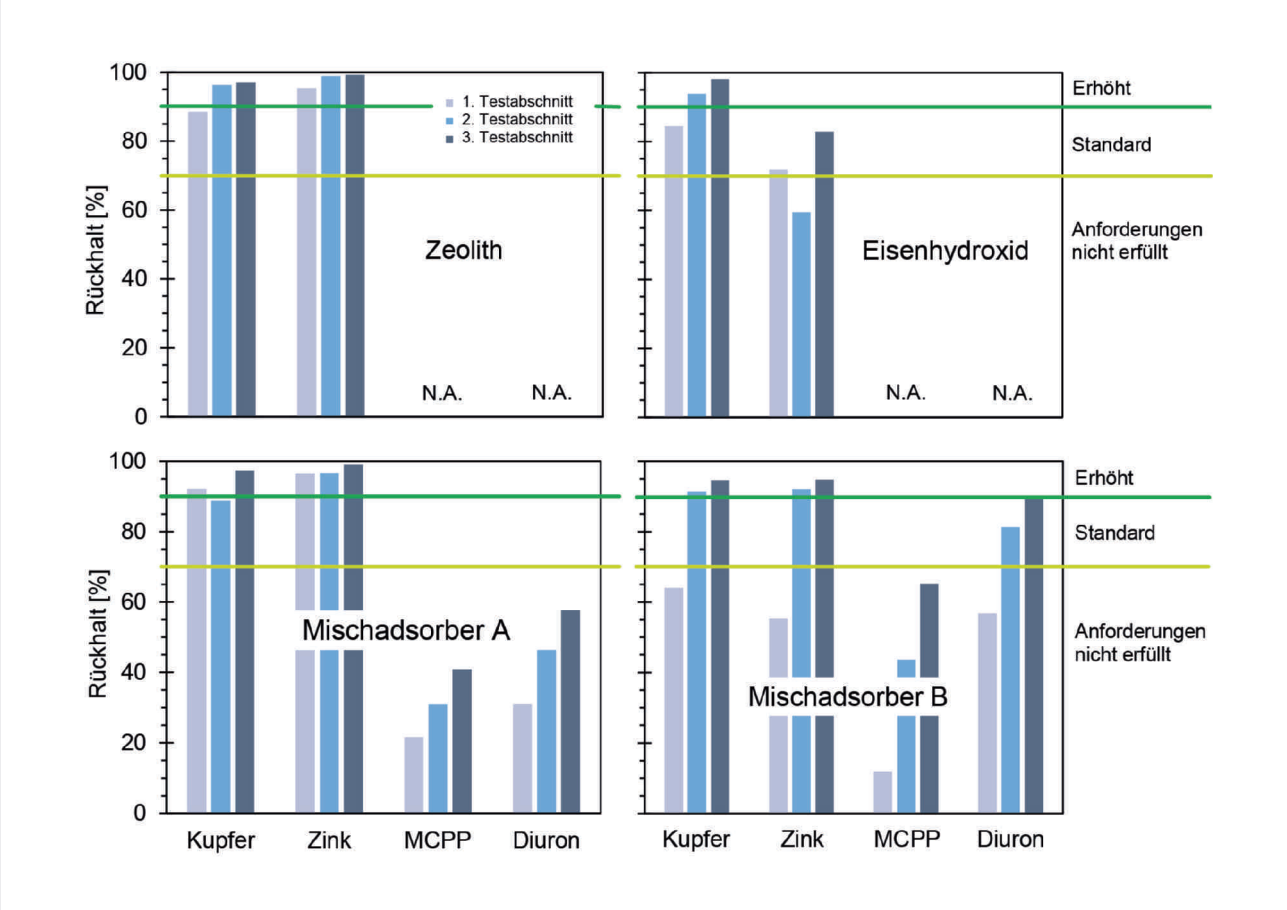

Fig. 3 Säulenversuche über drei Testabschnitte zur Bestimmung des Rückhalts von Kupfer, Zink, MCPP und Diuron mit Zeolith, Eisenhydroxid, Mischadsorbern A und B. N.A. = Nicht analysiert, weil eine Sorption durch Vorversuche < 20% zeigte.

