

# Vergleich der Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern und Versickeranlagen an Bundesfernstraßen

FA 5.141

Forschungsstelle: Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbh, Hannover

Bearbeiter: Grotehusmann, D. / Kasting, U.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: September 2008

## 1 Aufgabenstellung

Die Reinigungsleistung von Bodenfilteranlagen wird als erheblich höher eingeschätzt als die von Absetzanlagen. Von den zuständigen Wasserbehörden werden für die Abflüsse stark befahrener Straßen daher zunehmend Retentionsbodenfilteranlagen (RBFA) als Behandlungsanlagen gefordert. Teilweise wurde die Forderung einer Bodenfilteranlage als Vorstufe vor einer Versickeranlage erhoben. Es stellt sich hier die Frage, ob eine zweifache Boden- bzw. Substratpassage notwendig ist, um einen ausreichenden Grundwasserschutz zu gewährleisten.

Die Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie (ifs) wurde mit dem Schreiben vom 01.12.2005 von der Bundesanstalt für Straßenwesen mit der Durchführung von Untersuchungen an groß- und halbertechnischen Anlagen beauftragt. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden nachfolgend zusammengefasst und anschließend Schlussfolgerungen gezogen.

## 2 Untersuchungsprogramm

### 2.1 Untersuchungen an großtechnischen Anlagen

Für die großtechnischen Untersuchungen wurden zwei RBF (Köln-Ost Westseite und Nr. 05/09 Berlin) ausgesucht, an denen sowohl die Zu- und Abläufe zum Bodenfilter als auch Sedimentproben analysiert wurden. An zwei zusätzlichen Versickerbecken (Köln-Eifeltor und Köln-Bocklemünd) wurden ebenfalls Sedimentproben analysiert.

Den RBF sind großvolumige **Vorstufen**, bestehend aus jeweils zwei parallelen Betonrechteckbecken, vorgeschaltet. Für den Versuchsbetrieb wurde jeweils eine Kammer außer Betrieb genommen, sodass das spezifische Volumen der Vorstufen für die Anlage in Köln bzw. in Berlin 106 bzw. 75 m<sup>3</sup>/ha A<sub>E,b</sub> beträgt. Aufgrund der geringen Zulaufkonzentrationen zu den RBF ist davon auszugehen, dass die Vorstufen einen guten Rückhalt an sedimentierbaren Stoffen bei den hier untersuchten Bilanzierungszeiträumen aufweisen. Eine direkte Quantifizierung der Reinigungsleistung der Vorstufen ist nicht möglich, da der Zulauf zu den Vorstufen nicht beprobt wurde.

Deutliche Unterschiede weisen die RBF im Bereich des **Filteraufbaus** auf. Der RBF Köln-Ost Westseite weist eine lediglich 20 cm mächtige Filterschicht über einer 25 cm mächtigen Dränageschicht auf. Die Filterschicht besteht aus einem Substratgemisch (Lavasand, Bims, Basalt, Löß und org. Substanz). Der Ablauf ist nicht gedrosselt. Beim RBF Nr. 05/09 Berlin ist die Filterschicht (85 cm) aus einem Filtersand mit Carbonatzugabe und 5 cm Deckschicht aus Carbonatbrechstein nach den Empfehlungen des Merkblatt DWA-M 178 (DWA, 2005) aufgebaut. Auch hier erfolgt keine Drosselung des Ablaufs.

Für die beiden untersuchten RBF sind über ein Jahr hinweg in jeweils 20 Bilanzierungszeiträumen die **Stoffkonzentrationen** im Zu- und Ablauf beprobt worden. Für ausgewählte Parameter

werden die Ergebnisse den Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) gegenübergestellt (Tabelle 1). Es ist zu erkennen, dass die Ablaufwerte beider RBF die Prüfwerte unterschreiten, sodass nach diesen Prüfwerten eine direkte Einleitung in das Grundwasser ohne weitere Behandlung zulässig wäre. Auch die Zulaufwerte liegen bei dieser Untersuchung größtenteils unter den Prüfwerten der BBodSchV, was aber auf den Rückhalt in den sehr groß dimensionierten Vorstufen zurückgeführt wird.

**Tabelle 1: Frachtgewogene Zu- und Ablaufkonzentrationen der RBF und Prüfwerte der BBodSchV**

| Parameter                | RBF Köln-Ost Westseite |        | RBF Nr. 05/09 Berlin |        | Prüfwert BBodSchV <sup>1)</sup> |
|--------------------------|------------------------|--------|----------------------|--------|---------------------------------|
|                          | Zulauf                 | Ablauf | Zulauf               | Ablauf |                                 |
| Antimon [µg/l]           | <10                    | <10    | 4                    | 2      | 10                              |
| Arsen [µg/l]             | <10                    | <10    | 0,8                  | <1     | 10                              |
| Blei [µg/l]              | 4,9                    | 2,5    | 4,9                  | 1,5    | 25                              |
| Cadmium [µg/l]           | 0,3                    | 0,1    | 0,1                  | <0,1   | 5                               |
| Chrom gesamt [µg/l]      | 3,0                    | 2,1    | 5,9                  | 5,1    | 50                              |
| Kobalt [µg/l]            | <20                    | <20    | 1,5                  | <1     | 50                              |
| Kupfer [µg/l]            | 31,5                   | 22,8   | 26,3                 | 9,3    | 50                              |
| Molybdän [µg/l]          | <20                    | <20    | 4                    | 3      | 50                              |
| Nickel [µg/l]            | 2,4                    | 1,4    | 2,5                  | 1,6    | 50                              |
| Quecksilber [µg/l]       | <2                     | <2     | <0,1                 | <0,1   | 1                               |
| Zink [µg/l]              | 102                    | 49     | 115                  | 38     | 500                             |
| MKW <sup>3)</sup> [µg/l] | 141                    | 131    | 39                   | <50    | 200                             |
| PAK (EPA) [µg/l]         | 0,15                   | 0,02   | 0,28                 | 0,13   | 0,2 <sup>2)</sup>               |

