

Strassenabwasser-Behandlungsanlagen

Betriebserfahrungen und Erfolgskontrollen

Épuration des eaux de ruissellement routières

Fonctionnement et résultats

Il existe des installations d'épuration des eaux de ruissellement routières depuis six à dix ans déjà. Le Département des travaux publics du canton de Zurich a confié à un bureau d'ingénieurs et architectes (Uster) la coordination de l'évaluation des résultats d'exploitation de quatre installations, tant du point de vue du fonctionnement hydraulique que de l'efficacité de l'épuration. Les analyses pédologiques ont permis de déterminer les dépôts de boues ainsi que la capacité de régénération des filtres. La balance coûts/bénéfice est positive.

Road Wastewater – Treatment Plants

Operational Experiences and Performance Reviews

An office of engineering and architecture (Uster) has been commissioned by the civil engineering office of the canton Zurich to coordinate the evaluation of operational experiences and implementation of performance reviews in four road wastewater treatment plants (SABAs) which have been operational for between six and ten years. Hydraulic functions and purification levels were inspected. Pedological studies assessed deposits in road wastewater-silt as well as the regenerative capacity of soil filters. The cost-benefit equation presents a positive picture, overall.

Felix Rutz



Bei vier Strassenabwasser-Behandlungsanlagen (SABAs), die seit sechs bis zehn Jahren in Betrieb sind, beauftragte das Tiefbauamt des Kantons Zürich ein Ingenieur- und Architekturbüro aus Uster mit der Koordination zur Auswertung von Betriebserfahrungen und der Durchführung von Erfolgskontrollen. Kontrolliert wurden die hydraulische Funktion und die Reinigungswirkung. In bodenkundlichen Untersuchungen wurden die Ablagerungen des Strassenwasserschlammes sowie die Regenerationsfähigkeit der Bodenfilter beurteilt. Der Kosten-Nutzen-Vergleich zeigt ein positives Gesamtbild.

1. Vom Havariebecken zur SABA

Gemäss den Anforderungen im Gewässerschutzgesetz von 1991 und in der Gewässerschutzverordnung von 1998 ist die Behandlung des Strassenabwassers bei stark befahrenen Strassen vor der Einleitung in ein Gewässer erforderlich. In der BUWAL-(heute BAFU) Wegleitung von 2002 (*Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen*) [1] und in der VSA-Richtlinie von 2002 (*Regenwasserentsorgung*) [2] sind die Vorgaben konkretisiert und die heutigen Standards für die Strassenentwässerung festgehalten.

Zwischen 1970 und 1995 erstellte man bei der Entwässerung von Nationalstrassen vorwiegend *Ölrückhaltebecken* als reine Havariebecken. Nach 1995 wurden in verschiedenen Kantonen neben Ölrückhaltebecken auch *Sedimentations-*

teiche und zunehmend *Filterbecken* realisiert. Als Filtermaterialien wurden vereinzelt Kies, vorwiegend jedoch Oberboden und Kiessand eingesetzt. Gemäss den heutigen Wegleitungen und Richtlinien sollten die Filterbecken mit Ober- und Unterboden gebaut werden.

Die Erfahrungen mit den bisher realisierten Bodenfiltern sind unterschiedlich. Es gibt Anlagen, die gut funktionieren, aber auch Anlagen, bei denen nach kurzer Betriebszeit der Bodenfilter kolmatisierte.

Gegenwärtig werden in der Schweiz unterschiedliche Systeme für Strassenabwasser-Behandlungsanlagen (SABA) gebaut. Im Kanton Uri wurden drei neuartige SABAs mit *künstlichen Adsorbermaterialien* erstellt [3]. Solche Systeme können für sehr hoch belastetes Strassenabwasser bei engen Platzverhältnissen sinnvoll sein, sind aber teuer im Bau. Bei Bern wird eine SABA des Systems «*FluidControl*» zu Testzwecken gebaut. Bei diesem System wird das Strassenabwasser in einem grossen Behälter aufgefangen und der «*First- und Second-Flush*» soll dann differenziert behandelt werden. Je nach Platzverhältnissen und spezifischen Qualitätsvorgaben ist der Einsatz solcher Systeme eine gute Alternative, wenn sie eine genügende Reinigungsleistung erbringen. Deutschland macht sehr gute Erfahrungen mit *Sandfiltern*. Sie sind einfacher in Aufbau und Betrieb und neigen nicht so sehr zur Kolmation wie Bodenfilter, entsprechen aber nicht dem Standard nach BAFU-Wegleitung.

Bei günstigen Platzverhältnissen setzt der Kanton Zürich nach wie vor auf Becken mit *Bodenfiltern*. Allerdings sind bisher nur wenige Ergebnisse aus Betriebserfahrungen und effektiver Reinigungsleistung der verschiedenen Anlagentypen bekannt. Folgende *Fragen* sind daher von Interesse:

- Welche Unterhaltsarbeiten sind nötig?
- Was kosten Bau und Betrieb der SABAs?
- Was ist der Nutzen der SABAs?

2. Unterhaltsarbeiten und Betriebserfahrungen

2.1 Regelmässige Kontrolle, Pflege, Spülung und Entleerung

Gemäss den Angaben des *Nationalstrassenunterhaltes* (NSU), Werkhof Winterthur, werden bei den vier beurteilten SABAs an der N 4.2.8 und 9 folgende *Unterhaltsarbeiten* regelmässig durchgeführt:

- monatliche optische Kontrolle der Anlage
- jährliche Vegetationspflege: mähen der Böschungen und Becken (August/September)
- jährliches Spülen der Sickerleitungen
- alle zwei Jahre: Entleerung der Einlaufschächte der Strasse
- alle zwei Jahre: Entleerung der Grosssammelbecken

Der Schlamm wird der Regio Recycling Mülheim oder der ARGE Astra Volketswil AG zur Entsorgung abgegeben. Ein Teil des Schlammes kann in der Baustoffindustrie wiederverwertet werden (Sandanteil). Die aufkonzentrierten Feinanteile mit den schädlichen Schwermetallen werden in einer Deponie entsorgt. Der Abnahmepreis variiert je nach Schlammart zwischen CHF 130.– (bei Einlaufschächten) und CHF 170.– (bei Grosssammelbecken) pro Tonne. Das spezifische Gewicht des Schlammes aus den Grosssammelbecken und den Absetzbecken beträgt ungefähr 1,6 Tonnen pro Kubikmeter.

