

Straßenseitige Belastungen des Grundwassers

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 60

bast

Straßenseitige Belastungen des Grundwassers

von

Udo Tegethof

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 60

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 95 661:
Straßenseitige Belastungen des Grundwassers

Herausgeber:

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon (0 22 04) 43 - 0
Telefax (0 22 04) 43 - 674

Redaktion:

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax (04 71) 9 45 44 77

ISSN 0943-9331
ISBN 3-89701-265-0

Bergisch Gladbach, November 1998

Kurzfassung · Abstract

Straßenseitige Belastungen des Grundwassers

Der Schutz des Grundwassers spielt bei Umweltverträglichkeitsprüfungen im Zusammenhang mit Straßenbauvorhaben eine immer größere Rolle. Das Bundes-Bodenschutzgesetz gebietet einen flächendeckenden Schutz vor Fremdstoffen, die aus verunreinigten oberen Bodenschichten in das Grundwasser einsickern können.

Über die möglichen und in einigen Fällen auch über tatsächliche Auswirkungen des Straßenablaufwassers auf das Grundwasser sind in den letzten Jahren detaillierte Forschungsvorhaben veröffentlicht worden.

Im vorliegenden Bericht ist die Aufbereitung der bekannteren Arbeiten zum Thema bewußt knapp gehalten und konzentriert sich auf diejenigen Aspekte der vorgestellten Werke, die über zu erwartende Sicker- und Grundwasserbelastungen, bzw. über Schutzfunktionen des Bodens, besonders zielführend berichten. Schließlich werden die Arbeiten im Zusammenhang betrachtet und einem über die Einzelbeiträge hinausgehendem Resümee unterzogen.

Obwohl die Konzentrationen an straßenspezifischen Substanzen im Straßenoberflächenwasser oft hoch sind, finden sich nach der Passage des Bankettbodens nur geringe Spuren im Sickerwasser. Auch in Sickerschächten, Sickerbecken und ihren zuleitenden Gräben wirken die Sedimente als effektiver Filter und lassen Schadstoffe kaum in tiefere Bodenschichten oder das Grundwasser eindringen.

Die Bodenschutz-Verordnung bestimmt als Beurteilungszone für das Sickerwasser den Übergang von der wasserungesättigten zur wassergesättigten Bodenschicht. Aus den Ergebnissen läßt sich abschätzen, daß bei ton- und humusreichen neutralen bis basischen Böden keine Gehalte zu erwarten sind, die über den durch die Verordnung vorgegebenen Prüfwerten liegen. Lediglich für bindungsarme, saure Böden bestehen noch Unsicherheiten und Forschungsbedarf.

Road-induced pollution of ground water

The protection of ground water is playing an ever greater role in environmental compatibility tests and investigation carried out in connection with road-construction projects. The Federal Soil Conservation Act orders comprehensive protection against foreign substances which may seep into the ground water from contaminated upper soil layers.

In the last few years, detailed research projects have been published on the possible and, in some cases, actual effects on ground water produced by run-off water from roads.

The present report deliberately keeps the processing of the more well-known papers on the subject concise and concentrates on the parts of the works presented which report in a particularly direct manner on the pollution of meteoric water and ground water which is to be expected or on protective functions of the soil. Finally, the papers are considered together and a résumé extending beyond the individual contributions is made.

Although the concentrations of road-specific substances in the road-surface water are often high, only slight traces are found in the meteoric water when it has passed through the verge soil. The sediments also act as effective filters in soakage pits, „Sickerbecken“ (detritus tanks in the form of a shallow pit) and drain trenches feeding them, and allow hardly any harmful substances to penetrate into deeper soil layers or into ground water.

The Soil Conservation Ordinance stipulates the point of transition from the water-unsaturated soil layer to the water-saturated soil layer as the assessment zone for meteoric water. It may be estimated from the results that no concentrations above the test values specified by the ordinance are to be expected in the case of neutral to alkaline soils rich in clay and humus. Uncertainties and a need for more research exist only for acidic soils with poor binding qualities.

Inhalt

1	Einleitung	7	3.6.1	Verkehrswege und ihr Grundwasser- risiko	23
2	Theoretisch anzusetzende Beein- trächtigungen	8	3.6.2	Sicherheitsbewertung bautechnischer Maßnahmen zum Grundwasserschutz an Straßen in Wassergewinnungsge- bieten auf probabilistischer Grundlage	23
2.1	Quellen der Verunreinigungen	9	4	Schlußfolgerungen für das Sicker- wasser/Diskussion	24
2.2	Substanzen	10	4.1	Allgemeine Folgerungen	24
2.3	Wege der Verunreinigungen	11	4.2	Folgerungen für die Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe	25
2.3.1	Versickerung Bankett/Böschung	11	5	Zusammenfassung	26
2.3.2	Sammlung und Zuleitung zu Regen- rückhaltebecken, Ölabscheidern mit an- schließender Versickerung oder Einlei- tung in Vorfluter	13	6	Weiterführende Literatur	27
2.3.3	Sickerrigolen und Zuleitung zu Versik- kerungsschächten	13			
2.3.4	Transport durch die Luft	13			
3	Auswahl aus der relevanten Literatur	13			
3.1	Gesamtproblematik	13			
3.1.1	Potentielle Beeinträchtigung des Grund- wassers durch den Verkehr	13			
3.2	Ablauf des Straßenwassers über Ban- kett/Böschung	14			
3.2.1	Schadstoffgehalte von Bankettschäl- und Kehrgut und deren umweltverträgli- che Entsorgung	14			
3.2.2	Herleitung von Kenngrößen zur Schad- stoffbelastung des Schutzgutes Boden durch den Straßenverkehr	16			
3.2.3	Vertikale Schwermetallverlagerung in Banketten von Bundesautobahnen	16			
3.2.4	Dekontaminierende Wirkung belebter Bodenzonen bei verkehrsbedingter Be- einträchtigung der Bodenqualität	17			
3.3	Sickerschächte	19			
3.3.1	Kontamination in zwei schweizerischen Anlagen zur Versickerung von Straßen- abwasser	19			
3.4	Sickerbecken	20			
3.4.1	'Untersuchungen über die Belastung des unterirdischen Wassers mit anorga- nischen toxischen Spurenstoffen im Gebiet von Straßen' und 'Untersuchun- gen über die Belastung des Grundwas- sers mit organischen Stoffen im Bereich von Straßen'	20			
3.5	Gischt/Windverdriftung	21			
3.5.1	Ermittlung und Beurteilung straßenbe- dingter Auswirkungen auf die Land- schaftsfaktoren Boden und Wasser	21			
3.6	Risikoabschätzung/Bewertung	23			

1 Einleitung

Der Schutz nicht nur mehr des Trinkwassers allein, sondern des Grundwassers im allgemeinen spielt bei Umweltverträglichkeitsprüfungen im Zusammenhang mit Straßenbauvorhaben eine immer größere Rolle. Über die möglichen und in einigen Fällen auch über tatsächliche Auswirkungen des Straßenablaufwassers auf das Grundwasser sind in den letzten Jahren detaillierte Forschungsvorhaben veröffentlicht worden. Dieses Heft will die vorhandene Literatur, in der das Thema Grundwasserbelastungen bereits ausführlich behandelt wird, in Kürze vorstellen. Damit soll dem Entscheidungsträger vor Ort eine schnelle Hilfe bei der Auswahl der für sein Problem zutreffenden Berichte gegeben werden.

Zunächst erfolgt in Abschnitt 2 eine Aufstellung der Herkünfte und Arten verkehrsspezifischer Substanzen, die mit dem Regenwasser von der Straße gespült werden.

Die Sichtung der Literatur selbst folgt in Abschnitt 3. Besonders weitgehend und übersichtlich behandelten ASCHERL & FLOSS (1995), LANGE & MOOG (1995) sowie GOLWER (1995) das Thema. Aus ihren Arbeiten läßt sich entnehmen, daß Beeinträchtigungen des Grundwassers für die meisten Situationen nicht zu befürchten sind. Nur bei ganz bestimmten Bodenverhältnissen könnten Schäden entstehen.

Schließlich werden diejenigen Situationen herausgearbeitet, in denen mit keinen bzw. mit gewissen Beeinträchtigungen des Grundwassers zu rechnen ist.

Am 1. März 1999 tritt das Bundes-Bodenschutzgesetz mit der zugehörigen Bodenschutzverordnung in Kraft. Es schützt das Grundwasser flächendeckend vor Einträgen aus verunreinigten Böden mit den Prüfwerten für das Sickerwasser. Die in diesem Heft aufgeführten, exemplarischen Belastungswerte werden mit diesen Prüfwerten verglichen, um eine Einordnung zu ermöglichen.

2 Theoretisch anzusetzende Beeinträchtigungen

Bei der folgenden Betrachtung ist es hilfreich zwischen den Ursachen, durch welche Schadstoffe freigesetzt werden, und den unterschiedlichen Rückhaltevermögen der Bodenarten als Grundwasserüberdeckungsschichten zu differenzieren.

Von ASCHERL & FLOSS (1995) wird die Unterscheidung der straßenspezifischen Einwirkungen nach ständigen (normaler Straßenbetrieb), vorübergehenden (z.B. Tausalzstreuung) und außergewöhnlichen (Unfälle) Einwirkungen übernommen (Definitionen s. S. 17 a.a.O.). Von GOLWER (1991) stammt die Unterteilung des Straßenseitenraums in drei Bereiche (Bild 1).

Im ersten Bereich, 0 bis 2 m neben der Fahrbahn, versickert das Oberflächenwasser. Er wird mit den höchsten Substanzgehalten belastet. Der anschließende Spritzwasserbereich erstreckt sich bis 10 m neben der Fahrbahn. Im dritten Bereich (bis 60 m und darüber hinaus) werden die mit dem Wind verteilten Stoffe abgelagert.

Während sich bis vor kurzem die Beurteilung der in Eluaten, Sickerwässern oder im Grundwasser festgestellten Gehalte an Schwermetallen und Mineralölkohlenwasserstoffen an den Werten der Trinkwasserverordnung bzw. an Grenzwerten für Rohwasser orientierten, kann seit 1997 auf Entwürfe einer Verordnung zum Bundes-Bodenschutzgesetz zurückgegriffen werden.

Die gesetzlichen Regelungen im "Gesetz zum Schutz des Bodens vom 17. März 1998" (BUNDESTAG 1998) werden in der "Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bodenschutz- und Altlastenverordnung, BodSchV)" umgesetzt. Die im folgenden gegebenen Auszüge beziehen sich auf den Entwurf der Verordnung und der zugehörigen Begründung mit Stand vom 1. Sept. 1998 (BMU 1998).

Obwohl das Sickerwasser im Gesetzentwurf nicht namentlich genannt wird, so wird es doch als Bestandteil des Bodens aufgefaßt und bewertet. Für das Sickerwasser vorzunehmende Bewertungen basieren ebenso wie solche für den Boden auf den Wertetabellen des Anhang 2 der BodSchV, zu dem § 8 des BBodSchGesetzes legitimiert.

Dabei legt §3 der BodSchV in Abs. 4 den Ort der Gefahrenbeurteilung fest:

"(4) Das Vorliegen einer durch eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast verursachten Gefahr für das Grundwasser soll untersucht werden, wenn die vom Boden oder der Altlast ausgehende Schadstoffkonzentration im Sickerwasser oder andere Schadstoffausträge eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften erwarten lassen. Ort der Gefahrenbeurteilung für das Grundwasser ist hierbei der Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Zone."

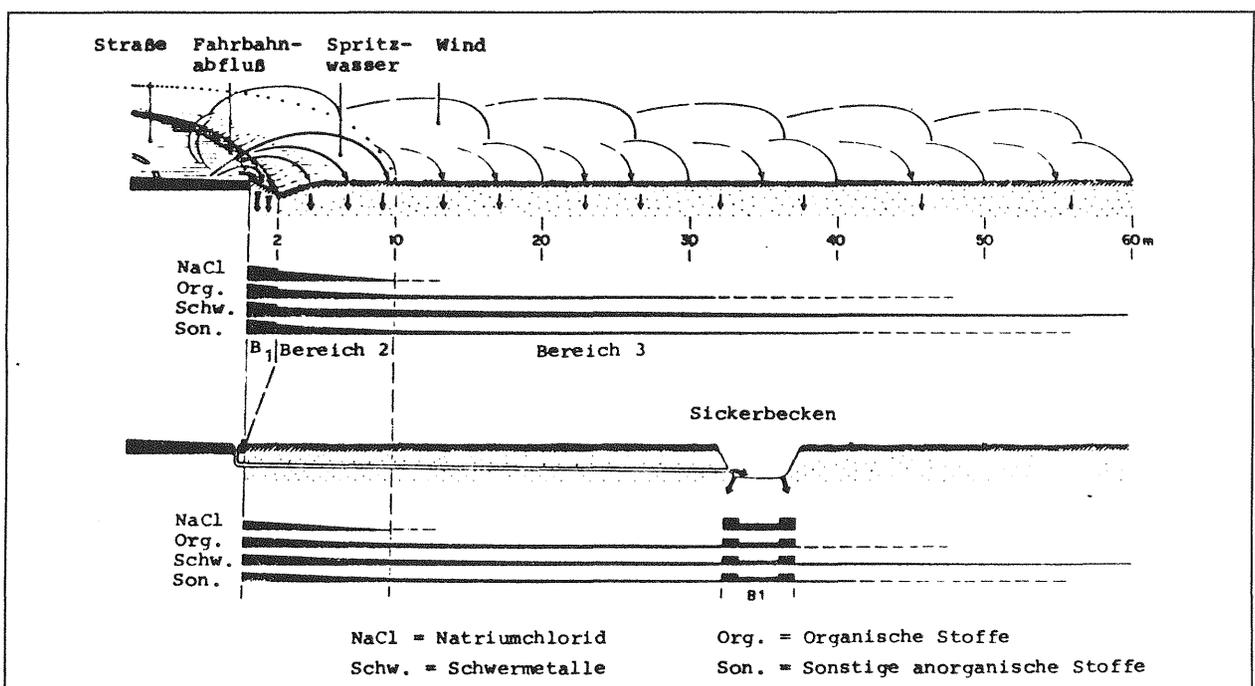


Bild 1: Belastungsbereiche des Grundwassers durch Straßenverkehr. Aus GOLWER (1978)

Und § 4 Abs. 4 bestimmt den Bewertungsmaßstab:

"(4)Wird ein Prüfwert für das Sickerwasser nach Anhang 2 Nr. 3 in der ungesättigten Zone überschritten, ist im Einzelfall zu ermitteln, inwieweit die Schadstoffkonzentration im Sickerwasser am Ort der Gefahrenbeurteilung für das Grundwasser den Prüfwert nicht überschreitet."

3.1 Anorganische Stoffe	Prüfwert [$\mu\text{g/l}$]
Antimon	10
Arsen	10
Blei	25
Cadmium	5
Chrom, gesamt	50
Chromat	8
Kobalt	50
Kupfer	50
Molybdän	50
Nickel	50
Quecksilber	1
Selen	10
Zink	500
Zinn	40
Cyanid, gesamt	50
Cyanid, leicht freisetzbar	10
Fluorid	750
3.2 Organische Stoffe	Prüfwert [$\mu\text{g/l}$]
Mineralölkohlenwasserstoffe	200
BTEX ¹	20
LHKW ²	10
Aldrin	0.1
DDT	0.1
Phenole	20
Naphthalin	2

Tab. 1: Prüfwerte zur Beurteilung des Sickerwassers nach Anhang 2 Nr. 3 des Entwurfes "Verordnung zur Durchführung des Bundesbodenschutzgesetzes (BodSchV)" in der Fassung vom 1. Sept. 1998 (Kabinettsvorlage).

Der Übergang von der ungesättigten zur wasser-gesättigten Zone war bei bisherigen Untersuchungen nicht Gegenstand der Betrachtung. Daher können vorhandene Ergebnisse lediglich eingeschränkt auf diesen Bereich hin übertragen werden. Generell kann davon ausgegangen werden, daß in der Beurteilungszone geringere Konzentra-

tionen vorliegen als in den Sickerwässern aus höheren Bodenschichten oder als in Eluaten, die aus den obersten Bodenschichten gewonnen wurden.