1) Wirkungspfad Boden - Grundwasser

2) PAK (EPA), jedoch ohne Naphthalin

3) Untersuchungen an den RBFA nach DIN EN ISO 9377-2; Prüfwert BBodSchV nach ISO/TR 11046

Die mittleren frachtgewogenen **AFS**-Ablaufkonzentrationen der Vorstufen (=Zulauf zum RBF) sind mit 4 bzw. 23 mg/l im Vergleich mit Literaturdaten ausgesprochen gering. Diese geringen Ablaufwerte werden zum einen auf die geringe hydraulische Belastung (großes spezifisches Einstauvolumen) als auch auf die teilweise Zuleitung der Niederschlagsabflüsse über dränierte Mulden zurückgeführt. Weiter kann bei der Berliner Anlage auch die intensive Straßenreinigung Auswirkungen zeigen. Im Ablauf der Bodenfilteranlagen werden mittlere AFS-Werte von 3 bis 8 mg/l gemessen.

In den Untersuchungszeiträumen traten durch den Winterbetrieb der Straßen hohe **Chloridbelastungen** (829 mg/l bzw. 1 110 mg/l) auf. Ein Rückhalt von Chlorid im Filter konnte erwartungsgemäß nicht festgestellt werden, jedoch wurden die Konzentrationsspitzen etwas gedämpft. Durch die Salzbelastung war eine Destabilisierung des Substratgefüges nicht zu verzeichnen. Erst bei höheren Ton- und Schluffgehalten (insbesondere bei aufweitbaren Tonmineralien) ist mit einer Destabilisierung zu rechnen.

Die aus Zu- und Ablaufkonzentrationen berechneten **Wirkungsgrade** zeigen, dass bei fast allen Parametern eine höhere Reinigungsleistung des RBF Nr. 05/09 Berlin gegenüber dem RBF Köln-Ost Westseite vorhanden ist, wobei bei Nickel praktisch eine gleiche Reinigungsleistung vorliegt (Tabelle 2). Eine Ausnahme bildet der Parameter Chrom gesamt, bei dem die Zu- und Ablaufkonzentrationen bei der Anlage in Berlin stark streuen. Weiterhin ist die Reinigungsleistung gegenüber PAK bei der Anlage in Berlin geringer, was aber auf die Dominanz einer Einzelmessung zurückzuführen ist.

Die gemessenen Wirkungsgrade liegen damit in etwa in dem Bereich, wie sie aus ähnlichen Untersuchungen bekannt sind. So wurden an Versickerungsanlagen zur Straßenwasserbehandlung in der Nähe von Augsburg Wirkungsgrade für Blei 63–90 %, Cadmium 34–56 %, Kupfer 37–68 % und Zink 84–94 % ermittelt (LfU, 2007). Bei halbertechnischen Bodenfilteranlagen wurden bei der Straßenwasserbehandlung Wirkungsgrade für Blei 33–69 %, Kupfer 80–96 %, Zink 91–97 % und

PAK 65–80 % ermittelt (Kasting u. a., 2007). Ein direkter Vergleich ist aufgrund der jeweiligen Besonderheiten der Messprogramme (Zulaufkonzentrationen, hydraulische Belastung, Filteraufbau, Versuchsmaßstab) jedoch nicht möglich.

Tabelle 2: Mittlere Wirkungsgrade der RBF [%]

|              | RBF Köln-Ost-Westseite | RBF Nr. 05/09 Berlin |
|--------------|------------------------|----------------------|
| AFS          | 25                     | 66                   |
| Blei         | 49                     | 69                   |
| Blei-f       | 8                      | 51                   |
| Cadmium      | 75                     | (100) <sup>1)</sup>  |
| Cadmium-f    | 37                     | k.A. <sup>2)</sup>   |
| Chrom gesamt | 29                     | 13                   |
| Kupfer       | 28                     | 64                   |
| Kupfer-f     | 11                     | 54                   |
| Nickel       | 41                     | 36                   |
| Zink         | 52                     | 67                   |
| Zink-f       | 54                     | 73                   |
| MKW-H53      | 7                      | (100) <sup>1)</sup>  |
| PAK (EPA)    | 86                     | 52                   |

Hinweise: -f: filtrierte Probe = gelöste Konzentration n.b.: nicht bestimmt  
 Bei einigen Parametern liegen nur 5 Beprobungen zur Bestimmung des Wirkungsgrades vor  
 1) BG bei den Ablaufwerten immer unterschritten  
 2) BG bei den Zu- und Ablaufwerten immer unterschritten

Die Auswertung für den **gelösten Anteil** einiger Schwermetalle für den Zu- bzw. Ablauf zeigt, dass für Blei und Kupfer der gelöste Anteil im Ablauf gegenüber dem Zulauf deutlich ansteigt. Daraus ist zu folgern, dass die Reinigung bei diesen Parametern stärker auf die Filtration partikulärer Stoffe als auf die Adsorption gelöster Stoffe zurückzuführen ist. Für Zink liegt der gelöste Anteil im Zu- und Ablauf bei der Anlage in Köln praktisch gleich, sodass hier der Rückhalt gleichmäßig auf Filtration bzw. Adsorption zurückzuführen ist. Bei der Anlage in Berlin überwiegt der Rückhalt an gelöstem Zink, was wahrscheinlich auf die höhere gelöste Zulaufkonzentration zurückzuführen ist.