Bei der Entleerung alle zwei Jahre werden pro Hektare Einzugsgebietsfläche in den Grosssammelbecken rund 2 m³ Schlamm (= ca. 3,2 t) zu-

rückgehalten und entfernt. Dieser Schlamm besteht hauptsächlich aus den grössten Fraktionen der Feststoffe im Strassenabwasser (teilweise Sand). Die Entsorgungskosten betragen rund CHF 200.– bis 300.– pro Hektare Einzugsgebiet und pro Jahr.

Der Aufwand für die regelmässigen Unterhaltsarbeiten bei den Filterbecken (Vegetationspflege, Spülen der Leitungen, Kontrollen etc.) beträgt nach Angaben des NSU rund CHF 1500.– pro Hektare Einzugsgebiet und pro Jahr.

2.2 Ausserordentliche Unterhaltsarbeiten

SABA Chrebsbachknie (Sedimentationsteich und Kiesfilter)

Diese Anlage funktioniert seit zehn Jahren gut bezüglich Hydraulik und Reinigungswirkung (*Abb. 1*). Der Aufwand für die Unterhaltsarbeiten ist relativ gering. Die Verfahrenstechnik der SABA entspricht nicht mehr dem heutigen Standard, weil keine Filtration über den bewachsenen Oberboden erfolgt.

Vom Ölrückhaltebecken (Typ B, ohne Entlastung) fliesst das Strassenabwasser in den abgedichteten Sedimentationsteich und horizontal durch einen im Ufer angeordneten groben Kiesfilter in den zweiten als Nachklärbecken ausgebildeten Teich. Der Sedimentationsteich hat eine Fläche von ca. 300 m² pro Hektare Strassenfläche, der Kiesfilter ca. 50 m² pro Hektare Fahrbahn (bezogen auf die Wassereintrittsfläche). Der Kiesfilter ist mit Sickerkies 8/16 aufgebaut und mit ca. 20 cm Kiessand 1/32 überdeckt.

Seit 1996 bis März 2006 wurde zweimal die Abdeckschicht des Kiesfilters ersetzt (im März 2000 und im März 2006). Die *Schlammmentleerung* im Sedimentationsteich ist erstmals für 2008 vorgesehen (Kosten geschätzt, ca. CHF 4000.–/ha Einzugsgebiet).



Abb. 1 SABA Chrebsbachknie: Kiesfilter im Ufer des Sedimentationsteiches, nach zehn Betriebsjahren und 2-maligem Ersatz der obersten 20 cm, August 2006. (ILU)

SABA Seltenbach (Bodenfilter)

Bei dieser Anlage wird das Strassenabwasser vom Grosssammelbecken in einer Leitung dem *Absetzteich* und anschliessend einem zweiteiligen vertikal durchströmten Bodenfilter zugeführt (Abb. 2, 3, 4, 5). Die Filterbecken sind nicht abgedichtet. Der Filter besteht aus ca. 20 bis 30 cm *Oberboden*, ca. 80 cm Kiessand (mit vorgegebener Kornverteilungskurve) und einer *Entwässerungsschicht* aus 20 cm Sickerkies. Das gesamte Wasser wird in den ersten

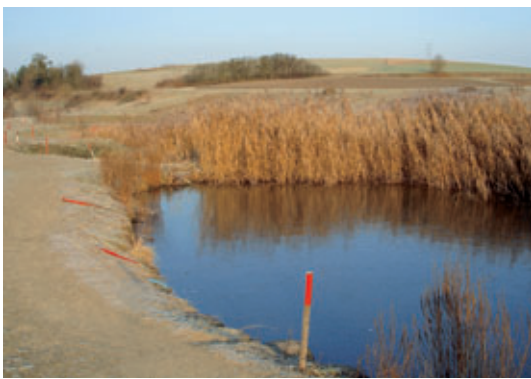


Abb. 2 SABA Seltenbach, vorgeschalteter Absetzteich, August 2006. (ILU)



Abb. 4 SABA Seltenbach bei Hochwasser vom 13. März 2006, Regen auf Schneeschmelze. (NSU)



Abb. 5 SABA Seltenbach bei trockenem Wetter, August 2006. (ILU)

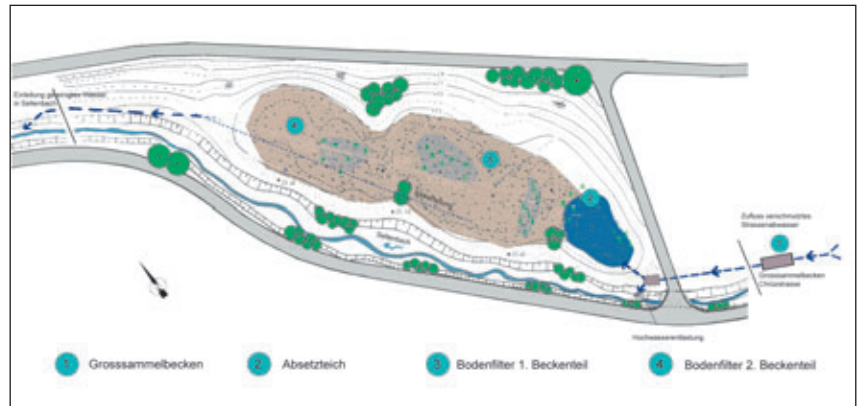


Abb. 3 Übersicht SABA Seltenbach.

Beckenteil abgegeben. Bisher wurde der zweite Beckenteil bewusst nicht in Betrieb genommen, um festzustellen, ob die höhere Filterbelastung zur Kolmation führt. Mit der höheren Belastung des ersten Beckenteiles kann nun eine Aussage gemacht werden zur Optimierung der Flächen der Filterbecken für zukünftige Anlagen. Im heutigen Betriebszustand beträgt die Filterfläche etwa 200 m² pro Hektare Einzugsgebiet.

Der erste Beckenteil ist seit Juni 2000 in Betrieb. Das Becken wurde erst ein Jahr nach der Fertigstellung und Ansaat mit Strassenabwasser beschickt. Der Zeitraum von etwa einem Jahr zwischen Ansaat und Inbetriebnahme ist unbedingt notwendig zur Stabilisierung der Bodenstruktur.

