

## **Dekontaminierende Wirkung belebter Bodenzonen bei verkehrsbedingten Beeinträchtigungen der Bodenqualität**

FA 5.107

Forschungsstelle: Universität GH Essen, FB Siedlungswasserwirtschaft (Prof. Dr.-Ing. J. Geiger)  
Bearbeiter: Dierkes, C.  
Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn  
Abschluss: April 2000

### **1. Aufgabenstellung**

Der Regenabfluss von Autobahnen und Bundesstraßen wird vorzugsweise flächenhaft über Böschungen oder Rasenmulden versickert. Die wassergefährdenden Inhaltsstoffe von Straßenabflüssen, insbesondere von Autobahnen und Bundesstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen, bedeuten ein mögliches Risiko für Boden und Grundwasser.

Ziel der Untersuchungen war eine Bewertung der Reinigungsleistung der belebten Bodenzone für die Stoffe, die mit den Straßenabflüssen flächenhaft versickert werden. Der Transport und der Rückhalt der Stoffe wurden orts- und zeitabhängig erfasst und analysiert, um den Einfluss des natürlichen Niederschlages im Zusammenwirken mit verkehrsbedingten Stoffen auf die Böden zu quantifizieren. Zur Ermittlung der Stoffkonzentrationen im Sickerwasser wurden Lysimeteruntersuchungen durchgeführt, die im Zusammenwirken mit Laborversuchen auf Stoffrückhalt und Remobilisierungsvorgänge im Boden schließen ließen.

### **2. Untersuchungsmethodik**

Kleinlysimeter mit ungestörten Bodenproben ermöglichten eine direkte Beprobung des Sickerwassers nach der Bodenpassage. An vier Autobahnen und einer Bundesstraße mit hohem Verkehrsaufkommen wurden die Lysimeter ebenerdig in das begrünte Bankett eingebaut. Bei den verwendeten Lysimetern handelt es sich um Edelstahlzylinder mit einem Durchmesser von 400 mm und einer Höhe von 350 mm. Die Stahlzylinder wurden als Stechzylinder in den Untergrund eingedrückt. Um den Einfluss von Randläufigkeiten der Sickerwässer abzuschätzen, wurden die Abflüsse aus dem zentralen Bereich der Lysimeter und aus dem Randbereich getrennt gefasst. Alle Abflüsse der Lysimeter wurden in Probenbehälter geleitet und dort gesammelt. Der Oberflächenabfluss wurde an allen Standorten ebenfalls beprobt.

Bodenproben wurden in den Tiefen von 0 cm bis 5 cm, 5 cm bis 10 cm, und 10 cm bis 30 cm entnommen und im Labor auf die Bodenkennwerte Kornverteilung, pH-Wert, Kalkgehalt,  $k_f$ -Wert und Glühverlust sowie die Gehalte der Schwermetalle Blei, Kupfer, Zink und Cadmium und die Gehalte der Kohlenwasserstoffe untersucht.

Jeweils zwei Lysimeter jedes Standortes wurden im Labor sechs Monate mit dem Regenabfluss einer Autobahn aufkonzentriert, um den Schwermetallrückhalt der Böden zeitgerafft zu bestimmen. Die Lysimeter wurden täglich mit dem Vorlagewasser beregnet. Einmal pro Woche wurden die zentralen Sickerwässer und die Wässer in den Vorlagebehältern einer Analytik auf die physiko-chemischen Parameter und die o.g. Schwermetalle unterzogen. Nach sechs Monaten Beregnungszeit, die etwa 10 Jahren Befrachtung in der Realität entsprachen, wurde jeweils

ein Lysimeter der Standorte in die Lysimeteranlagen an den Autobahnen und der Bundesstraße eingebaut. Ein weiteres Lysimeter jedes Standortes wurde weitere sechs Monate beregnet. Zum Schluss wurden die Laborlysimeter sechs Wochen mit streusalzhaltigem Wasser beaufschlagt, um die diesbezügliche Mobilität der Schwermetalle zu untersuchen.

### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Aufbau und Stoffgehalte der Bankettböden

Die Bankette im Bereich unmittelbar neben der Straße bestehen aus einer 10 cm bis 15 cm mächtigen Bodenaufschüttung, unter der Schotter aus dem Tragschichtbereich lagert. Die pH-Werte der Bankettböden bewegen sich im Bereich von 7,1 bis 7,3. Der Glühverlust liegt zwischen 7,2 % und 10,2 %. Die Oberböden sind stark humos bis humusreich und mäßig kalkhaltig ausgeprägt. Die  $k_f$ -Werte der Böden lagen zwischen  $9 \cdot 10^{-5}$  m/s und  $2 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Die Gesamtgehalte der Schwermetalle wurden mit Hilfe des Königswasseraufschlusses ermittelt. Die Zinkgehalte der obersten fünf Zentimeter der Böden liegen zwischen 174 mg/kg und 1580 mg/kg im Bereich einer verzinkten Schutzplanke. Kupfer wurde mit Werten zwischen 25 mg/kg und 412 mg/kg, Blei mit Konzentrationen zwischen 71 mg/kg und 290 mg/kg und Cadmium mit Werten zwischen 2,2 mg/kg und 5,6 mg/kg gefunden. Der am Stärksten mit Schwermetallen belastete Bereich erstreckt sich bis zu einer Entfernung von 2 m neben dem Fahrbahnbelag. Das ist auf die Trockendeposition von metallhaltigen Partikeln und auf die hohen Gehalte im Spritzwasser und im Fahrbahnabfluss zurückzuführen, die bei geringen Niederschlagsereignissen in diesem Bereich nahezu vollständig zur Versickerung gelangen.

Die Beurteilung der Konzentrationen erfolgt auf Grundlage der Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Die nutzungsbezogenen Prüfwerte für den Pfad Boden-Mensch gelten für die Autobahnrandböden nicht. Ein Vergleich erfolgt trotzdem mit den Prüfwerten für Gewerbe- und Industrieböden, um eine Einordnung der Belastung geben zu können. Die Prüfwerte werden weder für Blei noch für Cadmium überschritten. Ein Vergleich mit den Maßnahmewerten für Grünland der BBodSchV für den Pfad Boden-Nutzpflanze zeigt keine Überschreitungen bei allen vier gemessenen Schwermetallen.

Zur Tiefe hin nehmen die Schwermetallgehalte an allen Standorten deutlich ab. Ein Vergleich mit den Vorsorgewerten für Sandböden der BBodSchV zeigt keine Überschreitungen in einer Tiefe unterhalb von 10 cm. Hier scheint der Boden in seinen natürlichen Funktionen durch Schwermetalle nicht gestört zu sein.

Bei den polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) wurden die von der Environmental Protection Agency (EPA) angegebenen 16 Verbindungen bestimmt. Die angetroffenen Konzentrationen lagen zwischen  $<2,1$  mg/kg und 11,3 mg/kg mit einer Ausnahme an einem ehemaligen Kokereistandort. Der Vorsorgewert der BBodSchV von 10 mg/kg wird nur an diesem Standort geringfügig überschritten. Die Konzentrationen der Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) lagen zwischen 20 mg/kg und 510 mg/kg. Der Rückgang der MKW-Konzentrationen mit der Entfernung zur Fahrbahn ist ausgeprägter als der Rückgang der PAK oder der Schwermetalle. Die Tiefenprofile zeigen, dass auch die Abnahme der Konzentrationen mit der Tiefe deutlicher verläuft als bei den anderen Stoffen. Hier liegen die Gründe vor allem in der relativ guten mikrobiellen Abbaubarkeit der meisten MKW. Eine Gefährdung des Bodens von den organischen Schadstoffen liegt an den untersuchten Standorten nicht vor.

#### 3.2 Inhaltsstoffe im Regenabfluss und Sickerwasser

Die Konzentrationen an Schwermetallen und Mineralölkohlenwasserstoffen im Straßenabfluss wurden von Juli 1997 bis September 1999 bestimmt. Insgesamt 50 Probenahmen wurden in diesem Zeitraum durchgeführt.

Die Kupferkonzentrationen liegen mit Mittelwerten von 110  $\mu\text{g/l}$  und 205  $\mu\text{g/l}$  im Bereich der aus der Literatur bekannten Spannbreiten. Bei den Bleikonzentrationen lässt sich der Einfluss des bleiarmer Benzins erkennen. Gegenüber Mittelwerten von 90  $\mu\text{g/l}$  bis 290  $\mu\text{g/l}$  aus Literaturwerten konnten nur Mittelwerte von 14  $\mu\text{g/l}$  bis 59  $\mu\text{g/l}$  gemessen werden. Cadmium bewegt sich an allen Messstellen im unteren Bereich der Literaturwerte zwischen 1,2  $\mu\text{g/l}$  und 2,2  $\mu\text{g/l}$ . Die Zinkkonzentrationen im Fahrbahnabfluss sind nicht plausibel und auf Einträge durch das Probenahmegerät zurückzuführen. Eine Beeinflussung der anderen Parameter durch das Probenahmegerät konnte in Tests nicht festgestellt werden. In Abständen von ungefähr drei Monaten wurden die Fahrbahnabflüsse auf die Gehalte an Mineralölkohlenwasserstoffen analysiert. Die Mittelwerte der Konzentrationen liegen bei 0,1 mg/l bis 0,2 mg/l. Die höchste Konzentration wurde mit 0,3 mg/l an der A3 und der A42 gemessen.