2.2 Lysimeterversuche

Mit halbtechnischen Lysimeterversuchen erfolgte neben den großtechnischen Versuchen eine vergleichende Bewertung der Reinigungsleistung von Filteraufbauten aus den RBF und den Bodenschichten aus dem Versickerbecken Köln-Bocklemünd unter gleichen Zulaufbedingungen. Zusätzlich wurde ein Lysimeter aufgebaut, bei dem der Filteraufbau den Vorgaben des Merkblatt DWA-M 178 (DWA, 2005) entspricht und der Ablauf über ein Ventil entsprechend gedrosselt wird.

Tabelle 3: Mittlere Wirkungsgrade der Lysimeterversuche [%]

| Name                                     | AFS                | Cd                 | Cd-f               | Cu | Cu-f | Pb  | Pb-f | Zn | Zn-f | MKW | PAK                |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|----|------|-----|------|----|------|-----|--------------------|
| Nr. 1 Versickerbecken Köln-Ost Westseite | k.A. <sup>1)</sup> | k.A. <sup>1)</sup> | k.A. <sup>1)</sup> | 48 | 46   | -76 | 17   | 55 | 35   | 53  | k.A. <sup>1)</sup> |
| Nr. 2 RBF Köln-Ost Westseite             | 100 <sup>2)</sup>  | 100 <sup>2)</sup>  | 100 <sup>2)</sup>  | 65 | 41   | 88  | 33   | 86 | 66   | 93  | 100 <sup>2)</sup>  |
| Nr. 3 Versickerbecken Köln-Bocklemünd    | 76                 | 54                 | 100 <sup>2)</sup>  | 54 | 57   | -10 | -81  | 76 | 74   | 96  | 100 <sup>2)</sup>  |
| Nr. 4 Versickerbecken Köln-Bocklemünd    | 79                 | 54                 | 100 <sup>2)</sup>  | 68 | 69   | 33  | -12  | 69 | 76   | 96  | 100 <sup>2)</sup>  |
| Nr. 5 RBF Nr. 05/09 Berlin               | 91                 | 100 <sup>2)</sup>  | 100 <sup>2)</sup>  | 80 | 57   | 85  | 15   | 91 | 75   | 96  | 100 <sup>2)</sup>  |
| Nr. 6 DWAM 178                           | 94                 | 60                 | 100 <sup>2)</sup>  | 79 | 63   | 80  | 15   | 87 | 75   | 95  | 95                 |

1) Bestimmungsgrenze bei den Zulaufwerten unterschritten  
 2) Bestimmungsgrenze bei den Ablaufwerten immer unterschritten

Die Zulaufkonzentrationen für die Metalle und den pH-Wert liegen bei den Versuchen in gleicher Größenordnung wie bei den Großversuchen. Die AFS-Belastung ist mit 121 mg/l jedoch deutlich höher und liegt etwa in dem Bereich, wie er von direktem Straßenabfluss bekannt ist.

2.2.1 Auswertung der Bodenfilter-Lysimeter

Der Vergleich der Wirkungsgrade für die Lysimeter 2 (RBF Köln-Ost Westseite) und Lysimeter 5 (RBF Nr. 05/09 Berlin) zeigt nicht für alle Parameter die gleichen Tendenzen wie die Großversuche, was jedoch auf Einzelereignisse zurückgeführt wird. Insgesamt ist davon auszugehen, dass auch bei den Lysimeterversuchen die etwas bessere Reinigungsleistung des RBF Nr. 05/09 Berlin gegenüber dem RBF Köln-Ost Westseite bestätigt wird.

Der Vergleich der Wirkungsgrade für Lysimeter 5 (RBF Nr. 05/09 Berlin) und Lysimeter 6 (Aufbau und Drosselung nach DWA-M 178) zeigt bis auf kleinere Abweichungen fast gleiche Werte. Die Drosselung im Ablauf von Lysimeter 6 von 0,02 l/(s·m<sup>2</sup>) hat bei dieser Untersuchung gegenüber der Durchlässigkeit von Lysimeter 5 von ca. 110<sup>-4</sup>·m/s (=0,1 l/(s·m<sup>2</sup>)) somit keine positive Wirkung. Auch bei anderen Lysimeteruntersuchungen wurden bei Veränderung des Drosselabflusses zwischen 0,02–0,05 l/(s·m<sup>2</sup>) keine Unterschiede in der Reinigungsleistung festgestellt (Kasting, 2003).

2.2.2 Auswertung der Versickerbecken-Lysimeter

Die Lysimeter 3 und 4 (jeweils Versickerbecken Bocklemünd) weisen wegen des versuchsbedingten gestörten Filteraufbaus einen erhöhten Austrag von partikulären Stoffen auf, der jedoch nicht repräsentativ für die großtechnischen Versickerbecken ist. Der Rückhalt an PAK, MKW und gelöstem Cadmium, Kupfer und Zink liegt in dem Bereich, wie er auch von den Bodenfilter-Lysimetern erzielt wird. Für gelöstes Blei wird gegenüber den anderen Lysimetern jedoch ein Austrag festgestellt, der jedoch im Wesentlichen auf untypisch hohe Ablaufkonzentrationen während des Ereignisses vom 27.02.2007 zurückgeführt wird. Insgesamt ist davon auszugehen, dass bei ungestörten Proben für alle Parameter die Reinigungsleistung der Lysimeter aus den Versickerbecken in gleicher Größenordnung wie bei den Lysimetern aus den Bodenfiltern liegen würde.

Weiterhin zeigen die Werte für Lysimeter 1 (Versickerbecken Köln-Ost Westseite), das mit dem Ablaufwasser von Lysimeter 2 (RBF Köln-Ost Westseite) beschickt wurde, dass das nachgeschaltete Lysimeter 1 zu einer messbaren zusätzlichen Reinigung für Kupfer, Zink und MKW führt. Bei AFS, PAK und Cadmium ist aufgrund der Unterschreitung der Bestimmungsgrenze kein Einfluss nachweisbar. Nur für partikulär gebundenes Blei ist bei Lysimeter 1 keine Reinigungsleistung feststellbar, was auf den versuchsbedingten Filteraufbau zurückgeführt wird. Wie die Ablaufkonzentrationen nach Bild 1 exemplarisch zeigen, kommt es bei allen Filteraufbauten in den Lysimetern gegenüber dem Zulauf zu einer deutlichen Reinigungsleistung. Die zusätzliche Reinigung durch ein Versickerbecken (A1 Versickerbecken Köln-Ost Westseite), das einem Bodenfilter nachgeschaltet ist, ist bezogen auf die Zulaufkraft gering.