Seit Betriebsaufnahme wurde der Absetzteich einmal entleert. Dabei wurden pro Hektare Einzugsgebiet rund zehn Tonnen Schlamm entfernt. Etwa zwei Drittel davon waren Abschwemmungen aus der Bauzeit (Ton und Silt). Rund 3,3 Tonnen waren dunkler Strassenabwasserschlamm. Der Betrieb des Absetzteiches (nach dem vorgeschalteten Grosssammelbecken) gewährleistet eine Entlastung für die Filterflächen. Pro Jahr und pro Hektare Einzugsgebiet wer-

den im Absetzteich rund 0,7 Tonnen Strassenabwasserschlamm zurückgehalten. Ohne Absetzteich würde dieser Schlamm auf der Oberfläche der Filterbecken abgelagert und die Kolmation fördern. Die Kosten für Entnahme und Entsorgung belaufen sich auf rund CHF 300.– pro Hektare Strasse und pro Jahr.

Mit dem gewählten Filteraufbau können pro Jahr rund 40 m³ Strassenabwasser pro Quadratmeter Filterfläche langfristig ohne Kolmationserscheinungen behandelt werden (Annahme 90 % des Niederschlagess fließen ab, effektiv könnte der Anteil auch geringer sein). Der Filteraufbau mit Oberboden und Kiessand, aber ohne Unterboden, hat sich bei der SABA Seltenbach in den bisherigen rund sechs Betriebsjahren sehr gut bewährt. Insbesondere konnte eine genügende hydraulische Durchlässigkeit erreicht werden. Die SABA Seltenbach eignet sich somit als *Referenzanlage* für zukünftige Projekte.

Moosbach/Wildbach (Bodenfilter)

An diese SABA wurden besonders hohe Anforderungen gestellt, da unterstrom eine *Fischzucht* mit Wasser aus dem Moosbach/Wildbach betrieben wird. Der erste Bodenfilter wird horizontal durchström, der

zweite vertikal. Die Betriebserfahrungen und der Aufwand für den Unterhalt sind ähnlich wie bei der SABA Seltenbach. Die direkte Erfolgskontrolle wird durch die Fischzucht wahrgenommen.

Thur-Süd (Bodenfilter)

Bei dieser Anlage ist im Gegensatz zur Anlage Seltenbach und Moosbach/Wildbach weder ein Grosssammelbecken noch ein Absetzbecken vorgeschaltet. Das Strassenabwasser wird direkt in das zweiteilige, vertikal durchströmte *Retentionsfilterbecken* geleitet. Zusätzlich wird Sickerwasser kontinuierlich über den Retentionsfilter geleitet.

Der erste Beckenteil ist abgedichtet (Havariebecken). Im zweiten Beckenteil ist ein Versickerungsstrang eingebaut.

Die *Beckensohle* der beiden Becken hat zusammen eine Fläche von rund 160 m² pro Hektare reduziertes Einzugsgebiet.

Bei dieser Anlage sind *zwei Probleme* aufgetreten:

- Das ständig zufließende Sickerwasser aus dem Geländeeinschnitt im Einzugsgebiet wird zusammen mit dem Regenabwasser in der gleichen Leitung der SABA zugeleitet. Die Sickerwassermenge beträgt auch in Trockenzeiten rund 1–2 l/s und ist so gross, dass der Bodenfilter ständig benetzt wird und nicht abtrocknen kann. Dadurch kolmatisierte die Beckensohle schon nach rund einem Betriebsjahr. Trotz bisher zweimaligem Ersatz der obersten 10 cm Bodenschicht, konnte die Kolmation nicht verhindert werden. Die Sickerleistung wird einigermaßen aufrechterhalten durch regelmässiges Umstellen der Beschickung vom ersten zum zweiten Beckenteil.

- Beim Spülen der Zuleitung und bei Starkregenereignissen werden relativ grobe *Feststoffe* (Sand und Kies) im ersten Beckenteil abgelagert. Bisher sedimentierte eine Schicht von rund 10 bis 20 cm.

Ein Absetzbecken kann nachträglich nicht mehr erstellt werden. Hingegen ist es möglich, für das ständig fließende Sickerwasser eine Lösung zu finden. Geprüft wird die Direktableitung vom Zulauf zum Auslauf mit einem *Klappenverschluss*, der bei grösserer Wassermenge automatisch schliesst.

Ständig fließendes sauberes *Sickerwasser* bewirkt das Verstopfen des Bodenfilters. Bei neuen Strassen müssen zwei Entwässerungssysteme geplant werden: Das Sickerwasser muss vom Regenabwasser getrennt abgeleitet werden. Bei der Sanierung der Entwässerung bestehender Strassen muss dem Aspekt Sickerwasser die nötige Beachtung geschenkt werden. Der Verzicht auf ein vorgeschaltetes Grosssammelbecken und Absetzbecken hat sich *nicht bewährt*. Bei zukünftigen Anlagen ist mindestens ein Absetzbecken zwingend vorzusehen.

Bei der SABA Thur-Süd hat sich die *kompakte Bauweise* mit einem zentralen Schacht für Zulauf, Entlastung und Ablauf bewährt.

3. Einleitungsbedingungen – notwendiger Wirkungsgrad

Welche Anforderungen sind bei der Einleitung von Strassenabwasser in ein Gewässer einzuhalten? Für die Einleitung von kommunalem Abwasser oder Industrieabwasser in ein Gewässer sind in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) im Anhang 3.1 und 3.2 die Anforderungen definiert [4]. Für anderes verschmutztes Abwasser, also z. B. für Strassenabwasser, legt die Be-

hörde die Anforderungen an die Einleitung aufgrund der Eigenschaften des Abwassers, des Standes der Technik und des Zustandes des Gewässers im Einzelfall fest (GSchV, Anhang 3.3, Art. 1). *Sie [die Behörde] berücksichtigt dabei internationale oder nationale Normen, vom Bundesamt veröffentlichte Richtlinien oder von der betroffenen Branche in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt erarbeitete Normen* (GSchV, Anhang 3.3, Art. 1).

Für Strassenabwasser heisst dies konkret, dass die BAFU-Wegleitung [1] und die VSA-Richtlinie [2] anzuwenden sind. Zudem sind die allgemeinen Bestimmungen der Verordnung, insbesondere die ökologischen Ziele für Gewässer (GSchV, Anhang 1) und die Anforderungen an die Wasserqualität der Fließgewässer (GSchV, Anhang 2) zu berücksichtigen.