2.1 Quellen der Verunreinigungen

Die folgende Auflistung ist in wesentlichen Teilen den Arbeiten von LANGE & MOOG (1995) und ASCHERL & FLOSS (1995) entnommen und kann dort ausführlicher nachgelesen werden.

Fahrzeugseitige Quellen:

Kraftstoffverbrennung (gas- und partikelförmige Emissionen der Motoren), Abriebe der Bremsen (Beläge, metallische Teile), Kupplungsabriebe, Tropfverluste, Reifenabrieb, Ladungsverluste, Unfallbedingte Verluste je nach Ladung.

Straßenseitige Quellen:

Fahrbahnabrieb, Auswaschungen aus Baumaterialien, Markierungsmaterialien, Straßenunterhaltungsdienste (Streusalz, abstumpfende Streustoffe, Waschflüssigkeiten usw.)

Normaler Straßenbetrieb

Auf ständige Einwirkungen zurückzuführende, erhöhte Gehalte an organischen Verbindungen wie Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (C_nH_m), Phenole, Benzol, PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe), u.U. auch PCDD und PCDF (Dioxine und Furane) finden sich i.d.R. maximal bis zur Grenze des Spritzwasserbereiches. Dabei bleiben die Bodengehalte gering. Einträge ins Grundwasser sind nicht zu befürchten, da diese Stoffe an Humus- und Tonteilchen des Bodens gebunden bleiben und außerdem mikrobiell und photochemisch abgebaut werden.

Unfälle

Betriebsstoffe der Fahrzeuge, die bei Unfällen auf die Fahrbahn bzw. in den Straßenseitenraum gelangen, sind wassergefährdend. Unfallbedingte Ladungsverluste wassergefährdender Stoffe treten lokal in größerer Menge aus und sind deshalb risikoreicher. In der Hauptmenge werden Heizöl, Dieselmotorkraftstoff und Benzin freigesetzt. Viele andere Stoffe sind möglich, entsprechend den Ladungen. Maßnahmen zur Minimierung des damit verbundenen Risikos für Trinkwasserschutzgebiete enthält die RiStWag (FGSV 1993). Eine Bewertung dieser Maßnahmen nehmen ASCHERL & FLOSS (1995) vor (s.u.). Darin finden sich auch statistische Angaben zu Häufigkeiten und Arten solcher Unfälle.

¹ Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Xylole, Ethylbenzol, Styrol, Cumol einschl. der C3- und C4-Alkylbenzole)

² Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (Summe der halogenierten C1- und C2-Kohlenwasserstoffe)

2.2 Substanzen

Gasförmige Emissionen:

Diese Verbindungen haben für den unmittelbaren Straßenseitenraum nicht so hohe Bedeutung. Der Vollständigkeit halber seien genannt: Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Schwefeloxide (SO₂, SO_x), Stickstoffoxide (NO, NO₂, NO_x), leichte Kohlenwasserstoffe wie Alkane (Methan, Ethan, Propan, Butan) oder Alkene (Ethen, Propylen) sowie Blausäure und Schwefelwasserstoff durch Katalysatoren. Weniger flüchtig und darum straßennah auf dem Boden zu finden sind die schwereren Kohlenwasserstoffe wie langkettige Alkane (Öle, unverbrannte Treibstoffanteile) und Aromaten (Benzol, Toluol), die sich auch fahrbahnnah niederschlagen.

Feste Aerosole:

Ruß, Teerprodukte, Eisenverbindungen, Blei, Nickel, Kobalt, Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK, 150 verschiedene Arten), Phenole, in neuerer Zeit Platin und Palladium aus Katalysatoren. Während des Verbrennungsvorganges werden im Ottomotor die im Kraftstoff enthaltenen PAK zum Teil verbrannt und andere neu gebildet (GRIMMER ET AL. 1997). Wegen der Katalysatoren für Ottomotoren kommen heute als PAK-Emittenden praktisch nur noch Dieselmotoren in Betracht, in deren Abgas vor allem Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Chrysen, Pyren und Coronen nachgewiesen werden können.

Nach GÖTTLE (1978) zitiert in LANGE & MOOG (1995) lagern sich 20 - 50 % dieser Emissionen als Staub auf der Fahrbahn ab, der Rest wird mit dem Spritzwasser in die straßennahen Bereiche und ein Teil über die Atmosphäre weiter weg transportiert. Dabei findet sich die Hauptkonzentration der Schwermetalle und PAK in Staubpartikeln unter 0,5 µm Ø. Blei-Aerosole treten jedoch auch mit 10 µm Ø auf (LANGE & MOOG, 1995, S. 114).

Dem bleihaltigen Benzin wurden Scavenger zugesetzt, um Bleiablagerungen im Motor zu verhindern. Bei der Verbrennung bildeten die chlor- und bromhaltigen Verbindungen Dioxine und Furane. Einer Untersuchung von HAGENMAIER ET AL. (1990, zitiert in UNGER, 1991) zufolge emittierten Motoren mit verbleitem Benzin in der Summe 1083 pg/m³ Dioxine und Furane, während Katalysator-Fahrzeuge in dieser Untersuchung nur 7,2 und Dieselmotoren 23,6 pg/m³ emittierten. Diese Substanzen sind z.T. noch im Boden vorhanden, mit neuen Einträgen ist nur noch in nicht mehr relevanten Mengen zu rechnen.

Tropfverluste:

Die aktuelle Fahrzeugflotte besteht zum größten Teil aus Fahrzeugen mit wesentlich dichteren Motoren als zu früheren Zeiten. Die vor allem aus Tropfverlusten stammenden Kohlenwasserstoffe haben in Bankettböden und Sickerwässern in neueren Untersuchungen erheblich niedrigere Konzentrationen angenommen als noch in den 80er Jahren (MUSCHAK, 1997). Tropfverluste bestehen aus Treibstoffen (Benzin, Diesel), Motoren- und Getriebeölen, Schmierfetten, Brems- und Kühlerflüssigkeiten, Frostschutzmitteln der Kühler und Scheibenwaschanlagen, Wasch- und Konservierungsmitteln. Sie enthalten alle in diesen enthaltenen Einzelbestandteile. So kommen neben den organischen Stoffen wie Fetten, Ölen und Kohlenwasserstoffen erhebliche Mengen an Schwermetallen (Blei, Zink, Chrom, Kupfer, Nickel, Vanadium) in Ölen vor. (LANGE & MOOG, S. 14).

Bremsenabrieb:

Diese Feinstäube enthalten v.a. Chrom, Kupfer, Nickel, Blei, Zink und Eisen. MUSCHAK (1989, s. LANGE & MOOG) errechnet einen Gesamtabrieb von bis zu 164 kg pro Kilometer und Jahr einer innerstädtischen Schnellverkehrsstraße. Der Hauptanteil unter den Nichteisenmetallen entfällt auf Kupfer mit rund 5 kg/(km*a).

Reifenabrieb:

Neben dem Kautschuk als wesentlichem Bestandteil des Reifenabriebs enthält dieser große Mengen Ruße und zu ca. 2% Schwermetalloxide von Zink, Blei, Kupfer, Chrom, Nickel, Cadmium. Schwefel und Hilfsmittel haben untergeordnete Bedeutung.

Korrosion und Steinschlagwirkung:

Korrozierende Metalle, Lacke und Unterbodenschutz bringen Eisen, Aluminium, Kupfer, Zink, Cadmium, Kobalt und Mangan in den Straßenstaub.

Winterdienst:

In den Streumitteln enthalten sind Natriumchlorid, Magnesiumsulfat, Magnesiumchlorid, Calciumchlorid, Calciumsulfat, Kaliumchlorid, Kaliumsulfat. Sande, Schlacken und Splitt als abstumpfende Streumittel können erhöhte Schwermetallgehalte aufweisen, die jedoch kaum in wasserlöslicher oder pflanzenverfügbarer Form vorliegen.

Abrieb der Fahrbahnbeläge:

Die Reifen der Fahrzeuge bewirken den mechanischen Straßenabrieb, der bei zweistreifigen Fahrbahnen mit rund 10 t pro km Straße und Jahr veranschlagt wird (SCHORB, 1988). Ein kleinerer Teil wird über Frosteinwirkung freigesetzt. Im Abrieb enthalten sind mineralische Partikel, Silizium, Calcium, Magnesium, organische Bestandteile Bitumen und Asphalt (z.T. noch mit PAK aus Steinkohlenteerpech) und die Schwermetalle Nickel, Mangan, Blei, Chrom, Kupfer und Zink.

Drainasphalt:

Es werden längere Einwirkzeiten von Wasser bzw. Salzlösung auf den in den Poren enthaltenen Straßenstaub und in der Folge höhere Lösungsraten der Schadstoffe kontrovers diskutiert (KRAUTH & MUSCHAK, 1995).

Auswaschungen aus Baustoffen:

Müllverbrennungs- und Steinkohlenflugasche können theoretisch Arsen, Cadmium, Chrom und Blei abgeben. Sie werden aber in der Regel so eingebaut, daß eine Gefährdung des Grundwassers bzw. ein Durchdringen mit Wasser ausgeschlossen ist.

Straßenunterhaltung:

Reinigungsmittel zum Säubern der Begrenzungsfähle; u.U. fallen Pflanzenbehandlungsmittel bzw.

Schädlingsbekämpfungsmittel besonders bei Neupflanzungen an. In der weißen Fahrbahnmarkierungsfarbe ist zu 10 % Titan als Titandioxid (TiO_2) enthalten, dieses gelangt durch Abrieb als Feststoff in den Straßenabfluß; schädliche Wirkungen sind nicht bekannt. Belastungen entstehen beim Entfernen alter Beläge, das Abbeizmittel enthält den Chlorkohlenwasserstoff Dichlormethan.

Übersicht Substanzen

Nachstehende Übersichtstabellen über Arten und Zusammensetzungen der wichtigsten Stoffe sind den vorgenannten Berichten entnommen.

2.3 Wege der Verunreinigungen

2.3.1 Versickerung Bankett/Böschung

Unter den Schwermetallen kommen in straßennahen Böden Blei, Cadmium, Kupfer und Zink in Konzentrationen vor, die die Grenzwerte z.B. der Klärschlammverordnung erreichen oder überschreiten (GOLWER, 1991; LANGE & MOOG, 1995; REUTTER ET AL., 1993; UNGER & PRINZ, 1991). Innerhalb des 10-Meter-Bereiches werden auch die Vorsorgewerte der Bodenschutz-Verordnung für einige Substanzen überschritten (Gehalte im Boden, BMU 1998). Die höchsten Belastungen des Bodens treten fahrbahnnah bis 1 Meter Entfernung auf. Sie entstammen dem über das Bankett gelaufenen bzw. darin versickertem Straßenoberflä-

	organische Stoffe mg/g	BSB ₅ mg/g	CSB mg/g	Fett + Öle mg/g	Petro- leum mg/g	Blei µg/g	Zink µg/g	Chrom µg/g	Kupfer µg/g	Nickel µg/g
Benzin	999,5	154,0	682,1	1,3	1,3	663	10	15	4	10
Diesel	999,6	80,2	399,0	385,3	307,8	12	12	15	8	8
Motorenöl	996,9	143,8	220,8	989,2	937,7	9	1060	0	3	17
Getriebeöl	999,8	102,6	108,3	985,6	941,7	8	244	0	0	21
Frostschutzmittel	987,8	37,6	1102,4	143,8	69,6	6	14	0	76	16
Bremsflüssigkeit	999,9	25,6	2420,8	883,0	33,1	7	15	19	5	31
Unterbodenschutz	998,7	89,8	309,5	958,1	182,8	116	108	0	0	470
Schmierfett	973,9	143,3	-	753,1	665,8	0	164	0	0	0
Gummi	986,3	26,8	2097,4	191,6	97,8	1110	617	182	247	174
Bremsbeläge	285,3	18,9	410,5	30,5	8,3	1050	124	2200	30600	7454
Asphalt	64,2	1,2	85,5	21,4	15,0	102	164	357	31	1170
Beton	70,7	1,4	63,6	2,7	1,3	450	417	93	99	304

Bild 2: Organische Bestandteile und Schwermetallgehalte verkehrsbedingter Stoffe (KRAUTH, 1979 in LANGE & MOOG (1995))

chenwasser. Bei 10 Meter Entfernung haben die Gehalte schon stark abgenommen (es ergeben sich exponentiell abnehmend verlaufende Kurven) und nach 20 bis 50 m werden z.T. die Hintergrundwerte erreicht. Lediglich Blei aus Kraftstoffen ist auch darüber hinaus noch feststellbar. Wegen des rückläufigen Einsatzes verbleiten Benzins ist es für zukunftsorientierte Betrachtungen jedoch weniger erheblich.

Obwohl die Konzentrationen im Straßenoberflächenwasser z.T. erheblich sind (KRAUTH & KLEIN, 1982; MUSCHACK, 1989; SIEKER & GROTTKER, 1988; STOTZ & KRAUTH, 1987), fanden sich nach der Passage des Bankettbodens nur geringe Spuren, die selbst die Grenzwerte der Trinkwasser-Verordnung (BUNDESMINISTER FÜR GESUNDHEIT, 1990) weit unterschritten. In aus 3 bzw. 5 und 25 m vom Straßenrand entfernt entnommenen Sickerwasserproben aus unterschiedlichen Tiefen konnte

Herkunft	Emittierte Stoffe	Literaturquelle
Abgase	Pb (3), Ni (2), Stickstoffverbindungen (1), Kohlenwasserstoffe (2-3), Ruß, partikuläres Material	GOLWER 1991, KRAUTH & STOTZ 1987
Bremsenabrieb	Cr (3), Cu (2/3), Ni (2), Stäube	Yousef 1986 - zit. in KRAUTH & STOTZ 1987
	Pb (3), Zn (1-3), Asbest	Muschak 1989 - zit. in UNGER & PRINZ 1992
Reifenabrieb	Cd (3), Zn (1-3), Ruße, organische Substanzen Kautschuk, Schwefel (1-2)	KRAUTH & STOTZ 1987
	Pb (3), Cr (3), Cu (2/3), Ni (2)	Muschak 1989 - zit. in UNGER & PRINZ 1992
Straßenabrieb	Partikel, Si (0), Ca (0), Mg (1), Asphalt, Bitumen (2-3)	KRAUTH & STOTZ 1987
	Pb (3), Cr (3), Cu (2/3), Ni (2), Zn (1-3)	Muschak 1989 - zit. in UNGER & PRINZ 1992
Abrieb von Fahrbahnmarkierungen	Titanoxid (TiO ₂)	GOLWER & SCHNEIDER 1983a
	Lösungsmittel, (CKW in Abbeizmitteln)	SCHALLES 1988
Tropfverluste (Treibstoffe, Schmierstoffe, Bremsflüssigkeit, Unterbodenschutz, Frostschutz)	Pb (3), Ni (2), Zn (1-3), organische Stoffe, Öle, Fette, C _n H _m (2-3)	KRAUTH & STOTZ 1987
	Cu (2/3), Va (2), Cr (3)	Muschak 1989 - zit. in UNGER & PRINZ 1992
Korrosion, Verschleiß	Al (1), Cu (2/3), Fe (1), Co, Mn (1)	Yousef 1986 - zit. in KRAUTH & STOTZ 1987
Baustoffe	Mineralstoffe, Bindemittel (Bitumen, Kalk, Zement), alternative Baustoffe	GOLWER 1991
Tausalzstreuung	NaCl (0), CaCl (0)	BROD 1993
Straßenunterhaltung	Markierungsfarbe (Titan), Reinigungsmittel, Pflanzenbehandlungsmittel, Schädlingsbekämpfungsmittel	GOLWER 1991
Unfälle	alle Arten wassergefährdender Stoffe	STATISTISCHES BUNDESAMT 1986-1994

Bild 3: Herkunft und Art straßenspezifischer Schadstoffe aus "normalem Straßenbetrieb" (aus ASCHERL & FLOSS, 1995).

