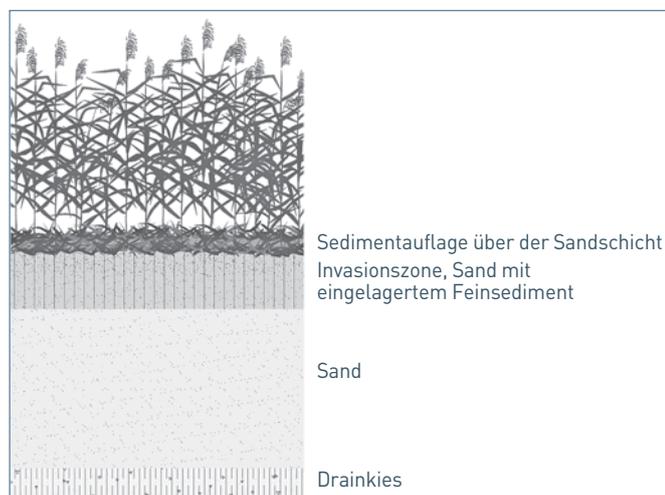


# Bewachsene Boden- oder Sandfilter zur Reinigung von Strassenabwasser?

Strassenabwasser-Behandlungsanlagen (SABA) mit bepflanzten Retentionsfiltern erlauben eine wirkungsvolle Behandlung von Strassenabwasser. Der theoretisch bessere Schadstoffrückhalt von tonhaltigem Bodenmaterial wegen der Adsorptionskapazität der Tonminerale steht der höheren Wasserleitfähigkeit von Sandfiltern gegenüber, die es erlaubt, die Anlagen kleiner zu dimensionieren und damit den Kulturlandverbrauch zu vermindern. Ein Vergleich der Reinigungsleistung, der Schadstoffverlagerung, aber auch von Unterhalt und Kosten erlaubt eine Neubeurteilung der Situation.

## Filtertypen und Substrate

In SABA wird das Strassenabwasser eines Strassenabschnitts oft mittels Absetzbecken und Retentionsfilterbecken (RFB) gereinigt. Das RFB enthält als Filtermaterial entweder Bodenmaterial oder Sand. Bodenmaterial besteht nebst Sand und Schluff auch aus feinen Tonteilchen, ist strukturiert, biologisch aktiv und in der Regel durchwurzelt. Im Gegensatz dazu ist Sand grobkörniger, im Ausgangszustand biologisch kaum aktiv und unstrukturiert. Abbildung 1 zeigt die schematische Darstellung eines Sandfilters. Unterhalb der Filterschicht, befindet sich eine Drainageschicht aus Kies oder Kiessand. Bei Bodenfiltern befindet sich an Stelle der Sandschicht eine Schicht aus Ober- und Unterboden. Sedimentauflage und Invasionszone fehlen



1 | Schematische Darstellung eines Sandfilters mit Schilf, der bereits einige Zeit in Betrieb ist.

1 | Représentation schématique d'un filtre en sable végétalisé avec des roseaux, qui est exploité depuis quelque temps.



VON  
**BEATRICE KULLI**  
Dr. sc. nat. ETH,  
Forschungsgruppe  
Bodenökologie, ZHAW



VON  
**MICHELE STEINER**  
Dr. sc. techn. ETH,  
WST21



VON  
**ADALBERT PAZELLER**  
Dipl. Ing. Agr. ETH,  
Geotest



VON  
**CHRISTOPH VON KÄNEL**  
Dipl. Natw. ETH,  
Geotest



VON  
**FELIX RUTZ**  
Dipl. Kulturingenieur ETH,  
ilu AG

oder sind nur schwach ausgeprägt. Die Filteroberfläche ist immer mit einer geeigneten Vegetation bepflanzt, die die Filteroberfläche schützt, Fremdbewuchs unterdrückt und deren Streu zur Ausbildung einer strukturreichen Filteroberfläche beiträgt.