Bei der Einleitung von Strassenabwasser in Fließgewässer ist somit eine kombinierte Emissions- und Immissionsbetrachtung durchzuführen (vgl. Rossi, EAWAG [5]). Nachfolgend wird auf die hydraulischen und die chemischen Einleitungsbedingungen eingegangen.

3.1 Hydraulische Einleitungsbedingungen

Gemäss Wegleitung des BAFU sollte bei den Retentionsmassnahmen ein Einleitverhältnis $V > 1$ angestrebt werden. Die Einleitmenge an Strassenabwasser sollte somit kleiner sein als die Niedrigwassermenge (Q_{347}) im Gewässer. Nach VSA-Richtlinie ist zudem die Anzahl Geschiebetriebeignisse, die durch die Strassenabwassereinleitung erfolgen, zu beschränken. Je nach der Empfindlichkeit des Gewässers sind maximal zehn Geschiebetriebeignisse pro Jahr zulässig. Geschiebetrieb erfolgt in der Regel bei kleinen Vorflutern beim Anspringen der Entlastung der SABA.

Mit diesen Anhaltspunkten können gewässerspezifisch die notwendigen Retentionsmassnahmen festgelegt und das Rückhaltevolumen der SABA dimensioniert werden.

3.2 Chemische Einleitungsbedingungen

Die ökologischen Ziele für Gewässer und die Anforderungen an die Wasserqualität der Fließgewässer (GSchV, Anhang 1 und 2) sind hier massgebend. Weitere chemische Anforderungen für die Einleitung von Strassenabwasser in Fließgewässer existieren bis heute nicht.

Wie von Rossi in [5] vorgeschlagen, kann mit einer einfachen Mischrechnung der Einfluss der Strassenabwassereinleitung auf die Wasserqualität im Vorfluter abgeschätzt werden.

Aus dem Vergleich mit den «Anforderungen an die Wasserqualität der Fliessgewässer» (Qualitätsziele) können auf die jeweilige Anlage bezogene «Anforderungen an die Einleitung» abgeleitet werden. Falls zum Beispiel der Zinkgehalt oberhalb der Einleitstelle im Vorfluter vernachlässigbar wäre und die Wassermenge im Vorfluter gleich gross ist wie die Ableitung aus der SABA, dann dürfte der Zinkgehalt im Ablauf der SABA höchstens das Doppelte des Qualitätszieles betragen, um das Qualitätsziel im Gewässer einzuhalten.

3.3 Chemische Qualität von unbehandeltem Strassenabwasser

Im Vergleich zu den «Anforderungen an die Wasserqualität der Fliessgewässer» (Qualitätsziele) sind im Roh-Abwasser von stark befahrenen Strassen gewisse Schadstoffe regelmässig erhöht.

Das trifft auch für die Autobahn Winterthur-Andelfingen zu:

- Schwermetalle
- Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)
- Ammonium
- Nitrit (kein numerisches Qualitätsziel, nur für Baustellenabwasser ein Wert definiert) sowie das allgemeine Einleitkriterium
- Gesamte ungelöste Stoffe (GUS)

Bemerkenswerterweise sind Rückstände von Mineralölkohlenwasserstoffen (Treibstoff- und Schmierölkomponenten) in aller Regel geringer als 1 mg/l. Damit wird die maximale Einleitgrenze der allgemeinen Anforderungen von 10 mg/l praktisch immer klar unterschritten.

Im Strassenabwasser sind zudem Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) enthalten. Sie stammen aus teergebundenem Asphalt und vom Diesellruss. Für PAK gibt es in der Verordnung keine direkten Einleit-Anforderungen. Die PAK-Gehalte im Wasser sind in der Regel niedrig. Zudem ist diese problematische Stoffgruppe fast vollständig an Partikel gebunden und kann deshalb via Sedimentation und Bodenfiltration gut abgetrennt werden. In den Anlagen zur Behandlung des Strassenabwassers müssen also neben dem Rückhalt der Schwermetalle auch anorganische Stickstoffverbindungen und organische Stoffe zurückgehalten oder abgebaut werden. Zudem sind die «nur» verbal umschriebenen Anforderungen der Gewässerschutzverordnung zu erfüllen (z. B. keine negativen Einflüsse auf die Lebensgemeinschaften der Gewässer).

4. Erfolgskontrollen

4.1 Teich und Kiesfilter – guter Wirkungsgrad

SABA Chrebsbachknie

Die Ableitungsspende der SABA ist kleiner als die Niedrigwassermenge im Chrebsbach. Die Entlastung der SABA springt weniger als 10-mal pro Jahr an. Die hydraulischen Anforderungen an die Einleitung des Strassenabwassers sind somit eingehalten.

Bei der SABA Chrebsbachknie wurden durch das Tiefbauamt und die EAWAG in den Jahren 1996 bis 2000 umfangreiche Messkampagnen mit chemischen Analysen durchgeführt [5, 6, 7]. Obwohl diese SABA nicht dem heutigen Standard entspricht, belegen die Messresultate einen guten Wirkungsgrad für Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe von meist über 90 %. Für das Schwermetall Zink, das zu ca. 30 % in gelöster Form vorliegt, betrug die festgestellte Reinigungsleistung ca. 70 %. Allerdings ist festzuhalten, dass der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) in der Anlage nicht zurückgehalten bzw. nicht abgebaut wird.

4.2 Bodenfilter – sehr guter Wirkungsgrad

4.2.1 Hydraulische Durchlässigkeit

Für die Dimensionierung von Strassenabwasserreinigungsanlagen ist die Durchlässigkeit der Filterbecken eine wichtige, aber oft nur vage bekannte Grösse. Sie hängt von den verwendeten Filtermaterialien, der Bepflanzung und nicht zuletzt vom variablen Wassergehalt des Filtermaterials ab. Massgebend für die Infiltrationsrate ist die Wasserleitfähigkeit der Oberfläche. So wird die Durchlässigkeit eines Bodenfilters oft durch die Ablagerung von Feinmaterialien aus dem zu reinigenden Abwasser beeinträchtigt (Kolmation).