REINIRKENS (1992) Blei und Zink nicht nachweisen. Dies war unabhängig von den Gehalten der Oberböden. Cadmium trat in Spuren auf, Kupfer war mobiler, überschritt aber keine Konzentrationen über 20 µg/l. Die WHO empfiehlt für Trinkwasser weniger als 50 µg/l. Selbst für die höchstbelasteten Bankette ergaben Untersuchungen des Sickerwassers aus verschiedenen Tiefen, daß die Schwermetalle nahezu vollständig im Oberboden zurückgehalten werden (TEGETHOF & CICHOS, 1994). Laufende Untersuchungen zeigen für Blei weiter rückläufige Werte und bestätigen die hohe Reinigungsleistung der Bankettböden (GEIGER & DIERKES, 1997).

2.3.2 Sammlung und Zuleitung zu Regenrückhaltebecken, Ölabscheidern mit anschließender Versickerung oder Einleitung in Vorfluter

Besonders Regenfälle nach längeren Trockenperioden nehmen einen Großteil des auf den Fahrbahnen bzw. Standstreifen abgelagerten Staubes auf und transportieren ihn zum Bankett oder im Falle gefaßter Straßenränder in eine Wasserbehandlungsanlage, Versickerungsbecken oder direkt in den nächsten Vorfluter. Aus Fließgewässern besteht grundsätzlich die Möglichkeit der Infiltration ins Grundwasser. Entsprechend der RiStWag (FGSV, 1993) werden Straßenabwässer nach 1971 oberhalb von Trinkwassergewinnungsgebieten nicht mehr unmittelbar in Vorfluter geleitet. Wie die im Abschnitt 3 aufgeführten Arbeiten zeigen, werden die meisten Substanzen dabei im Boden oder auf dem Gewässergrund zurückgehalten und nur lösliche Anteile wie Salze bzw. die geringen löslichen Anteile der Schwermetalle werden zum Grundwasser transportiert.

2.3.3 Sickerrigolen und Zuleitung zu Versickerungsschächten

Versickerungsschächte werden i.d.R. im Laufe von Entwässerungsgräben eingerichtet. Unter dem Graben liegt in einem Kiesbett das Drainagerohr, welches das Wasser zum Sickerschacht leitet. Dieses Wasser hat bereits den Oberboden passiert bzw. ist darüber abgeflossen und hat dabei den Hauptteil der Schmutzfracht abgeladen. Eine Gefahr für das Grundwasser besteht infolge des bereits vorgereinigten Wassers nicht mehr (s.u.).

2.3.4 Transport durch die Luft

Je nach Partikelgröße werden die Anteile des Straßenstaubes unterschiedlich weit transportiert. Grobstaub mit über 10 µm Ø messenden Partikeln

sedimentiert nahe dem Straßenrand, Feinstaub mit Teilchen zwischen 0,5 µm Ø und 10 µm Ø wird je nach Wind-/Wetterlage ± weit transportiert und der Feinstaub unter 0,5 µm Ø hält sich lange in der Luft und trägt zur allgemeinen Belastung bei, die bei Regen überregional ausgewaschen wird (LANGE & MOOG, 1995, S. 89 und 97, verändert).

Bereiche nach GOLWER (1991): Spritzwasserbereich bis 10 m und Windverdriftung bis 60 m neben Straßen mit Abweichungen durch Lage / Windrichtungen und -stärken (s. Bild 1).

3 Auswahl aus der relevanten Literatur

In den folgenden Darstellungen finden sich Vergleiche mit Prüfwerten nach dem Entwurf der Bodenschutzverordnung. Gemeint sind dabei die "Prüfwerte zur Beurteilung des Sickerwassers" aus Anhang 2 Punkt 3 des Entwurfes der Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bodenschutz- und Altlastenverordnung, BodSchV) vom 1. Sept. 1998 (BMU, 1998). Der Einfachheit halber wird häufig nur von "Prüfwerten" gesprochen. Nicht gemeint sind damit die Prüfwerte zur Bewertung der Bodenbelastungen nach Anhang 2 Nr. 1.4 und 2.1 der gleichen Verordnung.

3.1 Gesamtproblematik

3.1.1 Potentielle Beeinträchtigung des Grundwassers durch den Verkehr

GERD LANGE & KARL-HEINZ MOOG, DVWK Materialien 3/1995

Die Autoren stellen die für das Grundwasser relevanten Substanzen, deren Quellen und Pfade für die Verkehrsträger Straße, Schiene, Luft und Wasser dar. Alle in Frage kommenden Quellen, von Abgasen über Tropfverluste, Abriebe etc. bis hin zur Pflege der straßennahen Bepflanzung werden sehr gründlich anhand von Literaturangaben recherchiert und in Tabellen deren Inhaltstoffe angegeben. Neben den Wegen, die die Stoffe von ihrer Quelle aus zum Grundwasser nehmen können, werden deren Auswirkungen beschrieben. Dieser Teil enthält auch eine übersichtliche Darstellung der Gehalte in Straßenabflüssen nach verschiedenen Untersuchungen. Eine Bewertung der Auswirkungen unter Verwendung bestimmter Maßstäbe führt zur Einschätzung der ausgehenden Gefahren bzw. zur Beurteilung, ob überhaupt eine Gefahr

vorliegt. Vorsorgestrategie-Empfehlungen und Hinweise zum aktuellen Handlungsbedarf runden das Werk ab.

Aus dieser Arbeit wurden wesentliche Teile für den allgemeinen Teil des vorliegenden Berichtes verwendet.

Die Zusammenstellung der Stoffgehalte in unfiltrierten Straßenoberflächenabflüssen zeigt, daß hierin die Werte für Zink, Kupfer, Chrom, Nickel und Quecksilber unter den in der Trinkwasserverordnung genannten Grenzwerten liegen. Die Cadmiumkonzentrationen liegen etwas höher und PAK, Blei und Eisen sind um den Faktor 10 erhöht. Aus dem im Boden versickernden Wasser werden diese Substanzen zum großen Teil ausgefiltert, so daß eine Reinigung erfolgt. Das Sickerwasser im Boden enthält weitaus geringere Konzentrationen.

Dabei erfolgt besonders im Versickerungs- und Spritzwasserbereich eine Anreicherung im Boden, die unter Umständen zu verstärktem Eintrag führen kann. Über die zum Teil hohen Konzentrationen von Schwermetallen, Mineralölen und PAK in straßennahen Böden und deren Abnahme zur Tiefe hin besprechen die Autoren Arbeiten über die Sickerwasserbelastungen bzw. Grundwasserbeeinträchtigungen (BROD, 1984; BISCHOFBERGER, 1986; SCHLOZ, 1980; PEER & PODLESÁK, 1991; GOLWER & SCHNEIDER 1973, 1983, s.u.), die zwar nachweisbar waren, aber deren Konzentrationen auch unmittelbar am Sickerbecken die Grenzwerte für Trinkwasser unterschritten. Lediglich Tausalze sind deutlicher im Grundwasser und in Sickerwässern nachzuweisen und die durch Natrium im Boden verdrängten Calcium- und Magnesiumionen können lokal zur Erhöhung der Wasserhärte des Grundwassers führen.

In der Frage der Bewertung wird zunächst die Grundwasserschutzfunktion verschiedener Bodentypen anhand bodenkundlicher Parameter besprochen. Mangels geeigneter Kriterien zum Zeitpunkt der Arbeit können nur Trinkwasserwerte herangezogen werden, die jedoch nicht für das Grundwasser im allgemeinen aufgestellt wurden. Verunreinigungen unter durchlässigen Gesteinen wie z.B. Karst lassen sich nur grob abschätzen. Im allgemeinen wird durch Straßen keine akute oder direkte Grundwassergefährdung gesehen. Konkrete Beeinträchtigungen ergaben sich nach Kenntnis der Verfasser in der Praxis nur für Streusalze, wofür dann Schutzmaßnahmen in Trinkwassergewinnungsgebieten eingerichtet wurden.

Die ausführlich vorgestellten, empfohlenen Maßnahmen betreffen sowohl politische, fahrzeugtechnische als auch bauliche Vorkehrungen zum

Grundwasserschutz. Letztere, nach den "Richtlinien für die Anlage von Straßen in Wassergewinnungsgebieten" ausgeführt (RiStWag; FGSV, 1993), reichen für Trinkwasserschutzgebiete aus. Außerhalb wird das breitflächige Versickern über die belebte Bodenzone bzw. großflächiges Versickern des gesammelten Straßenabwassers für ausreichend gehalten (a.a.O., S. 158). Handlungsbedarf wird hinsichtlich technischer, regelungstechnischer (LKW-Unfälle) und vor allem hinsichtlich der Überprüfung älterer Straßen in Trinkwasserschutzgebieten gesehen, die noch nicht nach den RiStWag gebaut wurden.

Für alternative Baustoffe wie Schlacken und Müllverbrennungsasche nennt die Arbeit noch keine absoluten Werte im Sickerwasser, sondern spricht von "geringen Konzentrationen".

3.2 Ablauf des Straßenwassers über Bankett/Böschung

3.2.1 Schadstoffgehalte von Bankettschäl- und Kehrgut und deren umweltverträgliche Entsorgung

GALLENKEMPER, BECKER & FRITSCHKE, 1993; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 664, Bundesministerium für Verkehr

Mit dem Straßenablaufwasser werden die Abriebmaterialien an den Straßenrand gespült, wo sie sich anreichern und den Wasserabfluß behindern. Sobald erforderlich werden Bankette in Dicken zwischen 5 und 10 cm abgeschält. Sie enthalten, ebenso wie das Kehrgut von Straßen, alle verkehrsrelevanten Substanzen. Nach den Ergebnissen dieses Vorhabens sind sie unterschiedlich konzentriert, je nach Straßenkategorie, Hauptwindrichtungen, Straßenlage und Mähverfahren. Um die möglichen Entsorgungswege der Banketterden mit den abfallrechtlichen Bestimmungen abzugleichen, mußten u.a. deren Eluatgehalte analysiert werden.

Unter dem Gesichtspunkt des Grundwasserschutzes können die Ergebnisse dieser Arbeit als Worst-Case-Scenario angesehen werden, da von allen straßenbegleitenden Böden in diesen oberen Schichten die höchsten Fremdstoffgehalte zu finden sind.

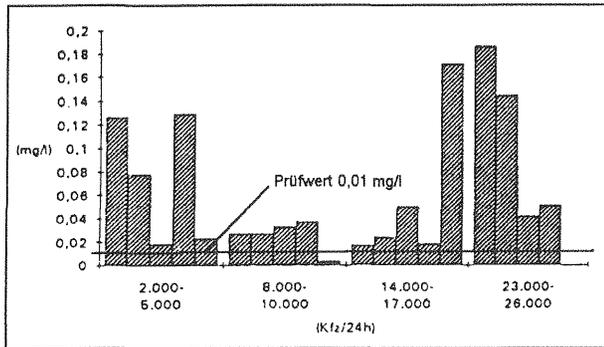


Bild 4: Bleigehalte in Eluaten von Banketterden, je 4 Wiederholungen in 4 DTV-Klassen (aus GALLENKEMPER, BECKER & FRITSCHKE, 1993, verändert).

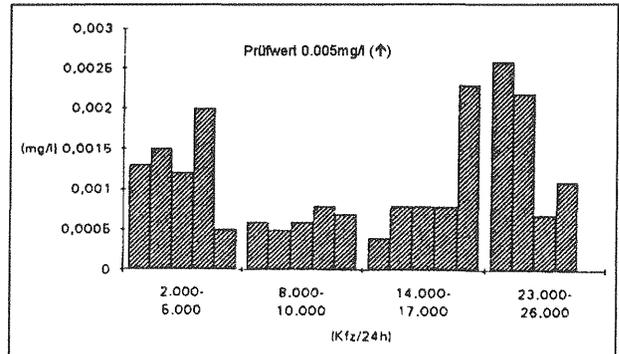


Bild 8: Cadmiumgehalte in Eluaten von Banketterden, je 4 Wiederholungen in 4 DTV-Klassen (aus GALLENKEMPER, BECKER & FRITSCHKE, 1993, verändert).

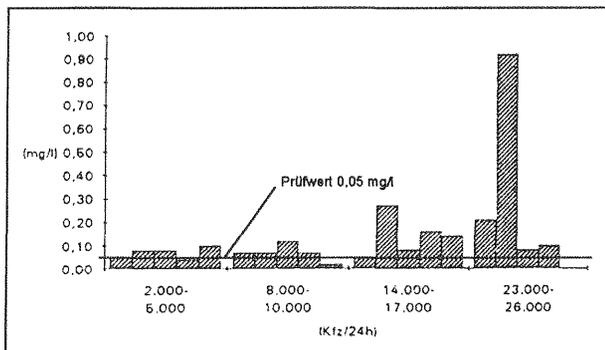


Bild 5: Kupfergehalte in Eluaten von Banketterden, je 4 Wiederholungen in 4 DTV-Klassen (aus GALLENKEMPER, BECKER & FRITSCHKE, 1993, verändert).

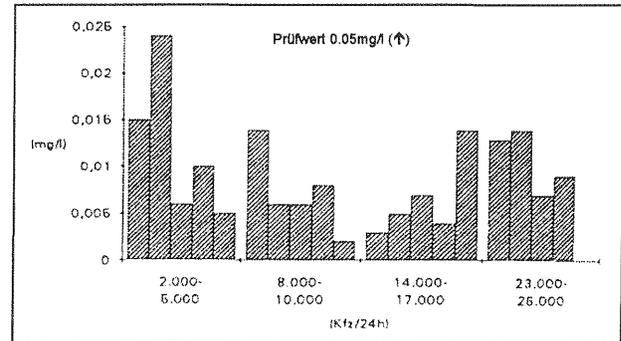


Bild 9: Chromgehalte in Eluaten von Banketterden, je 4 Wiederholungen in 4 DTV-Klassen; Prüfwert 0,05 mg/l (aus GALLENKEMPER, BECKER & FRITSCHKE, 1993, verändert).

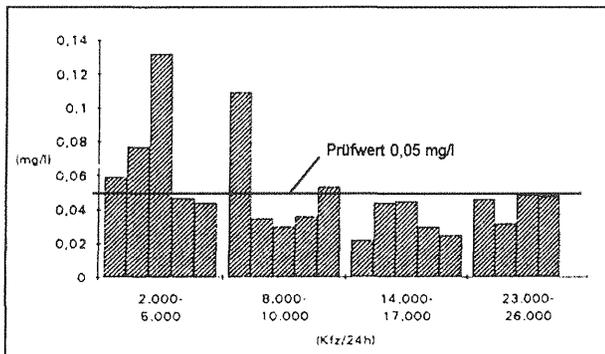


Bild 6: Nickelgehalte in Eluaten von Banketterden, je 4 Wiederholungen in 4 DTV-Klassen (aus GALLENKEMPER, BECKER & FRITSCHKE, 1993, verändert).

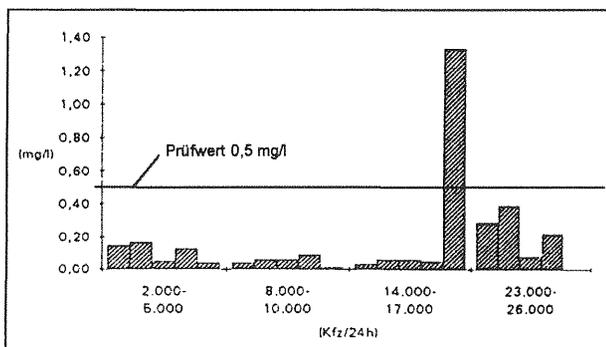


Bild 7: Zinkgehalte in Eluaten von Banketterden, je 4 Wiederholungen in 4 DTV-Klassen (aus GALLENKEMPER, BECKER & FRITSCHKE, 1993, verändert).

Blei überschritt hier den Prüfwert in allen DTV-Klassen (Bild 4). Hierbei muß berücksichtigt werden, daß die Untersuchungen Anfang der 90er Jahre durchgeführt wurden und das Alter der analysierten Banketterden mit 10 Jahren und älter angenommen werden kann. D.h. die in den untersuchten Banketten akkumulierten Schwermetalle spiegeln die Einträge der 70'er und 80'er Jahre wider und lassen nicht auf heutige Verhältnisse schließen.