Die Reinigungswirkung eines bepflanzten RFB beruht auf der physikalischen Filtration von partikulären Stoffen,

auf der chemischen Adsorption von gelösten Stoffen an die inneren Oberflächen des Filtersubstrats und kann – je nach Stoff – auch durch biologische Abbauprozesse unterstützt werden. Im Gegensatz zum Sand enthält Bodenmaterial Tonminerale, die Ad-

sorptionsoberflächen für gelöste Schadstoffe bieten. Deshalb wird in vielen Richtlinien und Wegleitungen für Filtermaterial ein gewisser Tonanteil empfohlen. Andererseits gibt es in Böden mit ihrer üblichen Aggregatstruktur oft Makroporen, die als präferenzielle Fließwege wirken können, durch die das Wasser relativ schnell und schlecht gefiltert in grössere Tiefen gelangen kann.

## Filterung von Partikeln und gelösten Stoffen

Die Schadstoffe, die typischerweise im Strassenabwasser vorhanden sind, stammen vom Pneubetrieb, sind Korrosionsprodukte metallischer Teile des Fahrzeugs, Produkte aus dem Verbrennungsprozess oder Öle und Schmiermittel (SN 640 347). Sie enthalten organische Komponenten wie Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), aber auch Schwermetalle wie Kupfer oder Zink. Die PAK liegen im Strassenabwasser zu ca. 95 % in partikulärer Form vor. Nach eigenen Untersuchungen liegt der partikulär gebundene Anteil der Schwermetalle Kupfer und Zink im Zulauf zu einer SABA zwischen 70 und 90 %. Der Rest, also 10 bis 30 %, ist gelöst (SN 640 347). Entsprechend spielt beim Schwermetallrückhalt zusätzlich zur Filtration auch die Adsorption dieser



2 | Vergleich zwischen Boden- und Sandfilter. Links: oberste Schicht eines Sandfilters mit Invasionszone. Rechts: oberste Schicht eines Bodenfilters mit als dunklere Stellen erkennbaren Ablagerungen von partikulären Schadstoffen entlang präferenzierter Fließwege.

2 | Comparaison entre filtre en terre et filtre en sable. À gauche: couche supérieure d'un filtre en sable avec une zone d'invasion. À droite: couche supérieure d'un filtre en terre avec des dépôts de particules de substances nocives, reconnaissables aux zones sombres et situées le long de la trace de l'écoulement préférentiel.

gelösten Stoffe an Tonminerale und organische Substanz eine wichtige Rolle.

An der Oberfläche und im oberen Bereich von Sandfiltern sind üblicherweise Schichten mit einer massiven Ablagerung der partikulär vorliegenden Schadstoffe zu finden. Diese lagern sich als Sedimentauflage (Filterkuchen) oberhalb der Sandschicht ab und dringen einige Zentimeter in die Sandschicht ein, wobei sie die sogenannte Invasionszone bilden (Abbildung 1). In Abbildung 2 (links) sind die entsprechenden Schichten zu sehen. Die Stärke von Sandfiltern liegt also bei der mechanischen Filterung partikulär vorliegender Stoffe. Im Gegensatz dazu zeigten sich bei Bodenfiltern Ablagerungen partikulärer Stoffe oft als dunkel gefärbte Stellen entlang präferenzierter Fließwege (Abbildung 2, rechts), welche in eine grössere Tiefe vordringen als bei den Sandfiltern. Bezüglich der mechanischen Filterung sind

die Bodenfilter gegenüber den Sandfiltern also deutlich im Nachteil.

Um das Eindringen gelöster Schadstoffe in die Retentionsfilter zu untersuchen, wurden im Rahmen unseres Projektes in verschiedenen Anlagen Messungen mit einem mobilen XRF gemacht (engl. X-ray fluorescence spectroscopy; Röntgenfluoreszenzanalyse). Das Messgerät erlaubt eine einfache und schnelle Abschätzung von Schwermetallgehalten, hat aber eine relativ hohe Detektionsgrenze und ist weniger genau als Labormethoden.