Die der Dimensionierung zugrunde gelegte spezifische Durchlässigkeit der Bodenfilter von 1–2 l/min/m² ist bei den drei untersuchten Anlagen vorhanden (entspricht 1,5 bis 3 * 10⁻⁵ m/s). Bei der SABA Thur-Süd sickert das Wasser nach der Kolmation des Bodens im ersten Becken seitlich durch die Böschungen. Die automatische Messstation der Anlage Seltenbach erlaubte es, eine mittlere Durchlaufzeit der Reinigungsanlage anzugeben. Anhand des Verlaufs des Wasserstandes im Zu- und Ablaufkanal beträgt sie etwa zwei Stunden.

4.2.2 Hydraulische Einleitungsbedingungen

Die zwei Vorfluter Seltenbach und Moosbach/Wildbach haben ein sehr kleines Einzugsgebiet und eine so geringe Niedrigwassermenge, dass die Ableitungsspende der SABAs bei vielen Regenereignissen das Q₃₄₇ der Bäche übersteigt. Die Vorgabe der BAFU-Wegleitung [1] kann in diesem Punkt nicht vollumfänglich eingehalten werden. Bei der SABA Thur-Süd wären keine Rückhaltmassnahmen erforderlich. Die Entlastungen der drei SABAs springen im Durchschnittsjahr weniger als 2-mal an.

4.2.3 Hydrobiologische Untersuchungen

Hydrobiologische Untersuchungen am Seltenbach zeigten keinen Unterschied der Lebensgemeinschaften der Wasserwirbellosen zwischen oberhalb und unterhalb der Einleitstelle des Strassenabwassers. Beim Moosbach/Wildbach liegt die Einleitstelle am Ende der Revitalisierungsstrecke. Eine Aussage zum Einfluss der Strassenabwassereinleitung war nicht möglich, da die Unterschiede im Vorkommen der Wasserwirbellosen aufgrund des Bachausbaus gross sind.

4.2.4 Reinigungswirkungen der Bodenfilteranlagen

Die Reinigungswirkung der drei Bodenfilter-SABAs wurde anhand von *Laboranalysen* untersucht. Es wurden physikalische, anorganische und organische Parameterwerte sowie ausgewählte Schwermetallkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlagen ermittelt. Aus finanziellen Gründen konnten nur wenige Momentanproben (Stichproben) analysiert werden. Auch wurden keine Bachwasserproben gezogen, sodass keine nach *Rossi* [5] abgeschätzten Anforderungen an den Anlagenablauf abgeleitet werden konnten.

Ein grosser Teil der Schadstoffe (Schwermetalle, Mineralölkohlenwasserstoffe, PAK) im Strassenabwasser sind an Partikel gebunden. Rasch sedimentierende Partikel werden im Sedimentationsbecken abgefangen. Die Reinigungswirkung der eigentlichen Bodenfilteranlage beruht hauptsächlich auf der Abtrennung feiner, nicht rasch sedimentierender Partikel [8]. Letztere verursachen im Wesentlichen die Trübung des Abwassers. Die automatische Messstation der SABA Seltenbach wurde deshalb im Zu- und Ablauf mit Trübungsmesssonden ausgerüstet. Zusätzlich wurden der Wasserstand und die elektrische Leitfähigkeit bestimmt. Die Trübungsmessung ist robust und eignet sich gut zur Online-Überwachung vor Ort. Im Labor wird sie mit Vorteil durch den Parameter GUS (gesamte ungelöste Stoffe) ersetzt. Total wurden an den drei SABAs über die Jahre 2003 bis 2005 zu insgesamt 13 Zeitpunkten Proben zur Analyse im Labor gezogen. Während die Einläufe deutlich bis stark erhöhte GUS-Werte aufwiesen, lagen sie in den Ausläufen fast überall unter einer Routinebestimmungsgrenze von 10 mg/l. Entsprechend funktionierte auch die Abtrennung oder starke



Abb. 6 Erfolgskontrollen SABA Seltenbach Messstelle Ablauf des Filterbeckens: am 14. Juni 2005 um 10.30 Uhr. Klares Wasser fliesst gedrosselt ab. (ILU)

Reduktion der Schwermetallgehalte, der PAK und der Mineralölkohlenwasserstoffe einwandfrei (sofern überhaupt vorhanden).

Nur zweimal wurde in einem *Auslauf* ein GUS-Gehalt festgestellt, der oberhalb der Bestimmungsgrenze von 10 mg/l lag. In beiden Fällen waren auch deutliche Schwermetallgehalte messbar (SABA Moosbach/Wildbach; es war hier nur eine durch Bachwasser beeinflusste Probenahme möglich).

Für die Elimination bzw. chemische Umwandlung gelöster Stoffe in einer SABA ergeben die chemischen Analysen ebenfalls Indizien. Auch wenn wegen des Stichprobencharakters und der zeitlichen Abfolge der Probenahmen der Einlauf und Auslauf nicht so direkt miteinander verglichen werden können:

SABA Seltenbach

Messungen während eines Regenerereignisses im Sommer 2005 (*Tab. 1*) scheinen darauf hinzuweisen, dass Ammonium und Nitrit aus dem Anlagenzulauf während der Anlagenpassage zu Nitrat oxidiert werden (*Abb. 6*). Eine eindeutige Korrelation lässt sich aber wegen der zu schmalen Datenbasis nicht weiter erhärten. Eine quantitative Aussage über die Eliminationswirkung der

Anlage ist aus den genannten Gründen zwar nicht möglich, aber in der Sommerstichprobe waren immerhin Ammonium und Nitrit im Anlagenauslauf nicht mehr nachweisbar; in der Winterstichprobe 2005 hingegen schon. Beides lässt sich als Indiz für eine im Ausmass von der Temperatur abhängige Elimination von Ammonium und Nitrit in der Anlage interpretieren. Beim DOC war Ähnliches zu beobachten.

In etwa dasselbe Bild zeigen die Messungen nach einem Regenereignis im September 2003 (*Tab. 1*).

SABA Thur Süd

Bei der SABA Thur Süd wurde im Mai 2004 (*Tab. 2*) nach einem 20-stündigen Regenereignis ebenfalls beobachtet, dass sich die Mengen an Ammonium, Nitrit und DOC, welche sich im Einlauf der Anlage befanden, in der Einleitung in die Thur nur noch in stark reduzierten Masse wieder finden (*Tab. 2*). Dies wurde aus drei Probenahmezeitpunkten ersichtlich, bei welchen der Einlauf und der Auslauf jeweils gleichzeitig beprobt wurden. Wieder muss davon ausgegangen werden, dass es sich bei den Probenpaaren nicht um das gleiche Wasser handelt (Aufenthaltszeit in der Anlage wurde vernachlässigt). Dies erklärt, dass vereinzelt die Konzentration im Auslauf leicht höher zu liegen kommt als im Einlauf. Die Interpretation der Ergebnisse wird zudem eingeschränkt durch die Tatsache, dass in diese SABA eingeleitetes Fremdwasser (Sickerwasser) das Strassenabwasser leicht verdünnt. Trotzdem, der gemessene Abfall der Konzentrationen konnte bereits im September 2003 beobachtet werden (*Tab. 2*).