Kupfer zeigte mit dem DTV ansteigende Werte, die den Prüfwert stets überschritten (Bild 5).

Nickel überschritt nur bei niedrigeren Verkehrsbelastungen die Prüfwerte (Bild 6).

Zink zeigte nur in einem Fall eine Überschreitung, die Mittelwerte blieben weit unter dem Grenzwert (Bild 7). Verzinkte Metallteile wie z.B. Schutzplancken können die Bodengehalte örtlich beträchtlich erhöhen.

Cadmium blieb durchweg unter den Grenzwerten (Bild 8), ebenso wie Chrom (Bild 9). Dies ist ein Hinweis darauf, daß Cadmium und Chrom für Überlegungen zum Grundwasserschutz an Straßen zweitrangig sein könnten. Kohlenwasserstoffe wurden in den Eluaten nicht bestimmt.

3.2.2 Herleitung von Kenngrößen zur Schadstoffbelastung des Schutzgutes Boden durch den Straßenverkehr

PRINZ & KOCHER, 1997; laufendes FE 02.168 R95L im Auftrag der BAST, Universität Karlsruhe, Institut für Wasserbau und Kulturtechnik

Das Projekt selbst besteht in der Auswertung aller verfügbaren veröffentlichten und unveröffentlichten Literatur bzw. Untersuchungsergebnissen und Gutachten für Straßenbaubehörden. Es soll unter Einbeziehung möglichst vieler Daten eine Abhängigkeitskurve der Bodenbelastungen im Straßenseitenraum von der Entfernung zum Straßenrand, der Verkehrsstärke u. a. Parameter entwickelt werden. Diese soll Prognosen über zu erwartende straßennahe Bodenbelastungen bei Neu- und Ausbauprojekten ermöglichen.

Die zusammengetragenen Untersuchungswerte enthalten neben mehreren Tausend Bodenanalysen 133 Eluatanalysen, vor allem von Banketterden. Diese wurden der BAST kurzfristig zur Verfügung gestellt. Blei und Cadmium wurden in allen diesen Analysen berücksichtigt; Kupfer, Nickel und Zink in 131, Chrom in 126 und Quecksilber in 15 Fällen. Die Daten stammen zum größten Teil aus Untersuchungen der Jahre 1991 bis 1993 (Jahr der Probenahme). Bei der Mehrzahl der Proben fanden sich keine Herkunftshinweise, außer "Straßenrand". Aufgrund der z.T. hohen Gehalte an Schwermetallen wird angenommen, daß es sich dabei um Banketterden handelt.

Bei vier Eluatproben, in denen Kohlenwasserstoffe untersucht wurden, blieb deren Gehalt unterhalb der Bestimmungsgrenze von 20 µg/l (Prüfwert 200 µg/l).

Verglichen mit Eluaten bzw. Sickerwässern aus Banketterden anderer Untersuchungen liegen die Gehalte der ausgewerteten Untersuchungen z.T. sehr hoch. Ungenauigkeiten der verwendeten Methodiken können nicht ausgeschlossen werden, zumal diese hohe Nachweisgrenzen hatten.

Besonders viele und hohe Überschreitungen treten demnach bei Blei und Kupfer auf, während Cadmium und Chrom nur in wenigen Fällen und Quecksilber den Prüfwert gar nicht überschreitet. Bei der Betrachtung dieser Werte muß betont werden, daß es sich um ein Worst-Case-Szenario handelt, weil die höchstbelasteten Banketterden und vermutlich deren obere Bodenschichten herangezogen wurden. Die Prüfwerte sind für die Zone 'Übergang ungesättigte/wassergesättigte Zone' gedacht und im Grunde auf diese Eluate nicht anwendbar.

Beachtenswert ist jedoch, daß trotz dieser ungünstigen Verhältnisse nur wenige Überschreitungen auftreten.

Für die Beurteilungstiefe wasserungesättigte/wassergesättigte Zone kann mit Hilfe der weiteren Arbeiten gezeigt werden, daß dort mit erheblich geringeren Gehalten als in Eluaten des Oberbodens gerechnet werden muß.

Substanz	Anzahl der Proben	Anzahl der Proben mit Prüfwertüberschreitungen	Prüfwert (µg/l)
Blei	133	34	10
Kupfer	131	38	50
Zink	131	23	500
Nickel	131	17	50
Cadmium	133	5	5
Chrom	126	2	50
Quecksilber	15	-	1

Tab. 2: Anzahl der Fälle, in denen die Prüfwerte für Sickerwasser nach der Bodenschutzverordnung, Anhang 2 Punkt 3 im Eluat von Banketterden (zumeist Schälgut) überschritten wurden.

3.2.3 Vertikale Schwermetallverlagerung in Banketten von Bundesautobahnen

CICHOS, A. 1992; "Vertikale Schwermetallverlagerung im Bankettbereich stark befahrener Bundesfernstraßen", Abschlußbericht Projekt Nr. 91604, Bundesanstalt für Straßenwesen

Es ist die erste Arbeit, die sich mit Sickerwässern aus dem Bankett befaßt, dem höchstbelasteten Bodenbereich, der i.a. poröser als sonstige Böden ist. Deswegen könnte sich eine höhere Verlagerungsrate von Schwermetallen mit dem Sickerwasser ergeben. Mit Hilfe von Saugsonden wurden Sickerwässer in verschiedenen Tiefen (20, 70 und 120 cm) im Bankett von 4 stark befahrenen Autobahnen (DTV zwischen 50 000 und 64 000 Kfz/24h) gewonnen.

Die Oberböden an den Untersuchungsstellen waren schwach alkalisch mit pH-Werten zwischen 7,8 und 8,0. - Im Verlauf des Frühjahrs/Sommers 1991 traten gravierende Änderungen der Fremdstoffkonzentrationen in den Sickerwässern auf. Diese Abweichungen waren durch unterschiedliche Abflussmengen von den Straßen und auch durch Konzentrationsanstiege infolge Austrocknung der Bankette bedingt. Sie zeigen, daß eine Aussage aufgrund einer einzelnen stichprobenartigen Entnahme nicht ausreicht und sogar irreführend sein kann. Mit zu-

nehmender Tiefe wiesen die Sickerwässer geringere Konzentrationen an Schwermetallen auf. Nur Blei überschritt 1991 den Prüfwert zeitweise auch in 120 cm Tiefe.

Die folgenden Grafiken wurden dem Abschlußbericht zum Projekt entnommen.

Beispielhaft für Blei steht der Untersuchungsstandort an der A 59. Es überschritt damals auch an den anderen 3 Standorten in 120 cm Tiefe häufig den Prüfwert von 25 µg/l (Bild 10).

Cadmium lag an allen Untersuchungsstellen immer unter dem Prüfwert von 5 µg/l (Bild 11).

Kupfer wies nur in der Tiefe von 20 cm bei verschiedenen Standorten an fünf Probenahmeterminen mehr als 50 µg/l auf. In 70 und 120 cm Tiefe zeigte es keine Überschreitungen der Prüfwerte (Bild 12).

Ebenso kann Zink in 120 cm Tiefe als unkritisch angesehen werden (Bild 13).

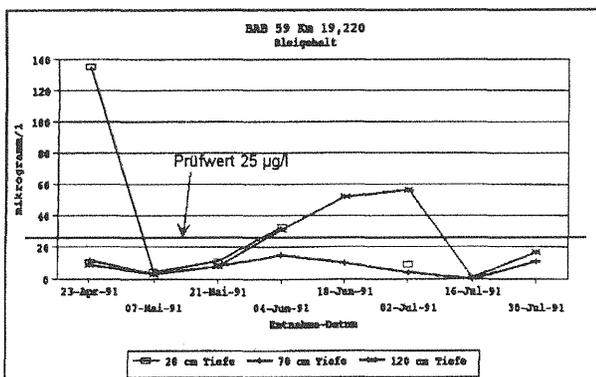


Bild 10: Blei-gehalte im Sickerwasser des Banketts der A 59, April bis Juli 1991.

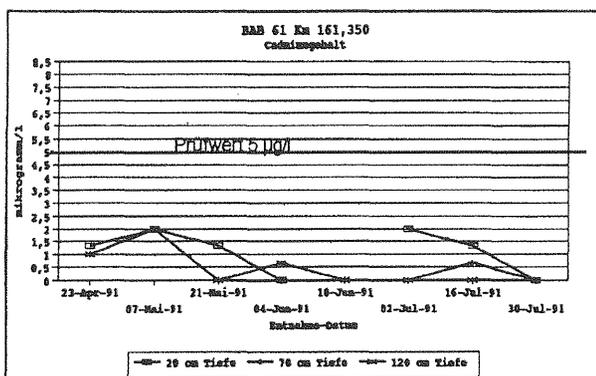


Bild 11: Cadmium-gehalte im Sickerwasser des Banketts der A 61, April bis Juli 1991.

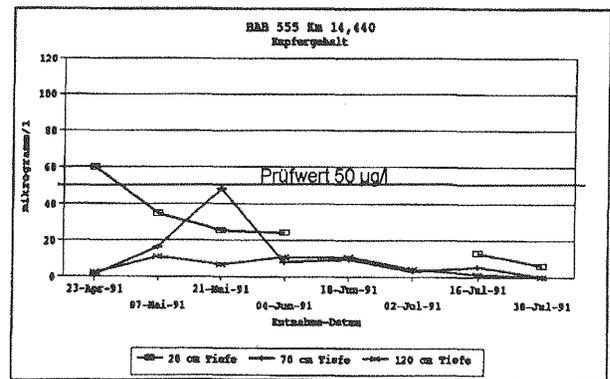


Bild 12: Kupfer-gehalte im Sickerwasser des Banketts der A 61, April bis Juli 1991.

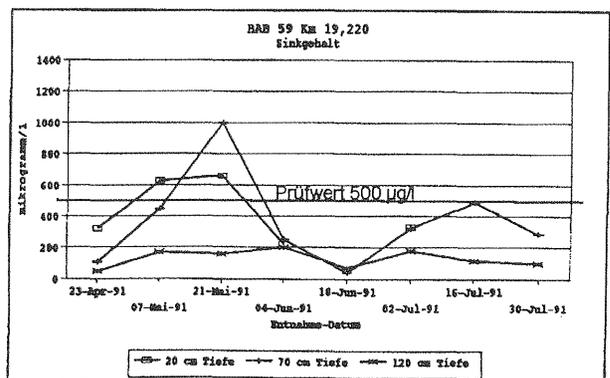


Bild 13: Zink-gehalte im Sickerwasser des Banketts der A 61, April bis Juli 1991.

3.2.4 Dekontaminierende Wirkung belebter Bodenzonen bei verkehrsbedingter Beeinträchtigung der Bodenqualität

GEIGER, W.F. & C. DIERKES, 1997; laufendes FP 05.107/1996/GGB, Universität Essen, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen

Über die langfristigen Kapazitäten der Böden am Straßenrand, Schadstoffe aufzunehmen bzw. abzubauen liegen derzeit kaum Erkenntnisse vor. Einerseits könnten die Adsorptionskapazitäten mit der Zeit erschöpft werden, andererseits könnten die aus dem Verkehr stammenden Schwermetalle in den Böden solche Bakterien negativ beeinflussen, die Mineralöle, Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und andere organische Substanzen metabolisieren. An vier stark befahrenen Autobahnen und einer Bundesstraße werden Böden und Sickerwässer im Bankettbereich auf ihre bodenspezifischen Parameter und Schadstoffgehalte hin untersucht. Anders als bei früheren Untersuchungen werden hier keine Eluate aus Bodenproben im Labor hergestellt, sondern tatsächlich durch das Bankett gesickerter Straßenabfluß analysiert. Im Labor und im Feld sollen Langzeit-

simulationsexperimente Aufschluß über die Mengen an Schwermetallen geben, die Bankettböden aufzunehmen in der Lage sind. Im Labor werden Lysimeter mit originalem Straßenablaufwasser in solchen Mengen beschickt, die bis zu zwanzigjährigen Regensummen entsprechen.

Nachdem das Straßenablaufwasser 30 cm Bankett am Straßenstandort durchsickert hat, unterschreitet es im allgemeinen bereits die Prüfwerte für das Sickerwasser. Ausnahmen in dieser Tiefe sind Kupfer an der A2 und Zink an der A 31 (Tab. 3).

Insgesamt ergibt sich eine hohe Effektivität der Böden, zugeführte Schwermetalle zurückzuhalten. Tab. 4 zeigt die Ergebnisse nach zehn von den angestrebten zwanzig simulierten Jahren. Die verwendeten Banketterden hatten schon langjährige Standzeiten hinter sich. Trotzdem ist die Reinigungsleistung ungebrochen, denn es werden i.a. sogar geringere Konzentrationen als am Straßenstandort erreicht.

Von den im aufgegebenen Straßenablaufwasser und den im Sickerwasser der Lysimeter festgestellten Gehalten wurden die Massen bilanziert. Die Autoren ermittelten, daß Cadmium zu 95 %,

Zink zwischen 84 % und 94 %, Blei zwischen 77 % und 98 % zurückgehalten wird. Nur Kupfer erreicht höhere Löslichkeiten, es ist organisch komplexiert und wird nur zwischen 43 % und 61 % im Boden gebunden. Keines der Metalle überschreitet die Werte der Trinkwasserverordnung (vergl. Tab. 5).

Die Autoren weisen darauf hin, daß bei niedrigeren pH-Werten höhere Löslichkeiten resultieren können, besonders für Cadmium.

Meßstelle	Mineralöl- kohlenwasser- stoffe mg /l	Blei [µg/l]	Zink [µg/l]	Kupfer [µg/l]	Cadmium [µg/l]
A 2	< 0,1	4	390	76	0,6
A 3	< 0,1	4	k. A.	30	0,7
A 31	0,2	5	530	36	0,5
A 42	< 0,1	7	480	43	1,3
B 224	0,5	9	220	39	0,7
Prüfwert	0,2	25	500	50	5,0

Tab. 3: Mittlere Fremdstoffkonzentrationen der Sickerwässer aus Lysimetern in den Banketten. Laufende Untersuchung von GEIGER & DIERKES (1997).

	Straßenab- laufwasser	B 224	A 2	A 3	A 31	A 42
pH	7,3	7,7	7,4	7,5	7,6	7,6
Blei [µg/l]	17	< 5	< 5	< 5	11	8
Zink [µg/l]	1250	44	101	69	274	107
Kupfer [µg/l]	140	31	50	38	40	50
Cadmium [µg/l]	1,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4

Tab. 4: Simulation 10-jähriger Belastung der Bankettböden mit Straßenablaufwasser im Labor. Durchschnittliche Schwermetallgehalte im Straßenablaufwasser und Sickerwässern der Lysimeter beschickt mit Bankettmaterial der angegebenen Standorte (30 cm Bodentiefe). Laufende Untersuchung von GEIGER & DIERKES (1997).

3.3 Sickerschächte

3.3.1 Kontamination in zwei schweizerischen Anlagen zur Versickerung von Straßenabwasser

MIKKELSEN ET AL.; 1995 EAWAG-Forschungsschwerpunkt, Versickerung von Meteorwasser - Modul 6

Es wurden zwei Versickerungsanlagen für Straßenabwasser in Basel-Land und Basel-Stadt untersucht. Bei der einen wird das Wasser in die Straßenschulter bzw. ins angrenzende Ackerland geleitet und dort in kleinen Mulden versickert; die andere besteht aus Schächten, in denen das gesammelte Wasser auf nur 0,4% der Abflußfläche versickert wird. Beide Anlagen sind seit 1959 in Betrieb, ein Teil der Schächte jedoch erst seit 1982. Sie liegen auf kalkreichen Schotterschichten.