Essais en colonne pour 3 sections testées pour déterminer le niveau de rétention du cuivre, du zinc, du MCPP et du diuron, avec de la zéolite, de l'hydroxyde de fer, des adsorbants mixtes A et B. N.A. = Non analysé car une sorption lors de tests préliminaires a révélé un résultat < 20%.

Die Resultate der Säulenversuche zeigen, dass die Zielsubstanzen selektiv und in Abhängigkeit von der Wasserkontaktzeit zurückgehalten werden *(Fig. 3)*. Je geringer die Geschwindigkeit – vom 1. bis 3. Testabschnitt abnehmend – desto besser der Stoffrückhalt. Aufgrund dieser Ergebnisse lässt sich die Auslegung der Adsorbermaterialien für den Einbau in der Anlage verbessern, indem die Verweilzeit durch konstruktive Optimierung beeinflusst wird.

Der getestete Zeolith und das granulierte Eisenhydroxid (GEH) sind sehr geeignet, um Schwermetalle zurückzuhalten. Der stoffliche Rückhalt beim Zeolith von >90% erfüllt die Anforderung «erhöht». GEH erreicht im Mittel 70–90% Rückhalt und gehört damit in die Gruppe «Standard». Bemerkenswerte Resultate waren, dass der speziell modifizierte Zeolith beim Tausalz-Test weniger als 2% remobilisiert und das GEH auch ohne Karbonat eine hohe Schwermetallbindung erzielt. Beide Materialien adsorbieren sehr wirkungsvoll die gelösten Metalle und bieten sich für die Behandlung von Regenwasser von Metalloberflächen an. Wie Vorversuche zeigten, sind sie aber ungeeignet für den Pestizidrückhalt (<20%). Daher wurden die beiden organischen Leitsubstanzen nicht mehr analysiert *(Fig. 3)*.

Der Mischadsorber Material A zeigt beim Schwermetallrückhalt einen gleich hohen Wirkungsgrad wie reines Zeolith, obwohl GEH nur zu einem Anteil im Mischsubtrat vorliegt *(Fig. 3)*. Da GEH aber mit Karbonat zusammen eingesetzt wird, lässt der ablaufseitig bestimmte pH-Wert 8 auf eine Metallfällung und damit auf einen physikalischen Filtrationseffekt durch das Substrat schliessen. Der Mischadsorber funktioniert demnach zusätzlich zur Adsorption im Zusammenspiel mit der pH-Wert-Regulation auch als Raumfilter (dadurch kann eine innere Kolmatierung entstehen, was zu einer Verkürzung der Standzeit führt). Beim Mischadsorber-Material A reicht der geringe Anteil granulierter Aktivkohle (GAK) nicht aus, um selbst die geringste Anforderung an den Pestizidrückhalt zu erfüllen. Anders der Mischadsorber B. Der deutlich höhere GAK-Anteil führt zu einem mittleren Diuron-Rückhalt von 75%, vergleichbar hoch wie der Metallrückhalt. Auch MCPP wird stärker adsorbiert, vor allem bei geringer Filtergeschwindigkeit. Mit einer weiteren Erhöhung des GAK-Anteils dürfte auch die «Standard»-Anforderung erreicht werden, somit würde das Material B bereits universeller einsetzbar, d.h. für die Entfernung von Schwermetallen und Spurenstoffen. Eine solche Materialoptimierung verändert die Gesamtkosten von technischen Adsorberanlagen gemäss Herstelleraussagen in der Regel nur geringfügig, erschliesst neue Anwendungsfelder und dient noch erfolgreicher dem Gewässerschutz.