Parameter	Zulauf 14. Juni 2005, 10:25 h	Auslauf 14. Juni 2005, 10:33 h
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	42 mg/l C	7,8 mg/l C
Ammonium	1,19 mg/l	<0,01 mg/l
Nitrit	0,548 mg/l	<0,005 mg/l
Parameter	Zulauf 8. Sept. 2003, 09:04 h	Auslauf 8. Sept. 2003, 09:04 h
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	4,7 mg/l C	4,0 mg/l C
Ammonium	0,42 mg/l	0,02 mg/l
Nitrit	0,20 mg/l	0,05 mg/l
Parameter	Zulauf 8. Sept. 2003, 15:42 h	Auslauf 8. Sept. 2003, 15:42 h
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	8,3 mg/l C	3,9 mg/l C
Ammonium	0,73 mg/l	<0,01 mg/l
Nitrit	0,30 mg/l	<0,005 mg/l

Tab. 1 Elimination gelöster Stoffe SABA Seltenbach.

Parameter	Zulauf 4. Mai 2004, 20:35 h	Auslauf 4. Mai 2004, 20:35 h
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	38 mg/l C	1,1 mg/l C
Ammonium	3,99 mg/l	0,05 mg/l
Nitrit	0,008 mg/l	<0,005 mg/l
Parameter	Zulauf 4. Mai 2004, 21:05 h	Auslauf 4. Mai 2004, 21:05 h
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	33 mg/l C	1,2 mg/l C
Ammonium	3,07 mg/l	0,02 mg/l
Nitrit	4,39 mg/l	0,031 mg/l
Parameter	Zulauf 5. Mai 2004, 15:10 h	Auslauf 5. Mai 2004, 15:10 h
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	2,2 mg/l C	4,3 mg/l C
Ammonium	<0,01 mg/l	0,03 mg/l
Nitrit	0,039 mg/l	<0,005 mg/l
Parameter	Zulauf 8. Sept. 2003, 09:45 h	Auslauf 8. Sept. 2003, 09:45 h
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	3,0 mg/l C	2,23 mg/l C
Ammonium	0,16 mg/l	0,04 mg/l
Nitrit	0,25 mg/l	0,036 mg/l

Tab. 2 Elimination gelöster Stoffe SABA Thur Süd.

SABA Moosbach/Wildbach

Die SABA Moosbach/Wildbach zeigte ein ähnliches Bild bei einer Untersuchung im September 2003. Generell war hier eine Reduktion der gelösten Stoffe zu beobachten. Allerdings sind diese Daten weniger aussagekräftig, weil der Anlagenauslauf aus konstruktiven Gründen durch Vorfluterwasser beeinflusst wird.

4.2.5 Beurteilung der Reinigungswirkung

Insgesamt entsprechen die Beobachtungen an den drei Anlagen mit Bodenfilter einem mechanistischen Modell, wie es von *Grotehusmann* [8] beschrieben worden ist. Der Reinigungsgrad ist in den drei SABAs für die verschiedenen Schadstoffe erwartungsgemäss unterschiedlich. Es sind insbesondere die GUS und mit ihnen die Schwermetalle und PAK, welche zuverlässig aus dem Abwasser entfernt werden. Auch Mineralölkohlenwasserstoffe werden weitgehend eliminiert, obschon sie normalerweise bereits im Einlauf nur noch im tiefen ppm-Bereich auftreten. Es scheint, dass Bodenfilter-SABAs bezüglich Mineralölkomponenten im tiefen Konzentrationsbereich eine sehr gute Reinigungswirkung aufweisen und diese Kontaminanten stark abreichern können. Aber auch die eindeutig gelösten Belastungsstoffe wie DOC, Ammonium und Nitrit werden im untersuchten Anlagentyp offenbar wirkungsvoll sequestriert.

4.2.6 Beeinflussung durch Tausalz

Für die SABA Seltenbach wurde mit den Daten der Dezembermessung 2005 abgeschätzt, ob Strassensalz im Strassenabwasser im Winterhalbjahr die Rücklösung von Schwermetallen zur Folge haben könnte. Dazu dienten Modellrechnungen am Beispiel von Kupfer, das als einziges Schwermetall, wenn auch niedrig, in noch messbarer Konzentration vorlag [9]. Es konnte dabei gezeigt werden, dass die Erhöhung der Chloridkonzentration um einen Faktor 10, von Sommer zu Winter (von rund 70 auf 660 mg/l), die Rücklösung von Kupfer nicht beeinflusst. Chlorid unterliegt dabei im chemischen Gleichgewicht als Ligand für Kupfer den Liganden wie Bicarbonat, Carbonat und Hydroxid um Grössenordnungen.

5. Bodenfilter entwickeln stabiles Porensystem

Die Untersuchungen zeigen, dass Bodenfilter dank bodenspezifischer Prozesse ein gewisses Regenerationsvermögen besitzen. So bleibt die ungehinderte Infiltration gewährleistet, wenn die Oberfläche durch Aggregation strukturiert ist und Verschlammungen vermieden oder durch Bodenlebewesen regeneriert werden. Der Filter bleibt durchlässig, wenn durch die biologische Aktivität sowie durch Quellen und Schrumpfen des Bodens ein gleichmässig über das ganze Volumen entwickeltes und stabiles Porensystem entsteht. Eine Vegetationsdecke schützt die Bodenoberfläche und fördert die biologische Aktivität. Der Bodenfilter vermag Schadstoffe durch Filtration und Adsorption an Tonmineralien und an Humustoffen in kolloider Form zurückzuhalten und zu binden. Schwermetalle neigen im Boden zur Bildung von Komplexen und sind bei pH-Werten im neutralen bis alkalischen Be-

reich relativ stabil gebunden. Organische Schadstoffe werden vor allem durch die organische Substanz des Bodens gebunden. Sie können zudem von Mikroorganismen abgebaut werden [8].