Die Beprobungen des Bodens, des Sedimentes und der Schichten unter den Sickerschächten, sowie die Herstellung von Eluaten aus daraus entnommenen, ungestörten Bodenproben brachten folgende Resultate: Die im Straßenabfluß vorhandenen Partikel (Abriebmaterialien) liefern genügend Material, um die verkehrsrelevanten Schwermetalle und organischen Substanzen zu absorbieren. Deren Konzentrationen sind in den Sedimenten der Sickerschächte z.T. höher als die

einschlägigen schweizerischen Grenzwerte (VSB₀, für bewirtschaftete Böden vergeben). Die Schadstoffe wurden aber während der bisherigen Betriebszeiten von 45 bzw. 11 Jahren dort zurückgehalten und drangen nur minimal und nur auf kurze Entfernungen (bis 2 m) in den benachbarten Boden ein. Es konnten nur geringe Konzentrationen austauschbarer Schwermetalle festgestellt werden, was auf eine geringe Auswaschung in untere Bodenschichten hinweist. Keines der Schwermetalle in der Bodenlösung überstieg gültige Grenzwerte für Trinkwasser. Zwar rechnen die Verfasser mit einem stetigen Transport ins Grundwasser, jedoch erfolgt dieser zur Hauptsache durch das verdünnte Regenwasser, so daß keine toxischen Konzentrationen auftreten.

Die Grafiken geben Gehalte in den Eluaten aus den ungestörten Bodenproben verschiedener Tiefen wieder. Neben den dargestellten Profilen für Kupfer, Zink, Cadmium und Blei wurden auch Chrom, Cobalt und Nickel untersucht. Deren Eluate ergaben ebenfalls unter den Prüfwerten liegenden Gehalte.

Mit zunehmender Tiefe finden sich abnehmende Konzentrationen der Schwermetalle im Eluat (CaCl_2) der Bodenproben (1,5 m vom Straßenrand). Von den aufgeführten Substanzen überschritt nur Kupfer und nur in der obersten Abstufung den Prüfwert.

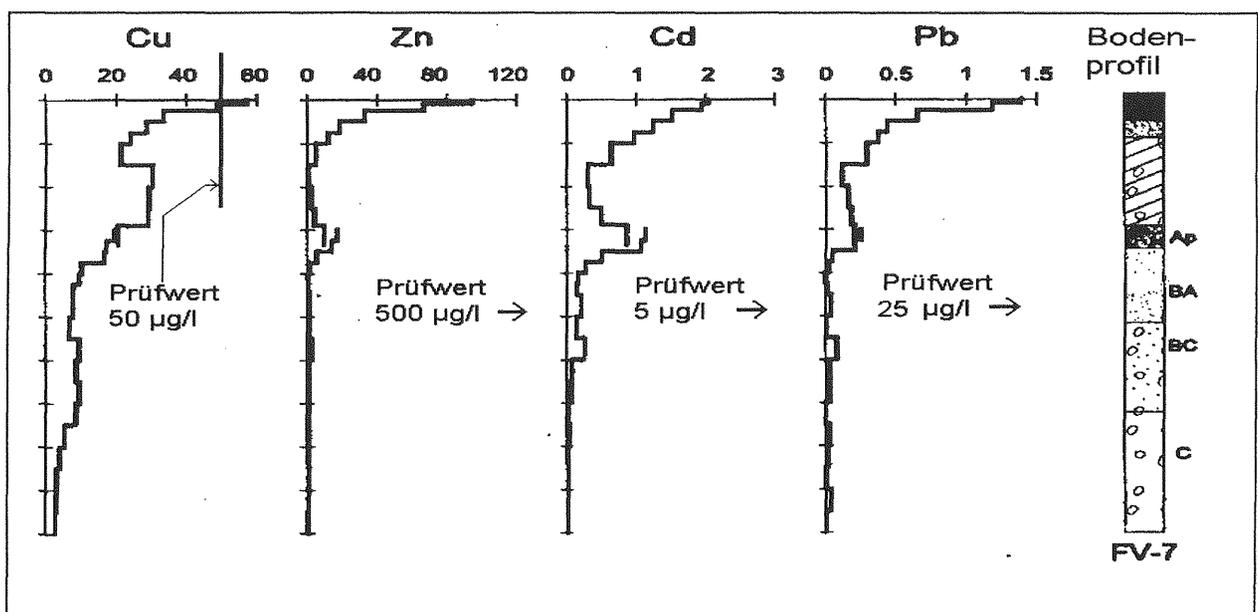


Bild 14: Schwermetallgehalte in Eluaten aus verschiedenen Bodentiefen. Die waagerechten Skalen geben die Konzentration in µg/l an, die senkrechten die Tiefe, jeder Strich stellt 20 cm dar. Aus MIKKELSEN ET AL. 1995 (verändert). Prüfwerte für das Sickerwasser nach BSchV der BRD.

In der Tiefe, wo laut Verordnung die Prüfwerte zum Vergleich herangezogen werden sollen, finden sich keine Überschreitungen. Diese Arbeit hat eine hohe Aussagekraft für die möglichen Belastungen des straßennahen Grundwasserraumes, da hier Eluate aus Böden gewonnen wurden, in die konzentriert eingeleitet wurde. Trotzdem fanden keine maßgeblichen Verlagerungen der Schadstoffe in das Bodenwasser der tieferen Schichten statt.

3.4 Sickerbecken

3.4.1 'Untersuchungen über die Belastung des unterirdischen Wassers mit anorganischen toxischen Spurenstoffen im Gebiet von Straßen' und 'Untersuchungen über die Belastung des Grundwassers mit organischen Stoffen im Bereich von Straßen'

A. GOLWER & W. SCHNEIDER, 1983; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 391, Herausgeber Bundesminister für Verkehr

Während der Jahre 1975 bis 1980 wurden die Abflüsse der vielbefahrenen A3 (DTV 90.000 Kfz/24h) in der Nähe des Frankfurter Flughafens, der Inhalt des mit ihnen gespeisten Sickerbeckens, sein Schlamm, sowie an verschiedenen Entnahmepunkten das Grundwasser auf eine Vielzahl von Substanzen analysiert, deren Aufzählung diesen Rahmen sprengen würde. Die Arbeiten bilden eine gute Quelle für konkrete Meßwerte.

In der ersten Hälfte der Untersuchungsperiode lag der Schwerpunkt auf der Verfolgung der anorganischen Parameter auf ihrem Weg von der Straße zum Grundwasser und in der zweiten Hälfte konzentrierte man sich auf die organischen Substanzen wie Kohlenwasserstoffe, PAK und Phenole, wobei die verkehrsspezifischen Schwermetalle und übliche Parameter von Wasseruntersuchungen weiterhin mit analysiert wurden.

Schon im Sickerwasser unter dem Versickerungsbecken fanden sich von den verkehrsrelevanten Substanzen nur geringfügige Konzentrationen, die unter den für Trinkwasser festgesetzten Grenzwerten blieben. Die Autoren führen dies im Falle der anorganischen Parameter auf die hohe Reinigungsleistung durch Filterung und Sorption bei der Bodenpassage zurück. Für die organischen Substanzen kommt deren mikrobieller Abbau in der

belebten Bodenschicht hinzu, was deren, im Verhältnis zu anorganischen Substanzen, geringere Ausbreitung im Grundwasser bewirkt. Niedrig-, Mittel- und Hochsieder (u.a. Mineralölkohlenwasserstoffe), Benzol und Phenol konnten im Grundwasser unter dem Becken nicht nachgewiesen werden. PAK, darunter besonders Fluoranthen waren unter dem Becken leicht erhöht, lagen aber um Größenordnungen unter dem Grenzwert der TVO.

Blei, Zink und PAK liegen zu erheblichen Anteilen nicht in gelöster Form im Straßenablaufwasser vor, sondern als Feststoff oder sind an Schwebstoffen absorbiert. Dies ergab sich bei der Analyse der Schwebstoffhaut von der Wasseroberfläche des Beckens. Schwermetalle werden außerdem bei der Bildung von Eisenhydroxid oder Eisensulfid mit ausgefällt, dadurch immobilisiert und im Boden am Fahrbahnrand bzw. im Schlamm des Sickerbeckens angereichert. Im Grundwasser waren zwar unter dem Becken gegenüber einer Meßstelle im Grundwasserstrom neben dem Becken leicht erhöhte Gehalte der verkehrsspezifischen Parameter festzustellen, allerdings kamen auch diese nicht an die Werte der TVO heran. Lediglich Natrium und Chlorid bildeten zeitweise Ausnahmen. Sie sind am weitesten im Grundwasser nachweisbar und führen zu einer Schichtung im Grundwasserleiter, indem das mit ihnen beladene, schwerere Wasser nach unten sinkt.

Die Autoren gehen von einer weitgehenden Übertragbarkeit ihrer Ergebnisse und der gewonnenen Erkenntnisse zur Reinigungsleistung auf andere Verhältnisse in der Nähe von Straßen aus. Die Reichweite des Einflusses von Straßen auf das Grundwasser wird durch die anorganischen Substanzen, vor allem durch Chloride bestimmt, beträgt aber im Falle des Sickerbeckens nur einige 100 Meter. Die vom Becken ausgehende organische Belastung des Grundwassers ist schon nach einer Fließstrecke von 100 m kaum noch nachzuweisen.

Aufgrund dieser Ergebnisse halten die Autoren es für vertretbar, das Straßenoberflächenwasser in Wasserschutzzonen III B und bei günstiger Bodenbeschaffenheit in III A über die bewachsene Bodenzone oder in Seitenmulden zu versickern oder in Versickerungsbecken zu leiten. Dagegen sollten Sickerschächte und Schluckbrunnen, wegen ihrer im Vergleich zur belebten Bodenschicht geringeren Reinigungsleistung, in Wasserschutzgebieten nicht eingesetzt werden.

Substanz	Grundwasser unter dem Sickerbecken		Prüfwert Sickerwasser BodSchVO ³	Grenzwerte der Trinkwasser-Verordnung ⁴
	minimal	maximal		
Blei mg/l	< 0.001	0,008	0,025	0,04
Cadmium mg/l	< 0.0002	0,0007	0,005	0,005
Kupfer mg/l	0.004	0,046	0,050	-
Nickel mg/l	0.004	0,066	0,050	0,05
Zink mg/l	0.013	0,41	0,500	-

Tab. 5: Gegenüberstellung der im Grundwasser unter dem Sickerbecken gefundenen Gehalte mit den Prüfwerten der BodSchVO und den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung.

3.5 Gischt/Windverdriftung

3.5.1 Ermittlung und Beurteilung straßenbedingter Auswirkungen auf die Landschaftsfaktoren Boden und Wasser

REINIRKENS, 1992; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 626

Eine Literaturlauswertung zu den Auswirkungen von Straßen auf Böden und Gewässer referiert die bis dahin zugänglichen Arbeiten und enthält u.a. Tabellen über die Zusammensetzung von Otto-kraftstoff, anorganischen Bleikomponenten, Straßenoberflächenwasser und Straßenstaub.

Die Feldversuche führte REINIRKENS mit einem naturhaushaltlichen Ansatz durch. In zwei, fünf und fünfundzwanzig Metern Entfernung vom Straßenrand baute er in verschiedenen Bodentiefen Saugapparaturen zur Gewinnung von Sickerwasser ein. Die fünf untersuchten Bundes- und Landesstraßen wiesen einen DTV bis zu 15 000 Kfz/24 h auf.

Allgemein schwankten die Konzentrationen der untersuchten Metalle (Blei, Cadmium, Zink, Kupfer) im Sickerwasser stark im Laufe der Zeit, blieben aber auf geringem Niveau (Bild 15). Überschreitungen der Prüfwerte kamen in mehr als 20 cm Bodentiefe nicht vor.

Die Daten von Cadmium zeigen beispielhaft, daß die Oberböden (Ap/20 cm) höhere Gehalte im Sicker-

wasser aufweisen als die Unterböden (Bv/45 cm). An diesem Untersuchungsort enthielt die Südseite jeweils höhere Konzentrationen als die Nordseite.

Eine Sonderstellung nahmen saure Böden ein. Unter einem Gehölzstreifen traten in dieser Situation deutlich höhere Konzentrationen der Schwermetalle im Sickerwasser auf. Die Konzentrationen von Cadmium und Zink überschritten an vielen Probenahmeterminen die Prüfwerte, während Blei und Kupfer stets darunter blieben (Bild 16).

Die Autoren interpretieren die vorgefundenen Konzentrationen nicht als Gefahr für das Grundwasser. Sie differenzieren:

"Unter Einhaltung der einschlägigen Bestimmungen und Ausführungen der RiStWag zum Schutz des Grundwassers kann davon ausgegangen werden, daß keine erheblichen und nachhaltigen betriebsbedingten Beeinträchtigungen des Grundwassers durch eine Straßenbaumaßnahme zu erwarten sind."

"Außerhalb von Wasserschutzgebieten ... muß in Abhängigkeit von der Grundwasserschutzfunktion und der Ausprägung des Grundwasserleiters der Beeinträchtigungsgrad im einzelnen festgestellt werden." (a.a.O. S. 72/73)

³ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1998)

⁴ Bundesministerium für Jugend, Familie, Frauen und Gesundheit (1990)

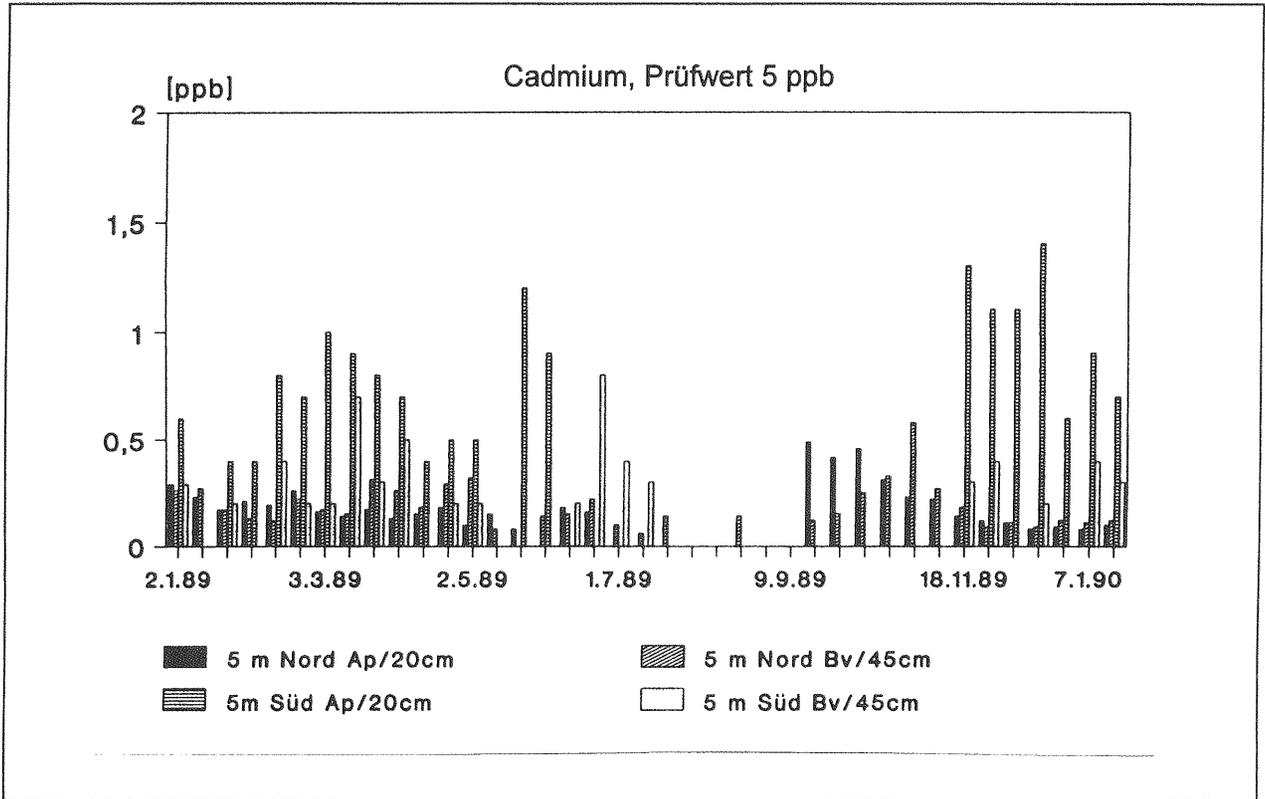


Bild 15: Cadmiumgehalte im Sickerwasser zweier Tiefen und Lagen neben der B 58, im Zeitraum 2.1.1989 bis 17.1. 1990 (aus REINIRKENS (1992), verändert).