FELDTEST

Der Feldtest ist an zwei gleichartigen Anlagen mit dem gleichen Adsorbermaterial wie aus dem Labortest an verschiedenen Standorten durchzuführen. Die Systeme sind so zu testen, wie sie üblicherweise zum Einsatz kommen (Form, Grösse, Retentionsvolumen, Dauereinstau oder Trockenfallen zwischen Abflussereignissen usw.). Die 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 Merkblatt «Leistungsprüfung neuer Verfahren» [14]. Die Hersteller schlagen zwei Anlagenstandorte vor, die mit der technischen Kommission des VSA vorgängig abzustimmen sind. Für die Abstimmung sind z.B. technische Informationen zum Anlagentyp, der Anschlussfläche sowie Hinweise zur erwarteten stofflichen Belastung vorzulegen. Die Anlagen sind ohne Fremdwasserzufluss (z.B. Sickerwasser) zu betreiben.

Empfohlen wird, vor Testbeginn die stoffliche Belastung im Niederschlagswasser analytisch abzuklären. Spätestens sechs Monate nach Einbau des Adsorbermaterials ist mit der Leistungsprüfung zu beginnen.

Der Hersteller legt den Einsatzbereich der Anlage fest. Universell einsetzbare

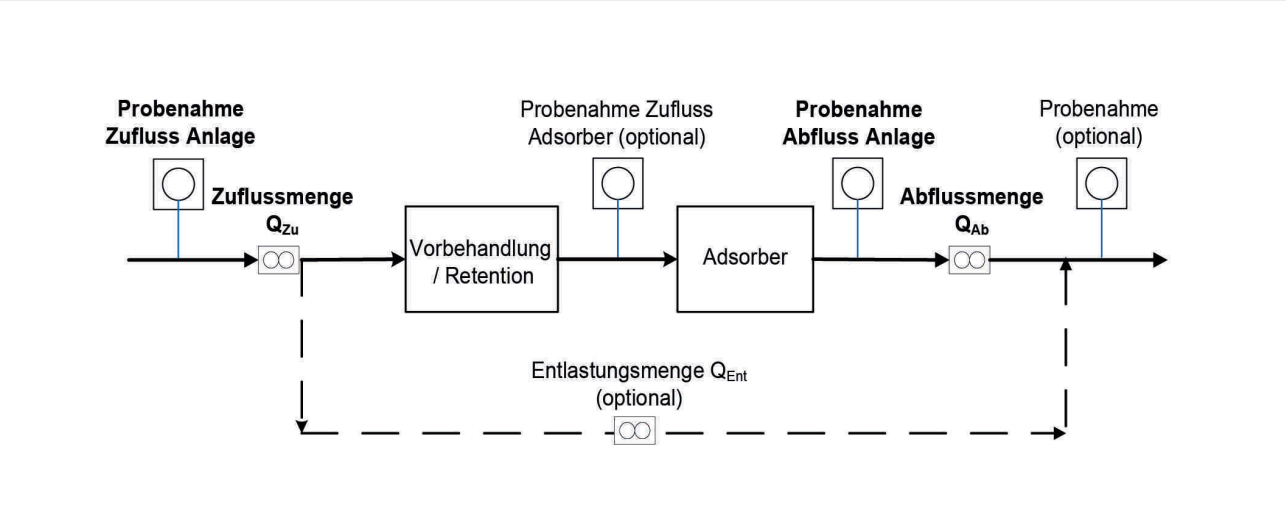

Fig. 4 Schema zur möglichen Installation der Mess- und Probenahmegeräte im Rahmen des Feldtests in einer Anlage mit Vorbehandlung (Grobabscheidung), Retention und Adsorberbehandlung. Andere Anlagentypen sind davon abweichend zu instrumentieren. Bei Rinnensystemen sind die Installationen an die baulichen Möglichkeiten anzupassen.

Schéma d'une possible intégration d'appareils de mesure et d'échantillonnage dans une installation avec prétraitement (filtration grossière), d'une rétention et d'un traitement par adsorbants. Les autres types d'installation doivent être instrumentés de manière différente. En ce qui concerne les systèmes de caniveaux, les installations doivent être adaptées en fonction des possibilités existantes en matière de construction.