Aus der zusätzlichen Reinigung durch das Versickerbecken sollte nicht gefolgert werden, dass vor einer Versickerung eine Vorreinigung durch eine Bodenfiltration notwendig ist. Nach den durchgeführten Untersuchungen halten die Ablaufwerte der RBF die Prüfwerte der BBodSchV ein (Tabelle 1). Eine alleinige Behandlung durch ein Versickerbecken, das mit dem gleichen Filteraufbau wie die RBF ausgeführt werden kann, reicht damit aus.

Aus betrieblichen Gründen (Toleranzen beim Einbau, Makroporenfluss) wird für die RBF eine Mindestdicke der Filterschicht von 0,5 m für sinnvoll erachtet, wie sie das DWA-M 178 vorsieht. Die Schichtdicke von 0,2 m des RBF Köln-Ost Westseite, die in Lysimeter 2 eingebaut ist, wird daher als zu gering angesehen.

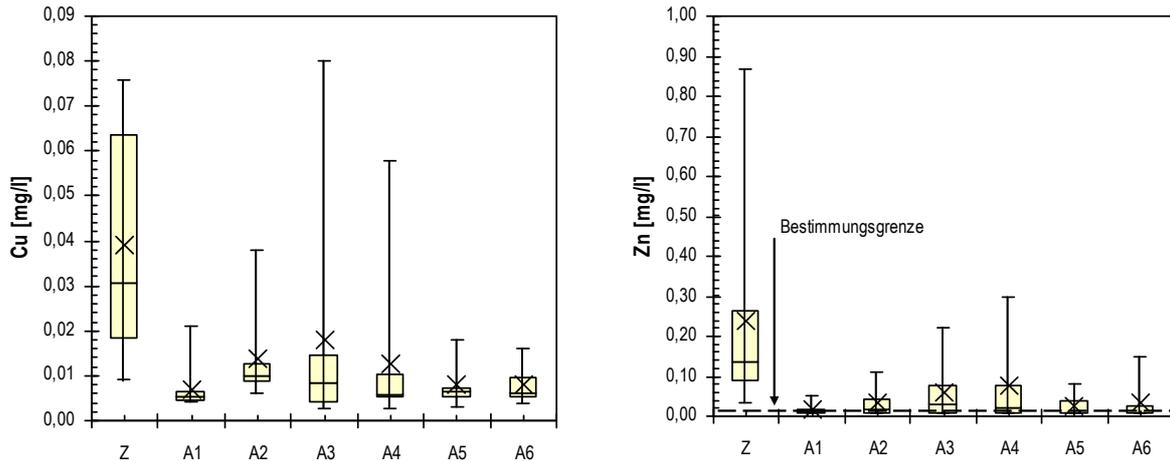


Bild 1: Darstellung der Kupfer- und Zink-Konzentrationen mit Minimum/Maximum, 25 %- u. 75 %-Percentil, Median (—) und frachtgewogenem Mittelwert (X)

## 2.3 Sedimentuntersuchungen

### 2.3.1 Feststoffuntersuchungen an Großanlagen

An den untersuchten Großanlagen wurden Feststoffuntersuchungen sowohl an den Sedimenten aus den Vorstufen als auch an Proben des Filtersubstrates bzw. der Bodenschicht durchgeführt.

Die Korngrößenverteilungen für die Proben des Filtersubstrates zeigen sowohl für die unterschiedlichen Standorte auf der Filterschicht als auch die unterschiedlichen Tiefenlagen praktisch keine Unterschiede, was auf die noch recht kurze Betriebsdauer der Anlagen zurückgeführt wird. Die Sedimente aus den Vorstufen weisen erwartungsgemäß eine deutlich feinere Korngrößenverteilung auf als das Filtersubstrat. Ein nennenswerter Austrag von Feststoffen aus der Vorstufe auf den Bodenfilter ist aufgrund der Korngrößenverteilungen der Filtersubstrate nicht zu erkennen. Ein Eintrag von Feststoffen wurde beim Vergleich der Korngrößenverteilungen nicht festgestellt. Das lässt auf eine geringe Feststoffbelastung der Anlagen schließen, was durch die Zulaufmessungen bestätigt wird. Nur bei den Versickerbecken weist die oberste Bodenschicht geringfügig feinere Korngrößen als die tieferen Schichten auf, was auf eingetragene Feststoffe zurückgeführt werden könnte.

Bei der stofflichen Belastung ist eine deutlich höhere Belastung der obersten Schichten im zulaufnahen Bereich zu erkennen. Die höhere Belastung wird sowohl auf die Sorption von gelösten Stoffen als auch eine Filtration von feinstpartikulären Stoffen an der obersten Filterschicht zurückgeführt, wobei die Filtration bei den Bodenfiltern (noch) keine messbare Auswirkung auf die Korngrößenverteilung gehabt hat.

Einige Proben wurden auf einen erweiterten Parameterumfang untersucht. Es zeigt sich, dass im Sediment der Vorstufen auch die Elemente Antimon, Arsen, Kobalt, Molybdän und Quecksilber nachweisbar sind, bei denen im Zufluss zum Bodenfilter teilweise die Bestimmungsgrenze bei der Untersuchung an der Wasserphase unterschritten war. Aus der Unterschreitung der Bestimmungsgrenze in der Wasserphase ist somit nicht zu schließen, dass die Stoffe im Straßenabfluss nicht vorkommen.