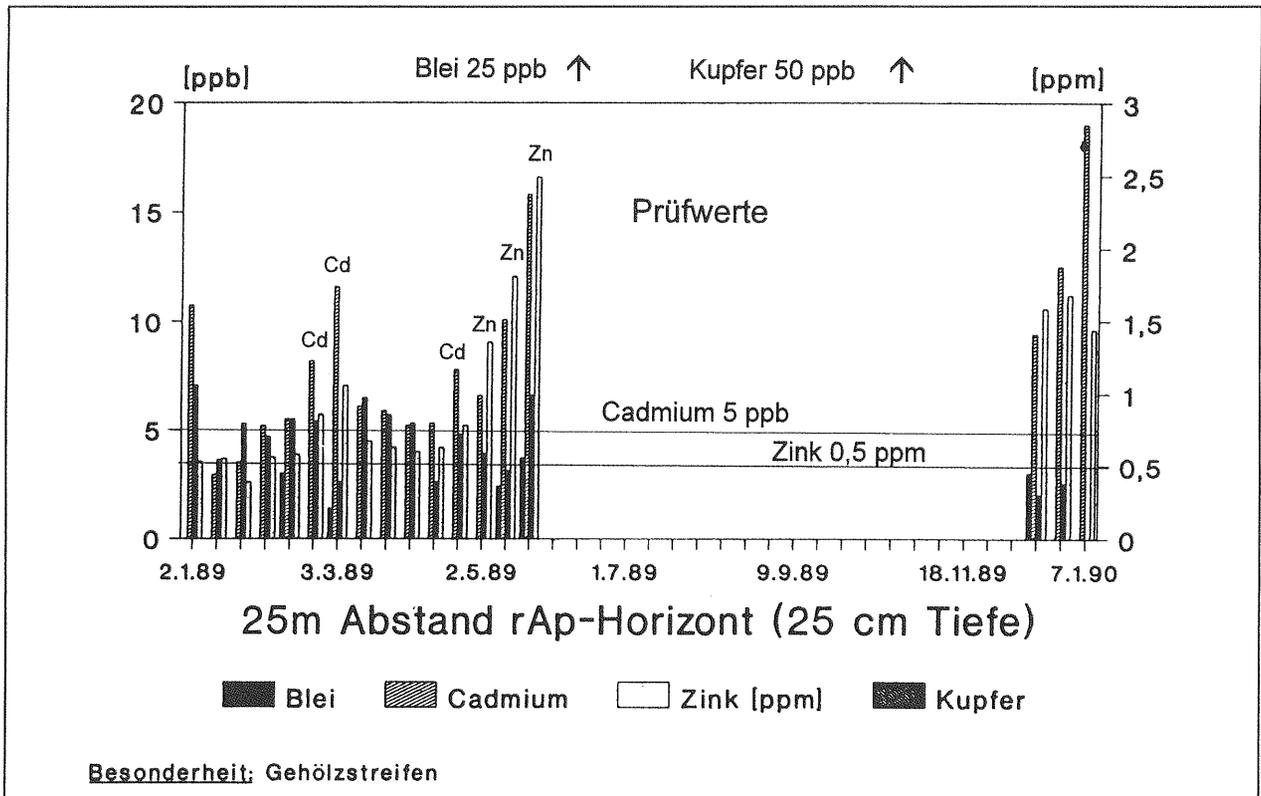


Bild 16: Überschreitungen der Prüfwerte nach Bodenschutzverordnung durch Cadmium und Zink unter sauren Bodenverhältnissen (aus REINIRKENS (1992), verändert).

3.6 Risikoabschätzung/Bewertung

3.6.1 Verkehrswege und ihr Grundwasserrisiko

GOLWER, 1995; *Eclogae geol. Helv.* 88 (2): 403-419

In diesem Übersichtartikel beschreibt der Autor aus den Erkenntnissen der letzten 25 Jahre heraus die Beeinflussungen des Grundwassers durch die Verkehrswege Schiene, Wasser, Luft und Straße.

Er teilt Straßen aufgrund ihrer potentiellen Belastungsfähigkeit in drei Gruppen ein:

- DTV unter 2 000 Kfz/24 h geringes belastendes Stoffpotential
- DTV 2 000 bis 15 000 Kfz/24 h mittleres
- DTV über 15 000 Kfz/24 h hohes

"Der Straßenverkehr beeinflusst vor allem durch Chloridionen und die damit in Zusammenhang stehenden Reaktionen die Beschaffenheit des Grundwassers." (a.a.O. S. 416).

Auftausalze selbst sind nicht Gegenstand der Bodenschutzverordnung, allerdings können sie zur erhöhten Löslichkeit von Cadmium beitragen. Auf der Grundlage der von der LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) herausgegebenen Orientierungswerte ordnet GOLWER Straßen in den unbedenklichen bzw. (bei höheren DTV) tolerierbaren Bereich für das Grundwasser ein.

3.6.2 Sicherheitsbewertung bautechnischer Maßnahmen zum Grundwasserschutz an Straßen in Wassergewinnungsgebieten auf probabilistischer Grundlage

ROBERT ASCHERL U. RUDOLF FLOSS, 1996; *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 726

Ausgehend von einer Einteilung in ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Einwirkungen straßenseitiger Emissionen versuchen die Autoren das Risiko von Grundwasserbeeinträchtigungen ähnlich zu ermitteln wie bei Sicherheits- bzw. Zuverlässigkeitsbetrachtungen von Bauwerken.

Alle Substanzen, die beim normalen Betrieb in den Straßenseitenraum oder in Gewässer gelangen können, werden als ständige Einwirkungen betrachtet. Dazu gehören z.B. Tropfverluste, Abriebe, Substanzen aus den Abgasen. Die winterlichen Streueinsätze werden als vorübergehende und die bei Unfällen frei werdenden Betriebsstoffe und wassergefährdenden Ladungen als außergewöhnliche Einwirkungen angesehen.

Es folgt eine Beschreibung der Ausgangssituation zu den Einwirkungsarten mit Merkmalen des Ver-

kehrs (Zusammensetzung, DTV), straßenbaulichen Gegebenheiten, Witterung, Wasserbeschaffenheit und den hydrogeologischen Gegebenheiten.

Bei der nachfolgenden Bewertung wird zunächst geprüft, ob die hydrogeologischen Voraussetzungen alleine ausreichen, die straßenspezifischen Einwirkungen auf ein akzeptables Restrisiko zu begrenzen. In einem zweiten Schritt werden gezielte Schutzmaßnahmen über Ereignisablaufanalysen bewertet. Für das Verständnis der, mangels geeigneter Richtwerte, nicht in Zahlen ausdrückbaren Bewertung ist die Erläuterungsskizze zur Risikoakzeptanz wichtig:

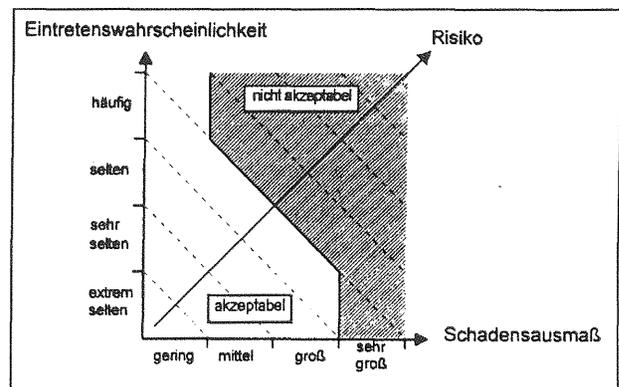


Bild 17: Qualitative Erläuterungsskizze zur Risikoakzeptanz (aus: ASCHERL & FLOSS, 1996).

Die Einteilung in Wasserschutzzonen übernehmen die Verfasser für diese Betrachtungen nicht. Und zwar wegen der Vielzahl unterschiedlicher anorganischer und organischer Stoffe aus dem Betrieb, der Möglichkeit der weitreichenden Ausbreitung gefährlicher Stoffe im Grundwasser bei punktförmigen Einleitungen durch Unfälle und des Fehlens zulässiger Werte für straßenspezifische Stoffeinträge in Wassergewinnungsgebieten. Unter Punkt 3.1 vermitteln sie einen Überblick über straßenspezifische, wassergefährdende Emissionen.

Die ständigen Einwirkungen (Pkt. 3.2) werden anhand der einschlägigen Literatur und unter Berücksichtigung der oberirdischen Verlagerungsvorgänge quantifiziert. Anschließend (Pkt. 3.2.3) erfolgt eine Bewertung des Gefährdungspotentials für alle Einzelsubstanzen in den Fahrbahnabflüssen anhand der Trinkwasserverordnung und der IWS-Liste (Institut für Wassergefährdende Stoffe, TU Berlin) bzw. des Wasserhaushalts-Gesetzes, mit qualitativer Einstufung entsprechend der Bild 17. Das emissionsbezogene Gefährdungspotential ständiger Einwirkungen wird als niedrig ermittelt.

Eine ebensolche Quantifizierung unter Berücksichtigung der oberirdischen Verlagerung und Bewertung wird für Tausalz als vorübergehende Einwir-

kung durchgeführt (Pkt. 3.3). Auch dieses Gefährdungspotential wird als niedrig ermittelt.

Ausführlich wird die Bearbeitung von Unfällen mit wassergefährdenden Gütern vorgenommen (Pkt. 3.4). Unter Verwendung der Daten der statistischen Landesämter sowie der BAST als Quellen erfolgt die Auswertung dieser amtlichen Statistik nach Art und Mengen der emittierten Stoffe und deren Wiederaufnahme. Abkommen von der Fahrbahn gilt als die häufigste (> 50%) Unfallursache, bei über 60% der Unfälle werden Heiz- und Dieselöle emittiert. Die Bewertung ergibt hohe und nicht akzeptable Risiken bei DTV über 5000 Kfz/24h; erst bei niedrigerer Verkehrsstärke wird das emissionsbezogene Gefährdungspotential akzeptabel.

Nach der Besprechung der Einwirkungen folgt eine Betrachtung über die Verlagerung wassergefährdender Stoffe im Untergrund (Pkt. 4). Den theoretischen Grundlagen folgen Zitate empirischer Untersuchungen geordnet nach ständigen, vorübergehenden und außergewöhnlichen Einwirkungen. Bei ersteren besteht nur in klüftigen Festgesteinen die Gefahr der Verlagerung in das Grundwasser. Besonders Chloride der vorübergehenden Einwirkungen werden auch bei sehr geringen Durchlässigkeiten mit der Zeit vollständig ins Grundwasser verlagert, Schutzwirkungen außer der Verdünnung im Grundwasserleiter sind nicht möglich. Bei Unfällen ausgetretene wassergefährdende Substanzen verlagern sich je nach Bodenart unterschiedlich schnell. Sofort- und Folgemaßnahmen sind dabei in jedem Fall erforderlich.

Die folgende Risikoanalyse (Pkt. 5) wird abgestuft nach Verkehrsstärken und Straßenkategorien für das Straßennetz in der BRD durchgeführt. Es ergeben sich Mindestanforderungen an hydrogeologische Schutzwirkungen für jede Einwirkungsart differenziert nach Verkehrsstärken. Empfohlen wird die breitflächige ungebündelte Entwässerung/Versickerung des Straßenabflusses über den Fahrbahnrand, sofern nicht klüftiges Gestein vorliegt. Sickerbecken sollten Sonderfällen vorbehalten bleiben. Im strömenden Grundwasser kann für Chloride aus der Tausalzanwendung, so wie sie derzeit durchgeführt wird, wegen ihres geringen stoffspezifischen Gefährdungspotentials und ihrer Mobilität die Verdünnung im Grundwasserleiter als Sicherheitskomponente angenommen werden. Keine Art der Bodenüberdeckung ergibt wegen der Löslichkeit der Chloride eine Schutzwirkung. Hingegen spielt sie bei außergewöhnlichen Einwirkungen eine Rolle, die nach Verkehrsstärke, Boden- und Gesteinsart differenziert betrachtet wird. Bei durchlässigen bis sehr schwach durchlässigen Lockergesteinen reichen u.U. bestimmte Mächtigkeiten

der Grundwasserüberdeckung als alleinige Vorsorgestrategie aus.

Schließlich werden die möglichen Schutzmaßnahmen einer Risikoanalyse unterzogen. Ereignisablaufdiagramme und Tabellen (Kap. 5.5, a.a.O.) erleichtern dabei die Beurteilung der vorhandenen und auch die Wahl der zu treffenden baulichen Einrichtungen.

In der abschließenden Betrachtung über die Wirksamkeit und Zuverlässigkeit von Schutzmaßnahmen (Pkt. 6) erfahren die verschiedenen Strategien wie z.B. Vermeidung, Verkehrstechnische Einrichtungen, passive Schutzeinwirkungen, Entwässerungseinrichtungen und Untergrundabdichtungen differenzierte Bewertungen. Wegen der stark unterschiedlichen Randbedingungen lassen sich keine detaillierten Festlegungen treffen, sondern es müssen im Einzelfall standortspezifische Maßnahmen kombiniert werden.

4 Schlußfolgerungen für das Sickerwasser/Diskussion

4.1 Allgemeine Folgerungen

Aus den vorgestellten Arbeiten können unter Beachtung der Vorgaben in der Bodenschutzverordnung folgende Punkte herausgestellt werden:

Die aus den Banketterden gewonnenen Eluate weisen die höchsten Schwermetallgehalte in den vorgestellten Untersuchungen auf (GALLENKEMPER). Das verwundert nicht, weil die obersten 5 bis 10 cm Bodenschicht, aus denen die abgeschälten Banketterden bestehen, auch die höchsten Bodenkonzentrationen an diesen Substanzen haben. Es wäre jedoch verfehlt, aus diesen Ergebnissen mit häufigen Überschreitungen der Prüfwerte zur Beurteilung des Sickerwassers den Schluß zu ziehen, daß die Schwermetalle in diesen Konzentrationen mit dem Sickerwasser in die Tiefe verlagert würden. Schon im Verlauf des obersten Bodenhorizontes (Ah-Horizont) weisen Sickerwässer deutlich geringere Konzentrationen auf und in 70 cm Tiefe und mehr kommen kaum noch Überschreitungen der Prüfwerte vor (REINIRKENS; CICHOS). Auch die aktuellen Untersuchungen von GEIGER & DIERKES beweisen anhand der Gegenüberstellung von den Gehalten im Straßenablaufwasser und denen im Sickerwasser der Lysimeter, wie hoch die Reinigungsleistung der obersten Bodenschicht ist.

Gerade letztere Untersuchungen bestätigen auf's Neue die Auffassungen von LANGE & MOOG und ASCHERL & FLOSS, die für die "ständigen Einwirkungen" den Ablauf des Straßenwassers über die bewachsene Böschung als völlig ausreichend betrachten, solange die Böden genügend adsorbierende Kapazitäten bereitstellen.

Hinsichtlich des Bodenschutzgesetzes kann im allgemeinen der Schluß gezogen werden, daß die Schadstoffgehalte im Bodenwasser zum Beurteilungsort hin (Übergang ungesättigte / wassergesättigte Zone, § 3(4) BodSchV) weiter abnehmen und die Prüfwerte dort nicht überschreiten, da sie schon in geringeren Tiefen nicht überschritten werden.

Was die Gewinnung von Eluaten betrifft, so drängt sich die Vermutung auf, daß durch das Herstellungsverfahren offenbar in kurzer Zeit mehr Anteile der im Boden vorhandenen Schwermetalle gelöst werden, als wenn Regenwasser unter realen Verhältnissen durch den Boden sickert. Um auf der sicheren Seite zu liegen, kann man aber Eluate für die Beurteilung, ob das Grundwasser gefährdet ist, heranziehen. Auch dabei zeigen solche aus größeren Tiefen gewonnenen Proben, daß dort nicht mehr mit unzulässigen Konzentrationen zu rechnen ist (MIKKELSEN ET AL).