Systeme sind an einem Standort mit reinem Strasseneinzugsgebiet und einem zweiten mit gebäudelastigem Einzugsgebiet (z. B. mit Metalldach und vorhandenen Pestiziden) umzusetzen. Damit eine Anlage für den Einsatz von mittel und hoch belastetem Strassenabwasser empfohlen wird, muss an einer solchen Strasse getestet werden. Der Hersteller entscheidet auch, welche Stoffgruppen (GUS, Metalle, Pestizide) auf dem jeweiligen Anlagentyp geprüft werden sollen.
Geprüft werden fertig gestaltete technische Kompaktanlagen, Schacht- und Rinnensysteme, wie sie auch zum realen Einsatz kommen (Gestaltung, Abmessungen, Betrieb im Dauereinstau oder Trockenfallen zwischen Regenereignissen usw.). Auch die zugehörigen Retentionsvolumina entsprechen der Dimensionierung, wie für den nachfolgenden Einsatz vorgeschrieben. Damit kann gleichzeitig auch die Eignung für den praktischen Einsatz und den Unterhalt evaluiert werden.

VORGEHEN

Der Feldtest erfolgt über mindestens ein Jahr und sollte im Frühling beginnen. Die hydraulischen Messdaten werden über die gesamte Testdauer kontinuierlich (z. B. im 1-Min.-Intervall) erfasst. Eine mögliche Anlagenkonfiguration und Anordnung der Mess- und Probenahmegeräte ist in *Figur 4* dargestellt. Die Durchflussmessung erfolgt beispielsweise im Zufluss vor der Retention und im Abfluss nach dem Adsorber. Die Entlastungsmenge oder der durch eine Schmutzwasserweiche abgetrennte, weniger verschmutzte Wasseranteil kann auch bestimmt werden. Die Anlage ist auf unplanmässigen Rückstau durch den Adsorber zu kontrollieren. 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.
Sammelproben über die gesamte Zeitspanne sollen jahreszeitliche Schwankungen abdecken und auf einen Jahresmittelwert schliessen lassen. Die Probenahme zur Bestimmung des stoffspezifischen Gesamtwirkungsgrads sind im Zu- und Abfluss der Behandlung durchzuführen *(Fig. 4)*. 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.
Über die gesamte Testdauer sind 12 bis 24 mengenproportionale Sammelproben gleichmässig über ein Jahr verteilt zu analysieren, die mindestens 40% der Jahresabflussmenge des Einzugsgebiets abdecken. Die mengenproportionalen Sammelproben im Zu- und Abfluss können mehrere Ereignisse umfassen. Insbesondere kurze und intensive, aber auch lange Regenereignisse mit geringerer Intensität müssen abgedeckt sein. Die Versuchsdauer ist zu verlängern, wenn die Mindestanzahl von Proben innerhalb eines Jahres nicht vorliegt. 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.
In sämtlichen Proben sind die elektrische Leitfähigkeit und der pH-Wert zu bestimmen. Die Parameter GUS, die Gesamtgehalte von Zink und Kupfer, die Konzentrationen von zwei Pestiziden, bevorzugt Diuron und MCPP, 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. In begründeten Fällen kann auf GUS verzichtet werden, z. B. bei Metalldach- oder Fassadenabflüssen. Dies ist in der Gesamtbeurteilung zu dokumentieren.
Im Umkreis von weniger als 5 km soll eine Niederschlagsmessung verfügbar sein, welche die Niederschlagshöhe im 10-Min.-Intervall kontinuierlich aufzeichnet.

AUSWERTUNG UND BEURTEILUNG

Nachdem der Feldtest abgeschlossen ist, werden auf dieser Grundlage hydraulischer und stofflicher Wirkungsgrad des Anlagentyps beurteilt. Der hydraulische Wirkungsgrad η_{hyd} (%) wird aus zugeflossener und behandelter Wassermenge von Testanfang bis -ende über die gesamte Zeitdauer des Feldtests (Messperiode) berechnet.