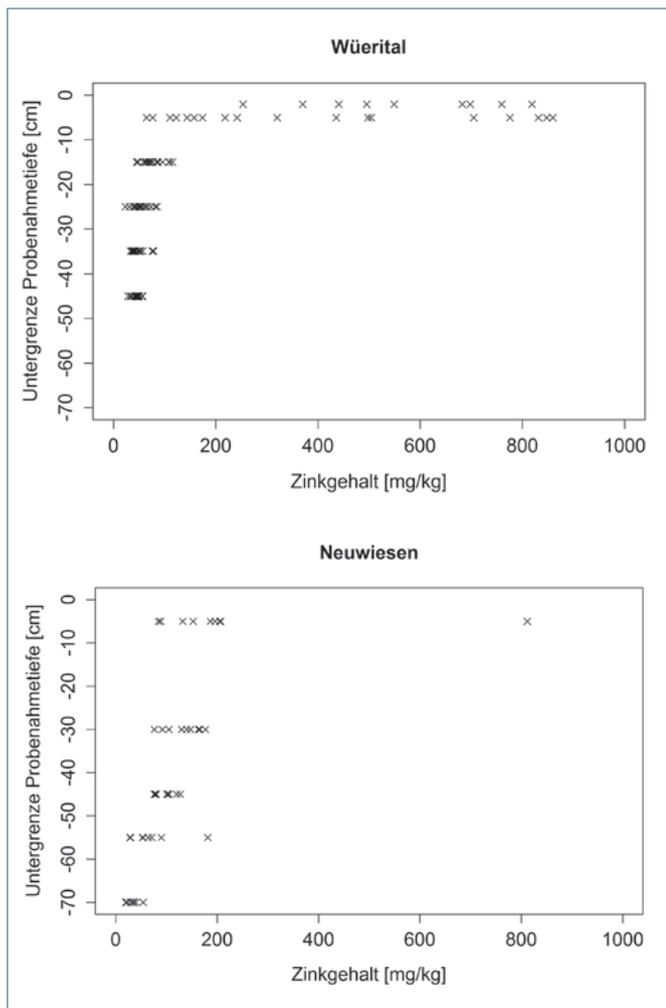
Abbildung 3 zeigt die Tiefenverteilung Zink der SABA Wüerital und der SABA Neuwiesen. Beide Anlagen sind seit 2009 in Betrieb. Wüerital ist eine Sandfilteranlage. Die Schadstoffe sind im oberen Teil des Profils (Sedimentauflage, Invasionszone) sehr hoch, nehmen aber mit der Tiefe stark ab. Die Anlage Neuwiesen ist ein Bodenfilter und zeigt

FR

## Faut-il traiter les eaux de chaussée polluées avec des filtres en terre engazonnée ou avec des filtres en sable végétalisé?

Les installations de traitement des eaux de chaussée polluées (SETEC), équipées de filtres de rétention végétalisés, permettent de traiter efficacement les eaux de chaussée contenant des substances nocives. Dans le cadre du présent projet, des filtres en terre engazonnée et des filtres en sable végétalisé ont été analysés et comparés eu égard à leur performance hydraulique, à leur capacité d'épuration ainsi qu'aux coûts générés par leur exploitation et leur entretien. Ces analyses ont révélé que les substances nocives, qui sont principalement présentes à l'état de particules ou reliées à des particules, sont retenues par les filtres en sable au niveau de la surface du filtre tandis que dans les filtres en

terre, elles s'infiltrant plus rapidement en profondeur par l'écoulement préférentiel. Les filtres en sable présentent une capacité d'épuration au moins aussi élevée que les filtres en terre. Ils ont en outre une performance hydraulique nettement supérieure et ils prennent moins de place que les filtres en terre, ce qui limite la perte des surfaces agricoles lors de la construction d'une installation. L'évaluation de 49 installations a révélé que le coût du traitement des eaux de chaussée polluées pour un hectare de route est moins élevé avec les installations de filtre en sable, que ce soit au niveau de la construction ou de l'exploitation. Par conséquent, il faut plutôt utiliser des filtres en sable que des filtres en terre.



3 | Tiefenverteilung von Zink in der Anlage Wüerital (Sandfilter) und Neuwiesen (Bodenfilter).

3 | Répartition du zinc en profondeur dans les installations de Wüerital (filtre en sable) et Neuwiesen (filtre en terre).

eine deutlich stärkere Verlagerung von Zink in die Tiefe. Dieses Bild ist typisch für die Unterschiede zwischen Sand- und Bodenfiltern.