Abb. 7 SABA Seltenbach, Entnahmestelle der Bohrkern, zwischen Schilfvegetation. Die Streuauflage wurde entfernt. (A. Pazeller)

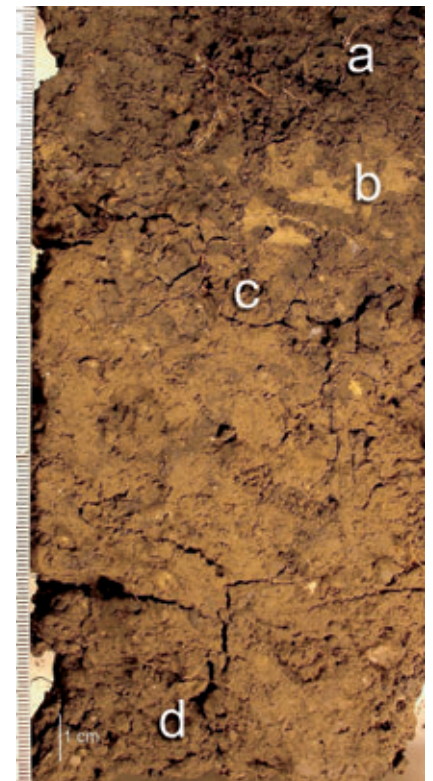


Abb. 8 Bohrkern, frisch; 0 bis ca. 18 cm Tiefe. (A. Pazeller)
 a) Sediment aus vorwiegend schwarzem Pneubrieb
 b) helles Sediment (Strassensaub)
 c) Wurzeln und Wurzelröhren mit Hydromorphiemerkmalen
 d) Trockenrisse ausgekleidet mit dunklem Sediment

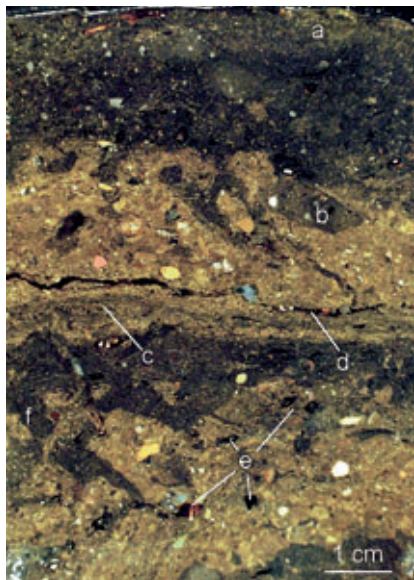


Abb. 9 Schnitt 0 bis 7 cm Tiefe; Epoxidpräparat im Anschliff. (A. Pazeller)
 a) helle Sedimentauflage aus feinem Strassenstaub, gegen unten unscharf begrenzt
 b) Untergrenze der schwarzen Zone zungenförmig aufgelöst
 c) feinplattige, lamellenartige Struktur von eingelagertem Sediment
 d) Trockenriss (Artefakt des Präparats)
 e) Makroporen
 f) zweite, bereits eingearbeitete und zungenförmig aufgelöste Zone von schwarzem Sediment

Bodenfilter sind demnach für Retentionsfilterbecken in Strassenabwasser-Behandlungsanlagen nicht nur geeignet, sondern für eine optimale Reinigungswirkung generell notwendig. Sie erfordern jedoch in der Planung und Ausführung die Begleitung durch den Pedologen. Die folgenden Abbildungen zeigen eine Nahaufnahme der Bodenoberfläche und zwei Schnitte durch Bohrkern aus der Bodenschicht des Filterbeckens Seltenbach. Darin ist deutlich sichtbar, wie feinkörniges Sediment aus dem Strassenabwasser nicht an der Oberfläche bleibt und diese kolmatieren lässt, sondern durch bodenspezifische Prozesse in die Schicht eingearbeitet wird. Die Funktionsfähigkeit bleibt dadurch erhalten (Abb. 7, 8, 9).

6. Kosten – Nutzen

Die Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Bau- und Unterhaltskosten der vier Anlagen. In den Baukosten nicht enthalten sind die Kosten für die Ölrückhaltebecken und den Landerwerb. Die SABA Chrebsbachknie konnte sehr kostengünstig gebaut werden, da keine grossflächigen Filterbecken erstellt wurden, sondern zwei Teiche und ein Kiesfilter. Für die Unterhaltskosten wurden die geschätzten CHF 1500.– pro Hektare und Jahr für die ordentlichen Unterhaltsarbeiten angenommen und rund CHF 500.– pro Hektare und Jahr für ausserordentliche Aufwendungen. In den Kosten nicht berücksichtigt ist die allfällige Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes nach einer theoretischen Aufhebung der Anlage. Dazu müssten die Filterschichten in einer Deponie entsorgt werden. Häufig ist es möglich, für den Filteraufbau bereits belasteten Boden aus strassennahen Flächen zu verwenden. Damit wird kein neues, sauberes Material degradiert, sondern bestehendes stärker belastet.

Vielfältiger ökologischer Nutzen

Der Bau und Unterhalt der SABAs sind gesetzliche Pflicht. Bei stark be-

Stoff	Schätzung aus Messungen N4.2.8/9
Feststoffe (Schlamm)	3 Tonnen / Jahr / ha
Zink	2 kg / Jahr / ha
Kupfer	1 kg / Jahr / ha
Blei	0,5 kg / Jahr / ha
Cadmium	30 g / Jahr / ha
DOC	150 kg / Jahr / ha

Tab. 4 Durchschnittlich zurückgehaltene spezifische Stofffrachten pro Anlage an der N4.2.8/9.

fahrenen Strassen sind solche Anlagen heute unbestritten. Als Nutzen können aufgeführt werden:

- Drosselung des Spitzenablaufes in die Gewässer
- Reduktion des Schadstoffspektrums und deren Frachten, welche mit dem Strassenabwasser in die Gewässer gelangen, insbesondere GUS, Schwermetalle, PAK und Kohlenwasserstoffe, aber auch eindeutig gelöste Verbindungen wie DOC, Ammonium und Nitrit
- Ausgleich der Temperatur des Strassenabwassers (im Sommer wichtig bei Gewittern auf heisse Strassenflächen)
- Eingriffsmöglichkeit im Havariefall
- Erholungsnutzung durch Gestaltungselement im Siedlungs- und Landschaftsraum
- Aufwertung als Biotop für Flora und Fauna