Durch eine Gegenüberstellung der Sedimentkonzentrationen mit den gemessenen Konzentrationen für den Zufluss bei den Bodenfilteranlagen zeigt sich, dass MKW-H53, PAK (EPA) und Eisen vermehrt in der Vorstufe zurückgehalten werden.

Das Ergebnis überrascht zunächst für die MKW, bei denen aufgrund des Dichteunterschieds ein Rückhalt in der Vorstufe durch die Tauchwand und damit durch die Leichtflüssigkeitsabscheidung erfolgt. Es zeigt sich, dass neben der Dichtentrennung die MKW sich auch an Feststoffe anlagern und sedimentieren können, wie es in der Literatur beschrieben ist (z. B. Bernem u. a., 1997). Da bei der Bestimmung MKW der Kettenlängen C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> analysiert werden, handelt es sich um langkettige MKW, die hauptsächlich in Diesel bzw. Motoröl vorkommen.

Für die PAK sind die in der Relation hohen Konzentrationen in der Vorstufe nicht verwunderlich, da die Anlagerung der PAK an partikuläre Stoffe bekannt ist, die in den Vorstufen sedimentieren.

### 2.3.2 Untersuchungen an Kleinlysimetern

An Kleinlysimetern wurde der Einfluss der aus den Vorstufen der Großanlagen entnommenen Sedimente auf die Reinigungsleistung von gelösten Schwermetallen untersucht. Es zeigt sich, dass die Sedimente einen unterschiedlichen Einfluss auf die untersuchten Parameter haben und die Sedimente selbst eine unterschiedliche Belastung aufweisen.

Teilweise wird ein Austrag von gelösten Schwermetallen aus den Sedimenten festgestellt, der jedoch auf den Versuchsaufbau zurückgeführt wird. Vermutlich ist der teilweise festgestellte Austrag auf die Mineralisierung der in den Sedimenten enthaltenen organischen Substanz zurückzuführen, was mit einer einhergehenden nachlassenden Bindung von Schwermetallen verbunden ist. Das Prinzip dieses Prozesses ist in der Literatur z. B. für die Verlagerung von Kupfer an einem Waldboden beschrieben (Prietzl, u. a., 1996). Daher wird vermutet, dass die Kleinlysimeterversuche einen zeitlich gerafften Prozess der Mineralisierung von organischer Substanz aus den bislang dauerhaft überstauten Sedimenten widerspiegeln, der bei der Bodenfiltration so nicht zu erwarten ist.

## 2.4 Hydrologische Nachrechnung der RBF

Mithilfe einer Langzeitsimulation erfolgte eine überschlägliche Ermittlung der maßgebenden Kenngrößen für die untersuchten RBF. Es zeigt sich, dass die mittlere hydraulische Flächenbelastung bei beiden Anlagen (RBF Köln-Ost Westseite: 24,2 m/a und RBF Nr. 05/09 Berlin: 8,7 m/a) deutlich unter dem zulässigen Wert nach DWA-M 178 (DWA, 2005) von 50 m/a liegt. Die untersuchten Großanlagen weisen somit nicht nur eine geringe Feststoffbelastung im Zulauf, sondern auch eine geringe hydraulische Belastung auf. In Bezug auf das spezifische Retentionsvolumen weist der RBF Köln-Ost Westseite mit 77 m<sup>3</sup>/ha A<sub>E,b</sub> eine übliche Größenordnung auf, während der RBF Nr. 05/09 Berlin mit 467 m<sup>3</sup>/ha A<sub>E,b</sub> sehr groß dimensioniert ist.

Es zeigt sich, dass die Bemessungsgänge nach DWA-M 178 (DWA, 2005) und RAS-Ew (FGSV, 2005) deutliche Unterschiede aufweisen. Der Bemessungsgang nach DWA-M 178 (DWA, 2005) lässt eine höhere hydraulische Flächenbelastung in den Fällen zu, wenn eine höhere Entlastungshäufigkeit und damit ein geringerer hydraulischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit vom Gewässer als Zielwert definiert werden kann. Dies kann bei entsprechenden Zielgrößen gegenüber dem Bemessungsgang der RAS-Ew (FGSV, 2005) zu geringeren spezifischen Anlagengrößen führen.

## 2.5 Folgerungen für die Praxis

### 2.5.1 Vorstufengröße

Die hier durchgeführten Untersuchungen an den großtechnischen RBFA zeigen, dass auch nur bei Betrieb von jeweils einer Beckenkammer der Vorstufe eine sehr geringe Feststoffbelastung des Bodenfilters erfolgt. Werden beide Kammern der Vorstufen betrieben, so vergrößert sich das spezifische Dauerstauvolumen sogar noch auf 170 m<sup>3</sup>/ha A<sub>E,b</sub> für die RBFA Köln-Ost Westseite und 150 m<sup>3</sup>/ha A<sub>E,b</sub> für die RBFA Nr. 05/09 Berlin. Damit sind die Vorstufen sowohl nach den Ansätzen des DWA-M 178 (DWA, 2005) als auch nach der RAS-Ew (FGSV; 2005) deutlich überdimensioniert.

Da es sich bei RBFA um eine Verfahrenskombination von zwei verschiedenen Behandlungsanlagen aus Vorstufe bzw. Bodenfilter handelt, die beide zu einen Rückhalt von partikulären Stoffen durch Sedimentation bzw. Filtration beitragen, stellt sich die Frage, wie viel Rückhalt an Feststoffen in der Vorstufe erfolgen soll und wie groß sie dafür bemessen sein muss.