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

Dabei gilt:
η_{hyd} = Hydraulischer Wirkungsgrad η_{hyd} (%)
Q_{Zu} = Gesamthaft zugeflossene Wassermenge in m³ auf 365 Tage umgerechnet (m³/Jahr)
Q_{Ab} = Gesamthaft behandelte Wassermenge in m³ auf 365 Tage umgerechnet (m³/Jahr)

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. Dieser Punkt ist auch für die Auslegung im nachfolgenden realen Einsatz zu berücksichtigen (Dimensionierung Retentionsvolumen), wo ebenfalls ein hydraulischer Wirkungsgrad von mindestens 90% erreicht werden muss.
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.
Beträgt die Veränderung der hydraulischen Leistung über die Messperiode von einem Jahr ≤ 10%, ist die Anlage insbesondere für die Behandlung von GUS-haltigem Abwasser geeignet.
Die Stofffracht im Zufluss $L_{(Zufluss)}$ und im Abfluss $L_{(Abfluss)}$ errechnet sich aus der Summe der Wassermengen und Konzentrationen pro Sammelprobe. Basis sind mindestens zwölf analysierte Mischproben. Die Produkte werden über die gesamte Messperiode pro Stoff summiert:

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

Dabei gilt:
n = Anzahl Messungen der gesamten Messperiode
C_k = Konzentration der Sammelprobe der Zeitperiode k (mg/l)
V_k = Wassermenge während der Zeitperiode k (m³)
k = Zeitperiode

Der frachtgemittelte stoffspezifische Wirkungsgrad η_{Stoff} (in Prozent) der Anlage beschreibt die Leistung in Bezug auf den

Rückhalt	Punkte GUS	Punkte Metalle/Pestizide	Anforderungen Metalle/Pestizide
≥ 90%	1,5–2	3,5–4	**Erhöht:** Die Anlagen werden uneingeschränkt empfohlen.
≥ 70 bis < 90% (GUS ≥ 80%)	1	2–3	**Standard:** Die Anlagen sind bei guter Planung und Betrieb empfehlenswert.
< 70% (GUS < 80%)	≤ 0,5	≤ 1	**Anforderungen nicht erfüllt:** Die Anlagen sind nicht empfehlenswert.

Tab. 2 Anforderungsklassen zur Beurteilung des Stoffrückhalts im Feldtest.
Classes d'exigences pour l'évaluation du niveau de rétention de substances lors du test de terrain.

Stoffrückhalt. Der Rückhalt für GUS, Kupfer, Zink und jedes Pestizid wird aus den Jahresfrachten im Zufluss $L_{(Zufluss)}$ und im Abfluss $L_{(Abfluss)}$ berechnet. Das Vorgehen der Stoffbilanzierung orientiert sich am ASTRA-Merkblatt zur Leistungsprüfung [14]. Die Schadstofffracht der Entlastung $L_{(Entlastung)}$ errechnet sich aus den Zuflusskonzentrationen und entlasteten Abwassermengen.

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

Dabei gilt:
$L_{(Zufluss)}$ = *Jahresfracht im Zufluss (g)*
$L_{(Abfluss)}$ = *Jahresfracht im Abfluss (g)*
$L_{(Entlastung)}$ = *Jahresfracht in Entlastung (g)*

Für die 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 (vergleichbar zum Labortest) *(Tab. 2).*
Die Anforderungen bezüglich Stoffrückhalts sind folgende:
- «Erhöht»: ≥ 90% Rückhalt
- «Standard»: ≥ 70 bis 90% Rückhalt für Metalle und Pestizide, ≥ 80 bis 90% für GUS
- «Anforderungen nicht erfüllt»: < 70 bzw. 80% Rückhalt