## Partikuläre Stoffe helfen, gelöste Stoffe zu adsorbieren

Die Verlagerung der Schwermetalle zeigt ein ähnliches Bild wie die Verlagerung der partikularen Stoffe. Erklären lässt sich das dadurch, dass die Schwermetalle gut an die Partikel adsorbiert werden. Zudem ist ein bewachsener Sandfilter im Betrieb auch biologisch aktiv und führt zur Anreicherung von organischem Material, das ebenfalls, wie die Tonminerale, Adsorptionsmöglichkeiten bietet. Das Strassenabwasser enthält ausserdem auch Eisenhydroxide, welche zusätzlich als Adsorber wirken. Ein Teil der löslichen Stoffe erreicht die SABA schon in an Partikel adsorbierter Form. Andere adsorbieren erst beim Durchfliessen von Sedimentauflage und Invasionszone. Eine Sättigung der Adsorptionsoberflächen ist nicht zu befürchten, da die entsprechenden Partikel mit dem Strassenabwasser laufend nachgeliefert werden.

Die Tonminerale der Bodenfilter bringen also auch bezüglich des Rückhalts gelöster Stoffe keinen Vorteil gegenüber Sandfiltern. Dies bestätigen Messungen im Ausfluss verschiedener Strassenabwasserreinigungsanlagen. Die Sandfilter-SABA zeigen eine mindestens gleich hohe und zudem stabilere Schadstoffentfernung als Bodenfilter-SABA.

## Tracer-Versuche und präferenzieller Fluss

Um den Zusammenhang zwischen der Bodenstruktur, dem präferenziellen Fluss und der Schadstoffverlagerung genauer zu untersuchen, wurden in verschiedenen Anlagen Farbtracer-Experimente durchgeführt. Der Farbtracer wurde dem Wasser, das für die Messung der hydraulischen Leitfähigkeit verwendet wurde, beigemischt. Kurz darauf wurde der Boden aufgegraben und das durch das infiltrierende Wasser hervorgerufene Fließmuster untersucht und fotografiert. Gleichzeitig wurden Proben zur Bestimmung der Schwermetallgehalte mit einem mobilen XRF genommen.

Die Fließmuster zeigen eindeutig einen stärkeren Effekt präferenzieller Fließwege unter Bodenfiltern als unter Sandfiltern. Abbildung 4 zeigt einen Sandfilter (links), in



Forch 2, Sandfilter



Buchrain, Bodenfilter

4 | Unterschiede bezüglich präferenziellen Flusses in einem Sand- und einem Bodenfilter.  
4 | Différence d'écoulement préférentiel entre un filtre en sable et un filtre en terre.



5 | Fließmusterbild am Standort Forch 6, bei dem im Bereich des Zulaufes nachträglich Sand in den bestehenden Bodenfilter eingebaut wurde. Die Abbildung zeigt die «Böschung» der Sandschicht. Der Boden wurde nach Einbringen des Sandes wieder darübergezogen, um eine gleichmässige Oberfläche zu erhalten.

5 | Ecoulement réalisé à Forch 6 où le filtre en terre existant a été creusé, puis rempli de sable au niveau de l'arrivée. L'illustration montre le «bas-côté» de la couche de sable. Après le remplissage du filtre avec du sable, la terre excavée a été remise par-dessus afin d'obtenir à nouveau une surface régulière.

dem sich das infiltrierende Wasser gleichmässig unterhalb der Applikationsstelle ausbreitet und der keine Hinweise auf präferenzielle Fliesswege zeigt. Das Fließmuster im Bodenfilter (rechts) zeigt im Gegensatz dazu ein ungleichmässiges Fließmuster. Das Wasser infiltriert an gewissen Stellen und erreicht eine grössere Tiefe. Im oberen Teil des Profils wird ein Teil des Bodens umflossen. Dadurch kann die Reinigungsleistung beeinträchtigt werden, da die Schadstoffe eine kürzere Filterstrecke zur Verfügung haben.