Da die Bodenfilteranlage in der Regel einen deutlich höheren Rückhalt von partikulären Stoffen durch die Filtration erreicht, ist zu überlegen, welche Funktion der Vorstufe bei Bodenfilteranlagen zukommt. Folgende Anforderungen und damit Funktionen werden gesehen:

- Die Vorstufe soll bei Unfällen mit Leichtflüssigkeiten einen Rückhalt durch einen getauchten Ablauf zum Bodenfilter gewährleisten. In Wasserschutzgebieten wird nach RiStWag (FGSV, 2002) eine Mindestgröße des Auffangraums für Leichtflüssigkeiten von 10–30 m<sup>3</sup> gefordert. Das ATV-A 166 sieht als Mindestgröße des Auffangraums für Regenklärbecken 5 m<sup>3</sup> vor.
- Konstruktive Randbedingungen werden das Dauerstauvolumen der Vorstufen bei kleinen Einzugsgebieten bestimmen.
- Es würde ausreichen, wenn die Vorstufen aus betrieblichen Gründen Kies und Sand zurückhalten, da mächtige Ablagerungen auf der Filterfläche unerwünscht sind. Feststoffe dieser Fraktion sind in der Regel gering mit Schadstoffen belastet und können mit

kleinen Vorstufengrößen abgeschieden und – entsprechend geringe Schadstoffbelastung vorausgesetzt – kostengünstig entsorgt werden.

- Durch Filtration können auf der Filteroberfläche feine Feststoffe im Schluff- und Tonbereich zurückgehalten werden. Damit werden gleichzeitig wirkungsvoll partikulär gebundene Schadstoffe zurückgehalten. Es ist durch geeigneten Betrieb sicherzustellen, dass diese feinen Sedimente nicht zur Kolmation führen.
- Ob aus Sicht des Rückhalts von gelösten Stoffen feine Sedimente auf der Filterschicht nützlich oder unerwünscht sind, kann aufgrund der bisherigen Erkenntnisse jedoch nicht abschließend beurteilt werden.
- Erfahrungen zeigen, dass durch häufiges Abtrocknen der Filteroberfläche eine Kolmation vermieden werden kann. Die eingetragenen Sedimente können sich so strukturieren und bleiben durchlässig. Regelmäßiges Abtrocknen der Filteroberfläche kann durch ausreichend große Filterflächen und, falls erforderlich, durch alternierenden Betrieb unterschiedlicher Filterteile erreicht werden. Durch geeignete Maßnahmen ist einem Fremdwasserzufluss zum RBF daher zu begegnen.
- Ein schlagartiger Austrag von bereits abgesetzten Sedimenten aus den Vorstufen auf die Bodenfilterfläche bei Starkregenereignissen ist zum Schutz vor Kolmation zu vermeiden. Hier sollten die Hinweise zur Zulaufgestaltung nach (Grotehusmann u. a., 2006) berücksichtigt werden. Durch neuere Erkenntnisse hat sich dabei gezeigt, dass halbgetauchte Zuläufe (im Gegensatz zu vollständig getauchten Zuläufen) aufgrund des Eintritts von Schwimmstoffen in die Becken sinnvoll sind.
- Geeignete Räumintervalle sollen berücksichtigt werden.

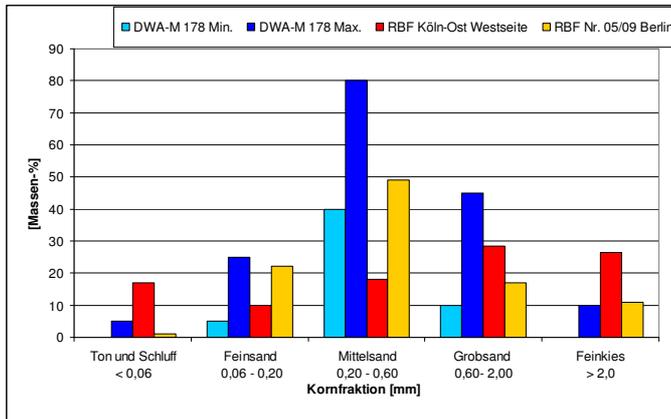
Die Überlegungen zeigen, dass ein hohes Optimierungspotenzial in der Gestaltung der Vorstufen gesehen wird. Nach jetzigem Kenntnisstand sind nach RiStWag (FGSV, 2002) bemessene Vorstufen vor Bodenfiltern zu groß dimensioniert, wenn sie ohne Fließzeitabminderung berechnet wurden. Auch bei den nach DWA-M 178 (DWA, 2005) bzw. RAS-Ew (FGSV, 2005) bemessenen Vorstufen wird Optimierungspotenzial gesehen. Hier ist weiterer Forschungsbedarf gegeben.

### 2.5.2 Filteraufbau

Die Filteraufbauten in den untersuchten Bodenfiltern weisen deutliche Unterschiede in Bezug auf die Korngrößenverteilung, Filtersubstrat, Filtermächtigkeit, Carbonatgehalt und Bewuchs auf. Die Reinigungsleistung des RBF Nr. 05/09 Berlin ist etwas besser als die des RBF Köln-Ost Westseite.

Die Ergebnisse der Lysimeterversuche zeigen, dass die **Filterschichtdicke** von 90 cm des Lysimeter 5 (RBF Nr. 05/09 Berlin) gegenüber dem Lysimeter 6 (Aufbau und Drosselung nach DWA-M 178) mit 55 cm keinen positiven Einfluss auf die Reinigungsleistung hat. Das deutet darauf hin, dass die nach RAS-Ew (FGSV, 2005) geforderte Filterschichtdicke von 1 m nicht erforderlich ist. Nach DWA-M 178 (DWA, 2005) wird als Mindestwert für die Filterschichtdicke 0,5 m angegeben. Der RBF Köln-Ost Westseite weist mit 0,2 m einen noch deutlich geringeren Wert auf. Möglicherweise ist die Filterschichtdicke eine Ursache für die geringere Reinigungsleistung. Da die Sedimente im Zulauf zum Bodenfilter sehr fein sind, ist zu vermuten, dass der Rückhalt dieser Partikel in den Filteraufbauten auch über eine Raumfiltration erfolgt, bei der die Mächtigkeit