Die Drosselung der Ablaufmenge ist umso wichtiger, je kleiner der betroffene Vorfluter ist. Für den Chrebsbach, Seltenbach und Moosbach/Wildbach ist die Reduktion der Abflussspitzen bei Starkregen ein wichtiger ökologischer Beitrag. Bei der Einleitung in die Thur hat dieser Aspekt keine Bedeutung. Aufgrund der durchgeführten Messungen werden bei den untersuchten SABAs über 90 Masse-% der analysierten Schadstoffe zurück-

Anlage	Baukosten	Amortisation der Baukosten pro Jahr (in 50 Jahren, 5 % Zins)	Unterhaltskosten pro Jahr	Total Amortisation und Unterhalt pro Jahr
Chrebsbachknie	ca. CHF 53 000.–	ca. CHF 3 000.–	ca. CHF 2 000.–	ca. CHF 5 000.–
Seltenbach	ca. CHF 180 000.–	ca. CHF 10 000.–	ca. CHF 2 000.–	ca. CHF 12 000.–
Moosbach/Wildbach	ca. CHF 230 000.–	ca. CHF 13 000.–	ca. CHF 2 000.–	ca. CHF 15 000.–
Thur-Süd	ca. CHF 300 000.–	ca. CHF 16 000.–	ca. CHF 2 000.–	ca. CHF 18 000.–

Tab. 3 Bau- und Unterhaltskosten pro Hektare Einzugsgebiet. Berechnung: ILU; Quellen Baukosten: Chrebsbachknie: Heierli AG, Zürich; andere Anlagen: HS+P, Andelfingen.

gehalten und/oder abgebaut. Ebenfalls zurückgehalten werden der Strassenwasserschamm und die darin enthaltenen Schadstoffe, die ansonsten auf der Gewässersohle deponiert würden. Über ein Jahr gerechnet ergeben sich erhebliche *Stofffrachten*, die von den Gewässern ferngehalten werden. Beispielsweise werden pro Jahr in den vier SABAs zusammen rund 40 kg Zink zurückgehalten (grobe Hochrechnung aus Messungen an SABA Chrebsbachknie [6]).

Je nach SABA werden mit einem Aufwand von CHF 5000.– bis 20 000.– durchschnittlich die in *Tabelle 4* aufgeführten spezifischen Stofffrachten von den Gewässern ferngehalten.

Der Vergleich mit den Daten des Forschungsprojektes von EAWAG/HSB/GSA in Burgdorf [10] ergibt ähnliche Grössenordnungen, ausser beim Cadmium, wo die Messungen an der N4.2.8/9 einen rund 10-mal höheren Wert ergeben.

Literaturverzeichnis

- [1] BAFU (2002): Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen, Wegleitung.
- [2] VSA (2002): Regenwasserentsorgung, Richtlinie.
- [3] Hermann, E. (2005): Behandlung von hochbelastetem Strassenabwasser. gwa 12, S. 953–959.
- [4] Gewässerschutzverordnung (1998).
- [5] Eawag, Rossi, L. (2002): VSA-Fortbildungskurs: Strassenentwässerung der Zukunft.
- [6] Eawag, Suter, J. (2000): Schwermetallbilanz eines Autobahnabschnittes und die Behandlung des Strassenabwassers, SABA Chrebsbachknie und ihr Einzugsgebiet.
- [7] Tiefbauamt Kt. Zürich, AWEL, ILU Fries Rutz Wanner AG, Institut Bachema, Dr. von Moos AG (1999): Biologische Strassenabwasserreinigung, Auswertung der Messkampagnen an der Anlage Chrebsbachknie bei Winterthur. gwa 4.
- [8] Grotehusmann, D. (2001): Reinigungsprozesse bei der Bodenfiltration, DWA.
- [9] Bachema (2006): Bericht Nr. 20052339/5299 vom 19.4.06, mittels PHREEQC Version 2.10.0.0. Freeware von USGS (US Geological Survey).
- [10] EAWAG/HSB/GSA (2005): Schadstoffe im Strassenabwasser einer stark befahrenen Strasse und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Adsorbentmaterial, Schlussbericht.
- [11] Tiefbauamt Kanton Zürich, ILU Fries Rutz Wanner AG, Agrarökologie Pazeller, Institut Bachema, Dr. Lubini, V., AquaTerra (2006): N 4.2.8 und 9 Winterthur – Andelfingen, Strassenabwasser-Behandlungsanlagen, Betriebserfahrungen und Erfolgskontrollen.
- [12] Tiefbauamt Kanton Zürich (1997–2004): Fachgruppe Strassenentwässerung.
- [13] EAWAG/HSB/GSA (2005): Bankette bestehender Strassen – Untersuchung über die Versickerung von Strassenabwasser über Strassenrandstreifen an einer bestehenden Strasse, Schlussbericht.
- [14] Daten Projekt Burgdorf.

Keywords

Strassenabwasser-Behandlungsanlage – SABA – Betriebserfahrung – Erfolgskontrolle – Bodenfilter

Adresse der Autoren

Felix Rutz, dipl. Kulturing. ETH
ilu AG
Ingenieure, Landschaftsarchitekten,
Umweltfachleute
Zentralstrasse 2a, CH-8610 Uster
Tel. +41 (0)44 944 55 51
Fax +41 (0)44 944 55 66
felix.rutz@ilu.ch

Adalbert Pazeller,
dipl. Ing. Agronom ETH
Agrarökologie Pazeller
CH-8805 Richterswil
a.pazeller@pazeller.ch

Michel F. Schurter,
Dr. sc. nat. Chemiker ETH/SIA
Bachema AG
CH-8952 Schlieren
schurter@bachema.ch



WAGAMET
Wasser- & Gastechnologie

Ihr Ortungsspezialist

Wasserverluste?

Lassen Sie sich über das weltbekannte Leck-Früherkennungssystem **Ortomat®** und über unsere Ortungsgeräte beraten!

Wasserleckstellen orten?

Unsere topmotivierten Fachleute helfen Ihnen jederzeit gerne bei Leckortungen!

WAGAMET AG, Rüeggisingerstrasse 2, CH-6020 Emmenbrücke
Telefon: +41 41 2606088, Fax: +41 41 2606044, mail: info@wagamet.com