Von jedem der Autobahn- und Schnellstraßenstandorte wurden zwei Lysimeter im Labor mit dem Regenabfluss einer Autobahn beregnet. Die Sickerwasser- und Vorlagewasserinhaltsstoffe wurden wöchentlich bestimmt. Das Wasser für die Beschickung der Lysimeter wurde aus dem Absetzbecken Haltern der A43, Fahrtrichtung Münster, entnommen und in 3 Edelstahlbehältern im Labor aufbewahrt. Zink trat bei der Vorlage mit einer mittleren Konzentration von 1,3 mg/l auf. Blei lag mit einer Konzentration von ungefähr 17  $\mu\text{g/l}$ , Kupfer mit 81  $\mu\text{g/l}$ , Cadmium mit 1,4  $\mu\text{g/l}$  in der Vorlage vor.

Die pH-Werte der Sickerwässer lagen im Bereich von 7,4 bis 7,7. Die höchsten Bleikonzentrationen im Sickerwasser überschritten mit maximal 11  $\mu\text{g/l}$  und 8  $\mu\text{g/l}$  bei drei Lysimetern die Sickerwasserprüfwerte der BBodSchV nicht. Die Sickerwassergehalte aller anderen Lysimeter lagen unter 4  $\mu\text{g/l}$ . Im Bereich der Sickerwasserprüfwerte befanden sich die Kupferkonzentrationen einiger Lysimeterabflüsse. Hier erreichten die Proben von zwei Standorten den Prüfwert von 50  $\mu\text{g/l}$  im Sickerwasser. Da der Sickerwasserprüfwert aber erst an der Grenze zum Grundwasser gilt, geht auch vom Kupfer keine Gefahr aus. Zink wies die höchsten Konzentrationen mit 274  $\mu\text{g/l}$  auf. Der Prüfwert der Bodenschutzverordnung wurde nicht erreicht, obwohl Zink den mengenmäßig höchsten Eintrag in die Bankette hat. Auch die Konzentrationen von Cadmium im Sickerwasser überschritten den Grenzwert der BBodSchV nicht. In allen Lysimeterabläufen lagen die Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,5  $\mu\text{g/l}$  Cd.

Auch nach weiteren sechs Monaten Beregnung konnten bei den Laborlysimetern keine Erhöhungen der Schwermetallkonzentrationen im Sickerwasser ermittelt werden, was darauf schließen lässt, dass die Rückhaltekapazitäten der Böden nicht erschöpft wurden.

Am Ende der Versuche wurde jeweils ein Lysimeter jedes Standortes im Labor über einen Zeitraum von sechs Wochen täglich mit einem streusalzbelasteten Regenabfluss beregnet. Dabei wurde eine Menge an Streusalz aufgebracht, die etwa 500 g/m<sup>2</sup> Straßenfläche einer dreispurigen Autobahn entspricht. Durch die Salzeinträge wurden Zink und Cadmium im Boden mobilisiert und die Konzentrationen im Sickerwasser stiegen deutlich an, die Prüfwerte für Sickerwasser der BBodSchV wurden aber nicht erreicht.

Die Sickerwässer der Lysimeter im Bankett der Autobahnen und der Bundesstraße wurden im Abstand von 14 Tagen auf ihre Schwermetallkonzentrationen untersucht. Bei den Feldversuchen ist zwischen den Lysimetern, die direkt bei Beginn der Versuche eingebaut wurden, und den Lysimetern, die erst im Labor sechs Monate mit Autobahnabflüssen intensiv vorbelastet wurden, zu unterscheiden. Im Nachfolgenden werden sie aber nicht

gesondert betrachtet, da sie nahezu identische Konzentrationen der Inhaltsstoffe im Sickerwasser aufwiesen.

Die pH-Werte der Sickerwässer lagen im Mittel zwischen 7,4 und 8,0. Die Mittelwerte der Cadmiumkonzentrationen schwankten zwischen 0,5 µg/l und 0,9 µg/l. Die meisten Werte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l. Die höchste gemessene Konzentration betrug 3,5 µg/l und liegt unterhalb des Prüfwertes der BBodSchV von 5 µg/l. Die Mittelwerte der Kupferkonzentrationen lagen zwischen 26 µg/l und 64 µg/l. Der Prüfwert der Bodenschutzverordnung für Sickerwässer wird im Mittel an einem Standort und bei den Maximalwerten bei allen Standorten überschritten. Trotzdem lässt sich für das Kupfer keine unmittelbare Gefahr für das Grundwasser erkennen, da die folgende Bodenpassage für eine ausreichende Reduktion sorgt und die Prüfwerte erst an der Grenze zum Grundwasser gelten. Die Mittelwerte der Bleikonzentrationen befanden sich zwischen 4 µg/l und 5 µg/l. Der Sickerwasserprüfwert von 25 µg/l wurde selbst bei den Höchstkonzentrationen nicht überschritten. Die Mittelwerte der Zinkkonzentrationen lagen zwischen 160 µg/l und 490 µg/l, also unterhalb des Prüfwertes der BBodSchV von 500 µg/l.