der Filterschicht einen Einfluss auf die Reinigungsleistung hat. Weiter ist bei größeren Schichtdicken die Gefahr des Makroporenflusses geringer. Sollte eine Filterschichtdicke von weniger als 0,5 m angestrebt werden, sollten daher zunächst systematische Untersuchungen erfolgen, ob die Filtration bei geringeren Schichtdicken ausreichend ist. Bei der Wahl der Filterschichtdicke ist zu berücksichtigen, dass beim Bau lokale Abweichungen von dem Sollwert vorkommen. Die vorgegebene Filterschichtdicke sollte daher mindestens so groß sein, dass solche Abweichungen sich nicht negativ auf die Filterleistung der Anlage auswirken.



**Bild 2: Empfohlener Bereich der Kornfraktion für das Filtersubstrat nach DWA-M 178 im Vergleich zu den Filtersubstraten der Großanlagen (Hinweis: Filteraufbau nach RAS-Ew: ca. 1 m Mittelsand zzgl. 20 cm Oberbodenandeckung)**

Neben der Filterschichtdicke weisen die beiden untersuchten RBF deutliche Unterschiede in der **Korngrößenverteilung** auf. Bild 2 zeigt die starken Unterschiede in der Kornzusammensetzung. Deutlich erkennbar ist der hohe Ton-/Schluff- und Feinkiesgehalt sowie der geringe Mittelsandgehalt des RBF Köln-Ost Westseite gegenüber den Empfehlungen des DWA-M 178 (DWA, 2005). Dieser Ton- und Schluffanteil besteht jedoch vorwiegend aus dem sehr feinen Lavasand, der andere Eigenschaften als Tonminerale hat. Ein Feinpartikelaustrag unter Chloridbelastung oder eine verringerte Durchlässigkeit wurde nicht beobachtet. Das Filtersubstrat des RBF Nr. 05/09 Berlin entspricht hingegen den Empfehlungen des DWA-M 178 (DWA, 2005). Die Empfehlungen der RAS-Ew (FGSV, 2005), die für das Filtermaterial einen Mittelsand vorsieht, werden von keiner der beiden Anlagen eingehalten. Eine strenge Einhaltung der nach DWA-M 178 (DWA, 2005) bzw. RAS-Ew (FGSV, 2005) geforderten Korngrößenverteilungen erscheint aufgrund der abweichenden Empfehlungen und aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen nicht erforderlich. Wesentlich erscheint es aber, dass das Filtermaterial strömungsstabil aufgebaut ist, wie es das DWA-M 178 (DWA, 2005) fordert. Weiterhin ist es in der Regel erforderlich, den Ton- und Schluffanteil zu begrenzen, um eine ausreichende Durchlässigkeit des Filters zu gewährleisten.

Auch im **Carbonatgehalt** weisen die beiden untersuchten RBF deutliche Unterschiede auf. Gegenüber dem RBF Nr. 05/09 Berlin erfolgte beim RBF Köln-Ost Westseite keine gezielte Carbonatzugabe zum Filtersubstrat, sodass das Substrat einen geringen Carbonatgehalt von < 0,1 % aufweist. Eine Versauerung des Filtersubstrates mit einer Absenkung der pH-Werte im Ablauf und einer damit verbundenen Mobilisierung von sorbierten Schwermetallen wurde bei den Untersuchungen nicht festgestellt. Somit liegen für die RBF Köln-Ost Westseite keine Hinweise vor, dass eine Carbonatzugabe zum Filter-

substrat erforderlich wäre, wie sie das DWA-M 178 empfiehlt. Unter anderen Randbedingungen kann jedoch eine Carbonatzugabe erforderlich sein. Weist der Zulauf zur Bodenfilteranlage einen hohen organischen Anteil bzw. geringe pH-Werte auf oder ist durch einen verstärkten Eintrag von  $\text{NH}_4\text{-N}$  mit einer pH-Wert-Senkung zu rechnen, so sollte auf ein carbonathaltiges Filtersubstrat nicht verzichtet werden.

Da bei den Lysimeterversuchen ein positiver Einfluss der **Drosselung** (nach DWA-M 178:  $0,02 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ) nicht festgestellt werden konnte, wird ein Betrieb der Bodenfilter mit einem höheren Drosselabfluss für möglich gehalten. Bei sonst gleichen Anlagengrößen kann damit der hydraulische Wirkungsgrad der Anlagen und damit die behandelte Wassermenge erhöht werden. Allerdings liegen bislang keine Erkenntnisse vor, wie der Einfluss der Drosselung bei deutlich höheren Zulaufwassermengen zu beurteilen ist.

### 2.5.3 Langzeitverhalten

Bei der Interpretation der Messergebnisse an den RBF stellt sich die Frage, wie das Langzeitverhalten der Anlagen zu bewerten ist. Zur Bewertung des Langzeitverhaltens wurden in der Vergangenheit Stofftransportmodelle eingesetzt (z. B. Kasting, 2003). Dabei wurde aufgrund von Adsorptionsisothermen für die eingesetzten Filtersubstrate der Rückhalt gegenüber gelösten Schwermetallen über die Zeit simuliert. Jedoch können bei der Simulation die zeitlich veränderlichen Eigenschaften des Filteraufbaus (z. B. Huminstoffbildung, Eintrag von Straßensedimenten) und deren Einfluss auf das Sorptionsverhalten nicht berücksichtigt werden, sodass die Modellierungsergebnisse derzeit noch als sehr unsicher und damit wenig aussagekräftig zu bezeichnen sind.