Bei maximaler Gesamtpunktzahl (GUS 2 Punkte; Metalle und Pestizide je 4 Punkte) ist die Anforderung «Erhöht» voll erfüllt *(Tab. 2).* Zum Erreichen der Anforderung «Standard» sind für jede massgebende Stoffgruppe einzeln stoffliche Wirkungsgrade ≥ 70 (GUS ≥ 80%) zu erreichen. Dies immer unter der Voraussetzung, dass gleichzeitig der hydraulische Wirkungsgrad ≥ 90% ist. Damit liegt der Gesamtwirkungsgrad von Anlagen des Typs «Erhöht» bei ≥ 80% für die massgebenden Stoffe und für Anlagen des Typs «Standard» bei ≥ 60–80% (wobei GUS ≥ 70–80%). Anlagen der Klassen «Standard» (stofflicher Wirkungsgrad ≥ 80% GUS bzw. ≥ 70% Metalle und Pestizide) und «Erhöht» (≥ 90%) werden vom VSA für die Behandlung von Niederschlagswasser für die Praxis empfohlen.
Das Bewertungsresultat 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.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit der erarbeiteten VSA-Leistungsprüfung ist erstmals ein schweizweites Verfahren definiert worden, mit dem sich technische Kompaktanlagen, Schacht- und Rinnensysteme zur Behandlung von Dach-, Fassaden-, Platz- und Strassenabwasser unter einheitlichen Randbedingungen beurteilen lassen. Der Entwurf der VSA-Leistungsprüfung ist sehr positiv in der vergangenen Vernehmlassung aufgenommen worden [13].
In der Verzahnung mit der neuen VSA-Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter» [6] sind Anwendungsfälle für bestimmte Belastungsklassen definiert. Solche Anlagen können zukünftig in der Regel bei mittlerer oder hoher Belastung als Alternativen zu klassischen Bodenfiltern beispielsweise in Siedlungen oder entlang von Strassen eingebaut werden.
Die dargelegte Vorgehensweise der VSA-Leistungsprüfung dient dem Schutz von Grund- und Oberflächenwasser durch klar umrissene Reduktionsziele für diffuse Einträge von GUS, Schwermetallen und Pestiziden und minimiert die Ausgaben in Anlagenkonzepte, die in der Praxis eher versagen. Auch wird erwartet, dass bei einer zunehmenden Nachfrage nach leistungsstarken, unspezifisch wirkenden Kompaktanlagen neue Produkte auf dem Markt angeboten werden, um auf organische Spurenstoffe noch wirkungsvoller reagieren zu können. Bisher fehlten nämlich den Herstellern, insbesondere Planern, die entsprechenden Leitplanken und Zielgrössen für einen qualitativen Fortschritt in der Niederschlags- bzw. Strassenabwasserbehandlung. Insofern zielt das neue Testverfahren ebenfalls auf eine Weiterentwicklung des Stands-der-Technik beim Stoffrückhalt von partikulären und gelösten Schadstoffen durch Adsorberanlagen ab.
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.
Die Gesamtbeurteilungen der getesteten Anlagen sollen über Qplus *(www.qplus.ch)* abrufbar sein, sodass alle Interessierten, vor allem Planer und Behörden, Zugriff auf den gleichen Daten-

PROJEKTGRUPPE
Die Projektgruppe arbeitet im Auftrag des Verbands Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) und umfasst folgende Mitglieder: *Roland Bigler*, AWA, Bern; *Michael Burkhardt* (Leitung), HSR, Rapperswil; *Martin Lienhard,* MALL, Donaueschingen; *Daniel Meister,* AWEL, Zürich; *Stella Schmidt,* HSR, Rapperswil; *Michele Steiner,* WST21, Zürich; *Rudolf Töws,* Funke Kunststoffe, Hamm-Uentrup; *Jean-Louis Walter,* ENVIReau, Courtedoux; *Antje Welker*, Frankfurt University of Applied Sciences, Frankfurt a.M.

satz bekommen. Entsprechend eingebaute Anlagen könnten ausserdem an Qplus gemeldet werden, sodass die Standorte zentral erfasst und bestenfalls Servicearbeiten bekannt sind. Damit ist eine Erfolgskontrolle möglich und eine gute Basis für eine allfällige Überarbeitung der VSA-Leistungsprüfung sichergestellt. Noch Klärungsbedarf besteht beim Aufwand für Kontrolle (z. B. Sichtkontrolle), Reinigung (z. B. Schlammentleerung) und Wartung (z. B. Austausch Filtermaterial). Sowohl die Aussagen der Hersteller als auch Erfahrungswerte aus der Praxis gehen weit auseinander. Aufgrund fehlender Anforderungen lassen sich die Betriebserfahrungen schwer vergleichen. Wünschenswert sind deshalb für technische Adsorberanlagen, im Übrigen auch für SABAs, klare Vorgaben zu den zu erfüllenden Mindestanforderungen an Unterhalt, Überwachung und Erneuerung, damit auch im Dauerbetrieb eine hohe hydraulische und stoffliche Leistungsfähigkeit sichergestellt ist.