Die Konzentrationen der Mineralöle überschritten zum Teil den Sickerwasserprüfwert der BBodSchV. Da dies aber unter anderem auf die Messmethode zurückzuführen ist, da im Sickerwasser mit der DEV-H18 Methode neben den Mineralölkohlenwasserstoffen auch Huminstoffe und Membranlipide erfasst werden, kann keine Bewertung der Konzentrationen erfolgen.

Die Mittelwerte aller bestimmten Spurenmetallkonzentrationen in den Sickerwässern liegen unterhalb der Prüfwerte der Bodenschutzverordnung für den Pfad Boden-Grundwasser. Einzige Ausnahme bildet das Kupfer bei einem Lysimeter. Bei allen anderen Lysimetern überschreiten lediglich einzelne Höchstwerte der untersuchten Schwermetalle die Prüfwerte. Durch die weitere Bodenpassage zum Grundwasser stellen auch diese an der Grenze zur gesättigten Zone kein Gefahrenpotenzial mehr dar.

## 4. Folgerungen für die Praxis

### 4.1 Empfehlungen zur Versickerung über begrünte Bankette

Die belebte Bodenzone ist die beste Möglichkeit, Abflüsse mit höheren Stoffkonzentrationen zu versickern. Um eine langfristige Filterwirkung des Bodens sicherzustellen, müssen bei

begrünten Banketten hydraulische Anforderungen an den Boden und Anforderungen an einen ausreichenden Rückhalt von schädlichen Stoffen, die sich auf Korngrößenverteilung, pH-Wert, organischen Anteil, Carbonatgehalt und Vorbelastung beziehen, gestellt werden.

Die Korngrößenverteilung ist durch die hydraulischen Eigenschaften des Bodens in gewissen Grenzen vorgegeben. Der Sandanteil der Böden sollte in jedem Fall über 50 % liegen. Der Boden muss mindestens 5 % Ton- und Schluffanteile haben, um eine möglichst große Adsorptionsfläche zur Verfügung zu stellen. Bindige Böden mit zu hohem Feinkornanteil können durch die Zugabe von Sand hinsichtlich ihrer hydraulischen Eigenschaften verbessert werden. Der pH-Wert der verwendeten Böden muss im neutralen bis leicht basischen Bereich liegen, da sonst Schwermetalle ohne ausreichenden Rückhalt passieren können. Bei empfindlichen Untergrundverhältnissen sollten bei höheren Zink- und Cadmumeinträgen pH-Werte von 6 nicht unterschritten werden.

Ausschlaggebend für eine Eignung des Bodens ist nicht der pH-Wert alleine, sondern vor allem die Säurepufferkapazität. Diese bestimmt bei Einträgen aus dem Regenwasser, wie schnell es zu einer pH-Wert-Absenkung kommt. Die Säurepufferkapazität sollte mindestens 50 mmol H<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> pH<sup>-1</sup> betragen. Sollte sie unter diesem Wert liegen, so ist durch geeignete Maßnahmen wie einer Kalkung des Bodens eine pH-Wert-Absenkung zu vermeiden. Ein hoher organischer Anteil des Bodens wirkt sich vor allem positiv auf den Rückhalt von organischen Stoffen aus.

### 4.2 Schlussfolgerungen

Die Versickerung der Regenabflüsse von Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen über die belebte Bodenzone bedeutet für die Schutzgüter Boden und Grundwasser keine Gefährdung, solange die Rückhaltekapazitäten der Bankette ausreichend hoch sind. An vier Autobahnen und einer Bundesstraße mit überdurchschnittlich hohem Verkehrsaufkommen konnten im Boden und im Sickerwasser keine für das Grundwasser gefährlichen Konzentrationen an Schwermetallen und Kohlenwasserstoffen gemessen werden. Ein ausreichender Schutz für das Grundwasser ist gewährleistet, wenn Anforderungen bezüglich Korngrößenverteilung, pH-Wert, Kalkgehalt und organischer Anteil an das Bankettmaterial eingehalten werden. □