In der Literatur wird der positive Effekt der eingetragenen Sedimente auf die Reinigungsleistung der RBF beschrieben (Kasting, u. a., 2007; LfU, 2007; LfU, 2008). Durch die eingetragenen Sedimente werden auch Fe-, Al- und Mn-Oxide mit transportiert, welche die Schwermetallbindefähigkeit der Sedimente erhöhen können. Gleichzeitig ist mit dem Eintrag der Sedimente auch eine Erhöhung des Ton- und Schluffgehaltes und damit eine erhöhte Filterwirkung gegenüber Feinpartikeln zu verzeichnen.

Die in diesem Vorhaben durchgeführten Sedimentuntersuchungen an Kleinlysimetern zeigen nur teilweise einen positiven Effekt bezogen auf das Rückhaltevermögen gelöster Schwermetalle, wobei dies vermutlich auf den Versuchsaufbau zurückzuführen ist.

Die in diesem Vorhaben durchgeführten Sedimentuntersuchungen an Kleinlysimetern zeigen nur teilweise einen positiven Effekt bezogen auf das Stoffrückhaltevermögen. Es wurde aber auch ein Austrag von Schwermetallen aus dem Sediment beobachtet. Ein versuchsbedingter Einfluss kann hier nicht ausgeschlossen werden, da bei den großtechnischen Anlagen ein Schwermetallaustrag nicht festgestellt werden konnte.

Insgesamt wird deutlich, dass der Eintrag von Sedimenten zu einer Veränderung der Filtereigenschaften führt. Die Filtereigenschaften gegenüber partikulären Stoffen werden sich dadurch verbessern, wobei durch geeignete Maßnahmen sichergestellt werden muss, dass die Sedimente nicht zu einer Kolmation des Filters führen. Wesentliche Bedeutung kommt dabei dem Bewuchs und der Abtrocknungsmöglichkeit des Filters zu, sodass eine Strukturierung der eingetragenen Feststoffe/Sedimente erfolgen kann (MUNLV NRW, 2004). Voraussetzung dafür ist aber, dass eine Abtrocknung der Bodenfilteroberfläche während der Beschickungspausen möglich ist, sodass gegebenenfalls dünne Sedimentschichten, die sich an

der Oberfläche gebildet haben, aufbrechen können (MUNLV NRW, 2003). Fremdwasserzuflüsse zu Bodenfilteranlagen sind daher zu vermeiden oder geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Um den Einfluss der eingetragenen Sedimente auf den Rückhalt von gelösten Inhaltsstoffen umfassender beurteilen zu können, liegen derzeit noch nicht genügend Erkenntnisse vor.

### 2.5.4 RBFA mit nachgeschaltetem Versickerbecken

Bei der RBFA Köln-Ost Westseite erfolgt die Regenwasserbehandlung auf Anforderung der Genehmigungsbehörde nicht nur durch die Vorstufe und den Bodenfilter der RBFA, sondern zusätzlich noch durch ein nachgeschaltetes Versickerbecken. Die durchgeführten Lysimeterversuche zeigen, dass bei diesem zusätzlichen Behandlungsschritt bei einigen Parametern eine weitere Reinigung des Regenwassers erfolgt. Das wird jedoch in erster Linie auf die dann längere Sickerstrecke zurückgeführt. Soll der Niederschlagsabfluss ohnehin versickert werden, ist ein gezielter Aufbau der Sickerstrecke mit geeignetem Substrat aus Effizienzgründen einer Vorbehandlung in einer Bodenfilteranlage vorzuziehen.

### 2.5.5 Forschungsbedarf

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass insbesondere Optimierungsbedarf bei der Abstimmung der Anlagengrößen von Vorstufe und Bodenfilterbecken gesehen wird, um Überdimensionierungen zu vermeiden und die Kosten zu minimieren.

Um die Kenntnisse zum Einfluss der Straßensedimente auf den Rückhalt von gelösten Stoffen zu vergrößern, sollten weitere Untersuchungen an Kleinlysimetern mit einer veränderten Form der Probenahme für die Sedimente durchgeführt werden.

## 3 Literatur

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2007): Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen, Abschlussbericht Entwicklungsvorhaben Oktober 1996 – Oktober 2005, Augsburg.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2008): Bodenkundliche Untersuchungen im Rahmen des Entwicklungsvorhabens "Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen", Augsburg, kostenloser Download unter [www.lfu-bayern.de](http://www.lfu-bayern.de).
- Bernem, C. van; Lübbe, T. (1997): Öl im Meer – Katastrophen und langfristige Belastungen, Darmstadt.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2005): Merkblatt DWA-M 178, Empfehlungen für Planung, Konstruktion und Betrieb von Retentionsbodenfilteranlagen zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Hennef, Juni 2005.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2002): Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten (RiStWag), Ausgabe 2002, Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung (RAS-Ew), Ausgabe 2005, Köln.
- Grotehusmann, D.; Kasting, U.; Hunze, M. (2006): Optimierung von Absetzbecken, (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; 944).

Kasting, U. (2003): Reinigungsleistung von zentralen Anlagen zur Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen, (Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kaiserslautern ; 17), Dissertation.

Kasting, U.; Grotehusmann, D. (2007): Bodenfilteranlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen – Halbtechnische Bodenfilterversuche, Teil 2: Versuche zur Salzbelastbarkeit, in: Korrespondenz Abwasser, Abfall, 54 (2007), Heft 8, S. 789–797.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) (2003): Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb, Düsseldorf.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) (2004): Retentionsbodenfilter in Nordrhein-Westfalen – Dokumentation zum Stand der Technik, Düsseldorf, November 2004.

Prietzl, J.; Ghidoni, M.; Kolb, E.; Rehfuess, K.-E. (1996): Nachhaltigkeit der Wirkung von Meliorationsmaßnahmen auf den Säurestatus devastierter Waldböden: Ergebnisse eines Langzeitversuchs in der Oberpfalz, (Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft ; 79), S. 145–148.