BIBLIOGRAPHIE

[1] *Wittmer, I. et al. (2011): Loss rates of urban biocides can exceed those of agricultural pesticides. Science of the Total Environment, 409: 920–932*

[2] *Bollmann, U. et al. (2014): Dynamics of biocide emissions from buildings in a suburban stormwater catchment – Concentrations, mass loads and emission processes. Water Research 56: 66–76*

[3] *Clara, M. et al. (2014): Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien*

[4] *Kasser, U. et al. (2015): Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, 281 Seiten*

[5] *Wicke, D. et al. (2017): Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, 5: 394–404*

[6] *Baumgartner, D. et al. (2017): Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter. Entwurf, VSA-Tagung, 30.8.–1.9., Rigi-Kaltbad*

[7] *Steiner, M. et al. (2015): Strassenabwasserbehandlungsverfahren: Stand der Technik*

[8] *Lange, J. et al. (2017): Urbane Regenwasserversickerung als Eintragspfad für biozide Wirkstoffe in das Grundwasser? Korrespondenz Wasserwirtschaft, 10(4): 198–202*

[9] *Huber, M.; Welker, A.; Helmreich, B. (2015): «Einführung in die dezentrale Niederschlagswasserbehandlung für Verkehrsflächen- und Metalldachabflüsse: Schacht-/Kompaktsysteme, Rinnensysteme, Strasseneinläufe und Flächenbeläge», Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität München, Band 213, ISSN 0942-914X, 98 Seiten*

[10] *Burkhardt, M. et al. (2017): Behandlung von Regenwasser – Grosstechnische Erfahrung mit unterirdischer Retention und nachgeschaltetem Adsorberfilter. Aqua & Gas, 4: 78–85*

[11] *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*

[12] *ÖNORM (2016): Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen. Teil 3: Filtermaterialien – Anforderungen und Prüfmethoden. ÖNORM B 2506-3, 26 Seiten*

[13] *VSA (2017): Leistungsprüfung für technische Adsorbermaterialien und dezentrale technische Anlagen zur Behandlung von Niederschlagswasser (Merkblatt). Entwurf, VSA-Tagung, 30.8.–1.9., Rigi-Kaltbad*

[14] *ASTRA (2016): Leistungsprüfung neuer Verfahren. Bundesamt für Strassen, Bern*

> SUITE DU RÉSUMÉ

un rendement global moyen d'au moins 70% (classe «standard») et, en fonction de la classe de contamination des eaux pluviales et des exigences en matière de traitement, des installations avec un rendement supérieur à 90% (classe «élevé»). Les résultats des tests et les sites des installations seront publiés publiés par Qplus. L'avenir montrera quels concepts d'installation pourront satisfaire ces exigences élevées et de contribuer ainsi à la protection des eaux.

Sind Sie bereit?

kamstrup

Das digitale Zeitalter macht auch vor der Wasserversorgung nicht halt und die Anforderungen dazu steigen stetig. Wie wäre es, wenn Sie Arbeitsabläufe optimieren und Daten immer in gleichbleibender und höchster Qualität sicherstellen könnten? Wie wäre es, wenn auch Wasserverlust kein Thema ist und Ihre Kundenbeziehung aufgrund nachvollziehbarer Daten gestärkt wird? Wir zeigen Ihnen den Weg dorthin mit modernsten Ultraschall-Wasserzählern mit Fernauslesung.

Kontaktieren Sie uns für nähere Informationen.

Kamstrup.com

Kamstrup A/S Schweiz · Industriestrasse 47
8152 Glattbrugg · T: 043 455 70 50 · info@kamstrup.ch