Die Tiefenprofile unterhalb der Sickerschächte bei MIKKELSEN in Zusammenhang mit den Angaben bei SCHORB (1988) lassen vermuten, daß einer Komponente im Straßenablaufwasser weit größere Bedeutung zukommt, als bisher angenommen wurde. Bislang werden die Reinigungsleistungen der Böden anhand ihrer Bodeneigenschaften beurteilt. Unbeachtet geblieben sind bisher die adsorptiven Eigenschaften der verschiedenen Abrieb-Materialien, die in viel größerer Menge als die als Schadstoffe betrachteten Substanzen in den Straßenseitenraum verfrachtet werden. Bei zwei Fahrstreifen sollen 10 t Fahrbahnabrieb pro km und Jahr zum großen Teil mit dem Wasserabfluß von der Fahrbahn transportiert werden. Zusammen mit dem Reifenabrieb gelangen so genügend Feststoffe mit adsorbierenden Oberflächen in das Bankett bzw. in Entwässerungsanlagen. Die vor allem aus Kautschuk und Ruß bestehenden Teilchen des Reifenabriebs stellen dabei lipophile Oberflächen zur Verfügung, an denen sich Mineralöle und organische Substanzen binden können.

Dies könnte die Ursache dafür sein, daß sich die Aufnahmekapazitäten für Schadstoffe in Banketten, Versickerungsanlagen und Ähnlichem nicht erschöpfen und daß selbst bei räumlich konzentrierten Einleitungen keine höheren Konzentrationen im Sickerwasser resultieren als an anderen

Stellen. Zudem beeinflusst der Straßenabrieb, zumindest bei Betonfahrbahnen, die Reaktion des straßennahen Bodens in Richtung zum Basischen, was sich günstig hinsichtlich der Festlegung von Schwermetallen auswirkt.

Die Beurteilung von Sickerwasser-Konzentrationen darf sich nicht auf einzelne Proben stützen, dies zeigen die Zeitreihen-Untersuchungen (REINIRKENS, 1992, CICHOS 1992). Die mit der Zeit stark schwankenden Gehalte legen nahe, stets Mittelwerte über längere Zeiträume zu bilden. Zusammen mit den entsprechenden Niederschlagsmengen könnten diese auch eine Grundlage für die Berechnung von Frachten sein, mit denen der etwa beiderseits der Straße 10 m breite Straßenseitenraum den Grundwasserstrom belädt.

Weniger günstig zu beurteilen scheinen allerdings bindungsarme Böden, besonders unter sauren Verhältnissen. Hierfür liegen aufgrund theoretischer Überlegungen (DVWK, 1988) und durch die Untersuchungen von REINIRKENS (Bild 16) Hinweise vor, daß besonders von Cadmium und Zink höhere Anteile in Lösung gehen und das Grundwasser gefährden könnten. Diese Verhältnisse müssen noch durch empirische Untersuchungen detaillierter beschrieben werden.

4.2 Folgerungen für die Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe

Für die vier hauptsächlich vom Verkehr emittierten Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink ergibt sich im einzelnen folgendes Bild:

In den Untersuchungen zu Anfang des Jahrzehnts von GALLENKEMPER (1993) sowie in der Zusammenstellung gleich alter Daten von Kocher waren noch Überschreitungen von Blei in Eluaten von Banketterden vorhanden. Sogar im Sickerwasser aus 120 cm Tiefe im Bankettbereich überschritt es den Prüfwert (Bild 10). In Entfernungen von zwei, fünf und 25 Metern trat es jedoch unterhalb 20 cm Bodentiefe schon bei REINIRKENS (1992) nicht in zu hohen Konzentrationen auf. Die neuesten Ergebnisse aus der Untersuchung GEIGER/DIERKES (1997) deuten darauf hin, daß Blei selbst im Sickerwasser von Banketten vielbefahrener Straßen nicht mehr so problematisch zu sein scheint (Tab. 3), der Lysimeterversuch legt weiterhin nahe, daß die adsorbierenden Eigenschaften der Bankette sehr hoch sind (Tab. 4).

Zink und besonders Kupfer zeigen weiterhin die häufigsten Überschreitungen der Prüfwerte. Auch in den neuesten Untersuchungen (GEIGER & DIERKES, 1997) finden sich örtlich erhöhte Gehalte bei 30 cm Tiefe. Sickerwasser aus tieferen Boden-

schichten weist jedoch zur Tiefe hin rasch abnehmende Konzentrationen auf und überschreitet dann die Prüfwerte nicht mehr. Und dies selbst bei hoch konzentrierten lokalen Versickerungsstellen (MIKKELSEN).

Cadmium ist hinsichtlich der Prüfwerte in neutralen und basischen Böden in keiner der ausgewerteten Untersuchungen auffällig geworden. Zusammen mit Zink könnte es allerdings in sauren Böden problematisch werden (REINIRKENS, 1992). Hierfür liegen bisher nicht genügend Erkenntnisse vor. Klarheit darüber können nur neue empirische Untersuchungen bringen.

Kohlenwasserstoffe werden von den zitierten Autoren nicht als Problem für das Sickerwasser betrachtet. In den wenigen Fällen, in denen Analysen vorliegen, lagen sie unterhalb des Prüfwertes von 200 µg/l.

Soweit also "ständige Einwirkungen" im Sinne von ASCHERL & FLOSS betroffen sind, braucht man sich bei den meist vorherrschenden neutralen bis basischen Böden im Straßenrandbereich keine Sorgen über eine Gefährdung des Grundwassers zu machen. Das Straßenablaufwasser sollte über den bewachsenen Seitenstreifen abgeleitet werden, um auf der sicheren Seite zu liegen. Es ist dann auch bei hohen Verkehrsstärken nicht mit einer Überschreitung der Prüfwerte in der Übergangszone zum Grundwasser zu rechnen. Bei bindungsarmen, sauren Standorten, z.B. bei Sanden im norddeutschen Tiefland und Gehölzen, kann im Zweifelsfall der fahrbahnächste, etwa 5 m breite Streifen mit ton- und humusreichem Oberboden angedeckt werden.

Bei Taumitteln liegt es in der Natur der Sache, daß diese Substanzen löslich sind und mit dem Sickerwasserstrom zum Grundwasser verlagert werden. Wie GOLWER (1988) zu entnehmen ist, wirkt der Verdünnungseffekt dann konzentrationsmindernd. Dies sollte auch in Zukunft nicht überbeansprucht werden, indem Salz weiterhin unter Einsatz der entsprechenden Techniken zurückhaltend verwendet und nur in der erforderlichen Breite ausgebracht wird. Zu beachten ist die mögliche Bildung von "Salzseen" im Grundwasser, indem schweres salzhaltiges Sickerwasser das Süßwasser unterschichtet.

Für den präventiven Grundwasserschutz vor Unfällen gibt es in Trinkwasserschutzgebieten nach den "Richtlinien für Straßen in Wassergewinnungsgebieten" (FGSV, 1993) ausreichende Vorsorgemöglichkeiten (ASCHERL & FLOSS 1995). Außerhalb solcher Gebiete besteht infolge von Unfällen nur dann Gefahr für das Grundwasser, wenn

ausgetretene wassergefährdende Substanzen nicht umgehend aufgenommen werden bzw. der Boden nicht ausgebaggert wird. In Gebieten mit klüftigem Gestein können Straßenseitenflächen neben Unfall Schwerpunkten mit bindigem Boden abgedeckt oder durch Schutzplanken geschützt werden. Hier ist es nicht möglich, alle Risiken abzudecken.

5 Zusammenfassung

Im Verlaufe von Umweltverträglichkeitsprüfungen und aktuell durch die Einführung des Bundesbodenschutzgesetzes mit seinen Regelungen auch für das im Boden befindliche Sickerwasser müssen sich heute mehr Personen als zuvor mit dem Schutz des Grundwassers vor Einwirkungen des Straßenverkehrs auseinandersetzen. Über diese Einwirkungen liegen seit den 70er Jahren zahlreiche Veröffentlichungen vor und liefern inzwischen ein recht genaues Bild der Situation. Dieses Heft will den Einsteiger in Kürze über einige der wesentlichen, für Entscheidungen heranzuziehenden Arbeiten informieren.

Beschrieben werden zunächst die Vorgänge und Kraftfahrzeugteile, die wassergefährdende Substanzen freisetzen können. Deren Nennung im einzelnen, z.T. mit Angaben zu emittierten Mengen, leitet über zu den Pfaden, die ins Grundwasser führen.

Eine Aufbereitung der bekannteren Arbeiten zum Thema ist bewußt knapp gehalten und konzentriert sich auf diejenigen Aspekte der vorgestellten Werke, die über zu erwartende Sicker- und Grundwasserbelastungen, bzw. über Schutzfunktionen des Bodens besonders zielführend berichten. Dabei werden einige Grafiken der Originalarbeiten vorgestellt, um dem Leser einen Eindruck von Konzentrationsangaben und Kurvenverläufen der Untersuchungen zu vermitteln. Die durchgängige Gegenüberstellung der Meßwerte mit den Prüfwerten zur Beurteilung des Sickerwassers nach Anhang 2 Pkt. 3 der neuen Bodenschutzverordnung setzt den Maßstab zur Bewertung.

Schließlich werden die Arbeiten im Zusammenhang betrachtet und einem über die Einzelbeiträge hinausgehenden Resümee unterzogen.

6 Weiterführende Literatur

- ALBERT, ROLAND; ERWIN FRÜHWIRT, SUSANNA WIENER (1987): "Schadstoffbelastung entlang von Autobahnen", Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten Österreich. Straßenforschung Heft 330, Wien 1987
- ASCHERL, ROBERT; RUDOLF FLOSS (1996): "Sicherheitsbewertung bautechnischer Maßnahmen zum Grundwasserschutz an Straßen in Wassergewinnungsgebieten auf probabilistischer und ggf. experimenteller Grundlage", Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 726, BMV Bonn
- BACHMANN, G.; D. VON BORRIES, W. DINKELBERG (1995): "Bodenbelastung in Land- und Forstwirtschaft - Abschätzung möglicher Ausgleichforderungen der Land- und Forstwirtschaft nach § 14(2) E-BodSchG, Böden", Z. F. Kulturtechnik und Landentwicklung 36: 1-5
- BÄCKMAN, L. (1994): "Umweltauswirkungen chemischer Enteisungsmaßnahmen", VTI särtryck, Heft 214
- BAEKKEN; TORLEIF (1994): "Highway pollution - longterm effect on water quality", Publikasjon / Veglaboratoriet ; 73
- BÄTCHER, KAREN (1995): "Cadmium - Auswirkungen gesetzlicher Beschränkungen auf den Einsatz in Produkten", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 7 (2): 102-109
- BANK, FRED; KENNETH D. KERRI, KENNETH YOUNG, STUART STEIN (1995): "National Evaluation of Water Quality Issues for Highway Planning", Transportation Research Record 1483, National Academy Press, Washington, D.C. : 89-91
- BAUMANN, JOACHIM; WOLFGANG WAGNER (1995): "Geogene Grundwasserbeschaffenheit als Bemessungsgrundlage für den Grundwasserschutz", UBA-Texte 27/95
- BAUSKE, B.; D. GOETZ (1993): "Effects of deicing-salts on heavy metal mobility", Acta hydrochim. hydrobiologica 21 (1): 38-42
- BEGEROW, J.; L. DUNEMANN (1996): "Elementspeziesanalytik mit Kopplungstechniken", CLB 47 (4): 154 - 161
- BEHRENDT, HERWART; RAINER BRÜGGMANN (1994): "Benzol - Modellrechnungen zum Verhalten in der Umwelt", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung - Z. Umweltchem. Ökotox. 6 (2): 89-98
- BERTRAM, RAINER; EDITH STIEBER, WOLFGANG GEßNER (1996): "Toxizität von Aluminium - Al-Spezies in protolysierten Aluminiumchloridlösungen", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 8 (2): 78 - 82
- BISCHOFBERGER, W. (1987): "Einfluß des Tausalzes auf Oberflächen- und Grundwasser", Straße und Autobahn 38, Nr. 5, S. 192-197
- BROD, H.G. (1993): "Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt", Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, H. V2
- BROD, H.G.; H.U. PREUSSE, 1979; "Wirkung von Auftausalzen auf Straßenrandzonen", Zeitschrift für Vegetationstechnik 2, Januar - März, S. 34-37
- BUNDESMINISTERIUM DES INNERN (BMI; Hrsg.) (1985): "Katalog wassergefährdender Stoffe", Bekanntmachung des BMI vom 1.3.1985 - Ull 6 523 074/3- Gemeinsames Ministerialblatt 1985: 175-251
- BUNDESMINISTER FÜR JUGEND, FAMILIE, FRAUEN UND GESUNDHEIT (1990): "Bekanntmachung der Neufassung der Trinkwasserverordnung vom 5. Dez. 1990", Bundesgesetzblatt Jahrgang 1990, Teil I: 2612 - 2627
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1995): "UVP - VwV vom 18.9.95 zur Ausführung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung", Gemeinsames Ministerialblatt , BMI, 46 Nr. 32: 669-696
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1996): "Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen - Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (VwVwS) ", BMBl 1996 Nr. 16, S. 327 - 360
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1998): Entwurf der Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bodenschutz- und Altlastenverordnung - BodSchV), BMU WA I 5 - 73103/1 vom 1. Sept. 1998
- BUNDESREGIERUNG (1990): "Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage des Abgeordneten Weiss (München) und der Fraktion die Grünen: Verunreinigung des Grundwassers durch den Straßenverkehr", Drucksache 11/5660
- BUNDESTAG (1998): "Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998; Bundesgesetzblatt Jg. 1998 Teil I Nr. 16: 502 - 510

- CICHOS, A. (1992): "Vertikale Schwermetallverlagerung im Bankettbereich stark befahrener Bundesfernstraßen", Abschlußbericht Projekt Nr. 91604, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- CRÖßMANN, GERD; MARION WÜSTEMANN (1995): "Belastungen in Haus- und Kleingärten durch anorganische und organische Stoffe mit Schädigungspotential", UBA-Texte 11/95
- CUBELIC, MARIJAN ET AL. (1997): "Verteilung verkehrsbedingter Edelmetallimmissionen in Böden", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 9 (5) 249 - 258
- CZURDA, K.A.; K.E. ROEHL (1995): "Diagnostische Methoden zur Abschätzung des Gefährdungspotentials schwermetallbelasteter Böden - Charakterisierung der Bindungsstärke und Bindungsform", Lehrstuhl für Angewandte Geologie der Universität Karlsruhe; Forschungsvorhaben Nr. 0339510 des BMFT, Projektträger Biologie, Energie, Ökologie
- DAUSCHEK, H.; W. BISCHOFBERGER (1986): "Beeinträchtigung von Grund- und Oberflächenwasser durch Auftausalze in Schutzzonen." Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen Nr. 30, Lehrstuhl für Wassergüte und Gesundheitsingenieurwesen, TU München, 135 S.
- DVWG (1995): "Arbeitsblatt W 101: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; 1. Teil "Schutzgebiete für Grundwasser". ", DVWG - Regelwerk (Technische Regel), Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs- e.V. , Eschborn
- DVWK (Hrsg.) (1988): "Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen Teil I: Beurteilung der Gähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren DK 631.42 Bodenuntersuchung", DVWK Merkblätter 212/1988, Verlag Paul Parey
- EWERS, ULRICH ET AL (1996): "Blei- und Cadmiumbelastung - Zähne als Indikatoren der Blei- und Cadmiumbelastung des Menschen", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 8 (6): 312-316
- FIEDLER, HEIDELORE; OTTO HUTZINGER (1991): "Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzofurane (PCDD / PCDF)", Organohalogen Compounds Volume 5, Lehrstuhl für ökologische Chemie und Geochemie, Uni Bayreuth
- FILIP, ZDENEK (1995): "Einfluß chemischer Kontaminanten (insbes. Schwermetalle) auf die Bodenorganismen und ihre ökologisch bedeutenden Aktivitäten", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 7 (2): 92-102
- FOLKESON, L. (1994): "Umwelteinflüsse durch Straßenoberflächenwasser-Literaturübersicht", VTI Rapport H. 391 (in schwedischer Sprache)
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV) (1992): "Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen, Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung MLuS-92", FGSV Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV, Hrsg.) (1993): "Hinweise für Maßnahmen an bestehenden Straßen in Wassergewinnungsgebieten.", Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe "Erd- und Grundbau", Arbeitsausschuß "Bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten, Köln
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV, Hrsg.) (1993): "RiStWag: Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten", Ausgabe 1993, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe "Erd- und Grundbau", Köln
- GALLENKEMPER, B.; M. FRITSCHKE, A. SOWA, G. WALTER (1996): "Untersuchungen zum Verhalten und zu den Auswirkungen des Einbaus von Bankettschälgut im Bereich von Erdbaumaßnahmen", Institut für Abfall- und Abwasserwirtschaft e.V. / Fachhochschule Münster, Labor für Abfallwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft, Umweltchemie: FP9.949094 F1 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen
- GALLENKEMPER, BERNHARD, MARKUS FRITSCHKE, GABRIELE BECKER (1993): "Schadstoffgehalte von Bankettschäl- und Kehrgut und deren umweltverträgliche Entsorgung", Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 664
- GALLENKEMPER, BERNHARD; MARKUS FRITSCHKE, ANDREAS SOWA, GOTTHARD WALTER (1996): "Eignung von Bankettschälgut für Erdbauten", Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Verkehrstechnik - Heft V34, Bergisch Gladbach
- GEIGER, W.F.; C. DIERKES (1997): " Dekontaminierende Wirkung belebter Bodenzonen bei verkehrsbedingter Beeinträchtigung der Bodenqualität", laufendes FP 05.107/1996/GGB, Universität Essen, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