Mit zunehmendem Alter und zunehmender Durchwurzelung zeigen auch Sandfilter stärkere Tendenzen zu präferenziellen Fließmustern. Art und Tiefe der Wurzeln spielen dabei eine wichtige Rolle. Bei zu wenig mächtigen Filterschichten gelangen die Schilfwurzeln schon nach wenigen Jahren in den Bereich des Kiessandes. Die dicken Schilfwurzeln (Rhizome) verlaufen vorwiegend horizontal. Nur die feineren Schilfwurzeln wachsen vertikal in die Tiefe. Auch wenn nach längeren Betriebszeiten die Schilfwurzeln bis zu den Drainageleitungen wachsen, verringert sich die Reinigungsleistung nicht wesentlich. Eine Sand-Filter-schicht von mindestens 50 cm genügt gemäss den bisherigen Untersuchungen den Anforderungen. Der Filtersand

muss allerdings genau definierte Qualitätsanforderungen erfüllen (Kornverteilung, Ausgangsdurchlässigkeit, steile Körnungslinie, Karbonatgehalt, Kornform etc.), um die gewünschte Reinigungsleistung zu erbringen.

In der SABA Forch 6 wurde im Bereich des Zuflusses nachträglich Sand eingebaut, der dann von Boden abgelöst wird. Abbildung 5 (oben): Hier sind alle beschriebenen Effekte in einem Bild zu sehen. Im Boden fliesst das Wasser ungleichmässig, und entlang der Fließwege sind die dunkleren Ablagerungen partikulärer Schadstoffe zu erkennen. Am Übergang zur Sandschicht häufen sich diese Ablagerungen, hier ist der Effekt der besseren mechanischen Filterung durch den Sand deutlich ersichtlich. Im Sand fliesst das Wasser dann sehr viel gleichmässiger weiter und es werden kaum noch partikulär gebundene Schadstoffe abgelagert. Dieses Detail zeigt auch, dass Partikel aus dem Strassenabwasser bevorzugt an Schichtgrenzen abgelagert werden. Dieses Phänomen kann mit der Zeit zur inneren Kolmatierung des Filters führen.

Separat durchgeführte Messungen mit dem mobilen XRF zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Schwermetallkonzentrationen an dunkler gefärbten Stellen, wo sich mehr

partikuläre Schadstoffe abgelagert haben, und der normal gefärbten Bodenmatrix. Es ist also davon auszugehen, dass die Schwermetalle an die Partikel adsorbiert sind und zusammen mit diesen zurückgehalten werden.

### Grösse, Betrieb und Unterhalt der Anlagen

Die Grösse eines Retentionsfilterbeckens wird auch durch die hydraulische Leistung bestimmt. Diese beschreibt, wie viele Liter Wasser ein Filter pro Minute und pro Quadratmeter Filterfläche behandeln kann. Der spezifische hydraulische Durchfluss von Sandfiltern ist im Vergleich zu Bodenfiltern im Mittel um das Vierfache höher. Bei der Dimensionierung liegt ein Wert von 3 bis 5 l/min/m<sup>2</sup> für Sandfilter klar auf der sicheren Seite, denn die untersuchten Anlagen zeigen mehrheitlich höhere Werte, und zwar bei stabilen hohen Reinigungsleistungen.

Die Auswertung von Daten aus dem SABA-Kataster (MISTRA SABA) zu den Investitionskosten ergab eine grosse Bandbreite. Für SABA mit Bodenfiltern liegt der Median pro Hek-

tare entwässerter Strassenfläche bei CHF 230 000, für SABA mit Sandfiltern bei günstigeren CHF 180 000. Die erfassten Angaben zu den mittleren jährlichen Betriebskosten pro Hektare entwässerter Strassenfläche zeigen Werte für SABA mit Bodenfilter von ca. CHF 3000 und für SABA mit Sandfilter von ca. CHF 2000. Der Unterhalt von Sandfiltern ist wesentlich einfacher, da diese nicht wie Bodenfilter jährlich gemäht werden müssen und kein Schnittgut zu entsorgen ist. Zudem sind die spezifischen Filterflächen pro Hektare entwässerter Strassenfläche bei den ausgewerteten Bodenfiltern grösser als bei den Sandfiltern, (Bodenfilter: ca. 300 m<sup>2</sup>, Sandfilter: ca. 200 m<sup>2</sup>, Mittelwerte).

### Fazit

Sandfilter sind demnach den Bodenfiltern in der Regel vorzuziehen. Sie weisen eine mindestens gleich hohe Reinigungsleistung wie Bodenfilter auf, und das bei deutlich besserer hydraulischer Leistung. Sie sind günstiger im Bau und einfacher im Unterhalt.