- GOLWER, ARTHUR (1991): "Belastung von Böden und Grundwasser durch Verkehrswege", Forum Städte-Hygiene 42 (5): 266-275
- GOLWER, ARTHUR (1995): "Verkehrswege und ihr Grundwasserisiko", Eclogae geol. Helv. 88 (2): 403-419
- GOLWER, ARTHUR; WILHELM SCHNEIDER, (1979): "Belastung des unterirdischen Wassers mit anorganischen Spurenstoffen im Gebiet von Straßen", Wasser und Abwasser 120 (10): 461-467
- GOLWER, A.; W. SCHNEIDER (1983): "Untersuchungen über die Belastung des Grundwassers mit organischen Stoffen im Bereich von Straßen", Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 391, BMV, Bonn
- GRANATO, GREGORY E.; PETER E. CHURCH, VICTORIA J. STONE (1995): "Mobilization of Major and Trace Constituents of Highway Runoff in Groundwater Potentially Caused by Deicing Chemical Migration", Transportation Research Record 1483, National Academy Press, Washington, D.C. : S. 92-104
- GRATHWOHL, H. (1992): "Die molekulare Diffusion als limitierender Faktor bei der Sanierung von Boden- und Grundwasserkontaminationen", Umweltchem. Ökotox. 4 (4), S. 231-236
- GRIMMER, GERNOT; HEINZ BÖHNKE und ARMIN GLASER (1977): "Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe im Abgas von Kraftfahrzeugen", Erdöl und Kohle - Erdgas - Petrochemie vereinigt mit Brennstoff-Chemi Bd. 30 (9): 411-417
- HARRISON, R.M.; W.R. JOHNSTON (1985): "Deposition Fluxes of Lead, Cadmium, Copper and Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAH) on the verges of a major highway", The Science of The Total Environment 46: 121-136
- HELMERS, ECKARD; NORBERT MERGEL, REINHOLD BARCHET (1994): "Platin in Klärschlammmasche und an Gräsern", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 6 (3): 130-134
- HELMERS, ECKARD; NORBERT MERGEL (1997): "Platin in belasteten Gräsern - Anstieg der Emissionen aus Pkw-Abgaskatalysatoren", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 9 (3): 147-148
- HERFER, BRIGITTE; MICHAEL WILHELM, HELGA IDEL (1997): "Schadstoffbelastung durch Persorption von Bodenpartikeln", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 9 (5) 259-266
- HERMS, U.; G. BRÜMMER (1984): "Einflußgrößen der Schwermetalllöslichkeit und -bindung in Böden", Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 147: 400-424
- HERRMANN, R.; J. DAUB, T. STRIEBEL (1992): "Charakterisierung und Analyse der Verschmutzung des Niederschlages und des Niederschlagabflusses - Teilprojekt 1 - ", Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen. Universitäres Verbundprojekt des BMFT. Lehrstuhl für Hydrologie, Universität Bayreuth, Schlußbericht 1988 - 91
- HERTLING, THOMAS; NORBERT RASCHKE (1995): "Methode zur Bewertung von Schadstoffgehalten in Böden im Rahmen der UVP", UVP-Report 1/95: 14-18
- HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT in Zusammenarbeit mit dem Hessischen Landesamt für Bodenforschung (1991): "Dioxine und Furane in der hessischen Umwelt - Meßergebnisse aus Hessen", Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz Heft Nr. 126, Hessische Landesanstalt für Umweltschutz
- HEWITT, C.N.; M.B. RASHED (1991): "The Deposition of Selected Pollutants Adjacent to a Major Rural Highway", Atmospheric Environment 25A (5/6):979-983
- HINDEL, R.; HEINRICH FLEIGE U.A. (1996): "Kennzeichnung der Empfindlichkeit der Böden gegenüber Schwermetallenunter Berücksichtigung von lithogenem Grundgehalt, pedogener An- und Abreicherung sowie Kartiertechnisches Konzept zur flächenhaften Erfassung von Schwermetallgehalten in Böden", UBA Texte 56/96
- HOFFMANN, G., W. SCHOLL, A. TRENKLE (1989): "Schadstoffbelastung von Böden durch Kraftfahrzeugverkehr", Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg (19) Verlag Eugen Ulmer
- JOHNSTON, W.R.; R.M. HARRISON (1984): "Deposition of metallic and organic pollutants alongside the M6 motorway", The Science of the Total Environment 33: 119-127
- KLÖPFER, WALTER (1994): "Kriterien zur Umweltbewertung von Einzelstoffen und Stoffgruppen", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung - z. Umweltchem. Ökotox. 6 (2): 61-63
- KRATZ, WERNER (1996): "Ökotoxikologische Bioindikation - Schwermetallkonzentrationen, PAK und PCB in Kiefernadeln", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 8 (3): 130-137
- KRAUSE, GEORG H. M. (1992): "Transfer von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofu-

- ranen aus Böden in Pflanzen", Aus der Tätigkeit der LIS 1991, Essen 1992
- KRAUTH, K.; H. KLEIN (1982): "Untersuchungen über die Beschaffenheit des Oberflächenwassers von Bundesautobahnen", Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 363, Herausg.: Bundesminister für Verkehr
- KRAUTH, K.; W. MUSCHAK (1995): "Gewässerbelastung durch Straßenoberflächenwasser von lärmindernden Straßenbelägen durch längere Kontaktzeiten des Regenwassers mit den Verunreinigungen und den veränderten Salzkonzentrationen", Umweltbundesamt Berlin, UBA-FB 94-1472
- KREMER, THORSTEN (1996): "Biochemische Transformation von Phenol in aquatischen Systemen", CLB 47 (10): 448 - 451
- KUNTZE, HERBERT; HEINRICH FLEIGE, MARIANNE GRUPE, DIETER KOCH, ERICH PLUQUET, ASTRID STUMPFE (1997): "Kennzeichnung der Empfindlichkeit der Böden gegenüber Schwermetallen pedogener An- und Abreicherung sowie anthropogener Zusatzbelastung Teil I: Mobilität von Böden mit erhöhtem geogenen Grundgehalt und anthropogener Zusatzbelastung", UBA Texte 55/96
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (LFU) (1993): "Dioxine in Böden Baden-Württembergs", LFU Materialien zum Bodenschutz Bd. 1
- LANGE, G. (1996): "Versickerung von Regenwasser im Straßenraum", Straße und Autobahn 47 (7): 379-382
- LANGE, GERD; KARL-HEINZ MOOG (1995): "Potentielle Beeinträchtigung des Grundwassers durch den Verkehr", DVWK Materialien 3/1995, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
- LASCHKA, DAGMAR; THOMAS STRIEBEL, JOACHIM DAUB, MARKUS NACHTWEY (1996): "Platin im Regenabfluß einer Straße", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 8 (3): 124-129
- LAUCKNER, G.; P. KOß, W. HERMANN (1996): "Fluoreszenzspektroskopische Untersuchungen an PAK-kontaminierten Grundwasser- und Bodenproben", CLB47 (6): 250-253
- LUSTIG; SCHIERL; ALT; HELMERS; KÜMMERER (1997): "Platin in Umweltkompartimenten - Deposition, Verteilung sowie Bedeutung für den Menschen und sein Nahrungsnetz - Stand und Forschungsbedarf", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 9 (3): 149-152
- MIKKELSEN, PETER STEEN; MARTIN HÄFLIGER, MARKUS BOLLER (1995): "Kontamination in zwei schweizerischen Anlagen zur Versickerung von Strassenabwasser", EAWAG-Forschungsschwerpunkt 1993-1999 Versickerung von Meteorwasser, Modul 6
- MÜLLER, GUIDO (1994): "Die Behandlung des Faktors Boden nach der Eingriffsregelung des § 8 BNatSchG in der landschaftspflegerischen Begleitplanung - dargestellt am Beispiel des Bundesfernstraßenbaus", Diplomarbeit, Fak. 17 Geowissenschaften, Ruhr-Universität Bochum, angefertigt bei Prof. Dr. O. Sporbeck
- MUSCHACK, WERNER (1989): "Straßenoberflächenwasser - eine diffuse Quelle der Gewässerbelastung", Vom Wasser 72: 267-282
- MUSCHAK, WERNER 1997, mündliche Mitteilung
- NIEßNER, REINHARD; WOLFGANG KOCH (1995): "Partikelemissionen: Quellen, Ausbreitung, Umwandlung: Literaturstudie", Forschungsvereinigung Automobiltechnik, FAT-Schriftenreihe 124
- PEICHL, LUDWIG; MONICA WÄBER, WERNER REIFENHÄUSER (1994): "Schwermetallmonitoring mit der Standardisierten Graskultur im Untersuchungsgebiet München - Kfz-Verkehr als Antimonquelle?", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung - Z. Umweltchem. Ökotox. 6 (2): 63-69
- PISCHINGER, R.; K. PUCHER; P. STURM (1988): "Räumliche Schadstoffausbreitung bei Straßen", Schriftenreihe Straßenforschung (Wien) (351), 133 S.
- 1991: "Straßenverkehrsabhängige Kontamination von Böden entlang von Straßen.", Ergebnisbericht im Auftrag des Instituts für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Dortmund
- PRICE, FALCON A.; DAVID R. YONGE (1995): "Enhancing Contaminant Removal in Stormwater Detention Basins by Coagulation", Transportation Research Record 1483, National Academy Press, Washington, D.C. : 105-111
- PRINZ, DIETER; BIRGIT KOCHER (1997): "Herleitung von Kenngrößen zur Schadstoffbelastung des Schutzgutes Boden durch den Straßenverkehr", Laufendes FE 02.168 R95L im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Universität Karlsruhe, Institut für Wasserbau und Kulturtechnik
- REINIRKENS, PETER (1992): "Ermittlung und Beurteilung straßenbedingter Auswirkungen auf die

- Landschaftsfaktoren Boden und Wasser", Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 626
- REUTTER, U.; O. REUTTER, I. FLUCK; H. STEFFENS, J. STACHOWITZ, R. BEHNKE (1993): "Seitenstreifen-Altlasten in der Stadt - Straßenabhängige Kontamination der Böden an Straßen", Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen, ILS-Schriften 78
- RIEß, MICHAEL H.; HERIBERT WEFERS, HANSPETER WEIGEL (1997): "Ökotoxikologische Bewertung von Sedimentschadstoffen - Ableitung von Orientierungswerten und Klassifizierung unter Bodenschutzaspekten", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 9 (4): 201-209
- RÖMBKE, JÖRG; CHRISTA BAUER, ANNETTE MARSCHNER (1996): "Chemikalien im Boden - Entwicklung einer Teststrategie zur Bewertung des Umweltgefährlichkeitspotentials", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 8 (3): 158-166
- RÖSCHENBLECK (1993): "Verkehrsbedingte Luftverunreinigungen im straßennahen Bereich und verkehrsbedingte Immissionen in straßennahen Böden", Az. 4000/1540-6140/07, Landschaftsverband Westfalen-Lippe - Straßenbauverwaltung
- SANSALONE, JOHN J.; STEVEN G. BUCHBERGER, MARGARETE T. KOECHLING (1995): "Correlations Between Heavy Metals and Suspended Solids in Highway Runoff: Implications for Control Strategies", Transportation Research Record 1483, National Academy Press, Washington, D.C.: 112-119
- SCHLEYER, R. (1993): "Kartierung der Verschmutzungsempfindlichkeit von Grundwasser (durch multivariate statistische Auswertung geologischer, geographischer und hydrogeochemischer Daten)", WaBoLu-Hefte 4/93
- SCHLEYER, RUPRECHT (1995): "Verbesserung des Grundwasserschutzes durch Kartierung der Verschmutzungsempfindlichkeit", WAP 1: 12-19
- SCHNEIDER, W.; J.-J. GÖTTNER (1991): "Schadstofftransport in mineralischen Deponieabdichtungen und natürlichen Tonschichten", Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 58, Hannover
- SCHORB, A. (1988): "Untersuchungen zum Einfluß von Straßen auf Boden, Grund- und Oberflächenwasser am Beispiel eines Testgebietes im Kleinen Odenwald", Selbstverlag des Geographischen Institutes der Universität Heidelberg, Heft 80
- SIEKER, F.; M. GROTTKER (1988): "Beschaffenheit von Straßenoberflächenwasser bei mittlerer Verkehrsbelastung", Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 530, Hrsg.: Bundesminister für Verkehr
- STADELMANN, J.; D. HENSCHEL (1997): "Mechanisch-biologische Behandlung von Niederschlagswasser", 1. Zwischenbericht des gleichltdn. Förderprojektes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, planum GmbH, Salzwedel
- STOLLER, DETLEF (1997): "Bodenschutz ein Muß", Ökolog. Briefe 5: 5
- STOLLMANN, FRANK (1996): "Die Bodenschutzgesetze der Länder", Natur und Landschaft 71 (9): 367-370
- STOTZ, GEBHARD; KARL-HEINZ KRAUTH (1997): "Menge und Beschaffenheit von Straßenoberflächenwasser beim Abfluß über bewachsene Seitenstreifen, Mulden und Böschungen (Auswertung von Forschungsarbeiten)", Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 509, Herausg.: Bundesminister für Verkehr
- STRASSER, H.; H. BRUNNER, F. SCHINNER (1995): "Biologische Schwermetalleliminierung aus Klärschlamm", WasserAbwasserPraxis 5: 49 - 53
- STUBENRAUCH, STEFFEN; REINHOLD HEMPFLING, NORBERT SIMMLEIT, THOMAS MATHEWS, PETER DOETSCH (1994): "Abschätzung der Schadstoffexposition in Abhängigkeit von oralen Aufnahmeraten von Boden, Badeseewasser und Nahrungsmitteln des Eigenanbaus.", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 6 (3): 165-174
- TEGETHOF, UDO; ANDREAS CICHOS (1994): "Vertikale Schwermetallverlagerung in Banketten von Bundesautobahnen", Straße + Autobahn 45 (10): 627 - 638
- TRENCK, KARL-THEO V.D. (1997): "Verunreinigte Böden - Prüfwerte und Konzepte - Ein kritischer Überblick", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 9 (2): 97-106
- UMLANDVERBAND FRANKFURT (Hrsg.) (1991): "Umweltschutzbericht Teil V Bodenschutz Band 1: Bodenschutzkonzept des UVF und Bericht über die verkehrsbedingte Bodenschwermetallbelastung im Verbandsgebiet", UVF
- UMLANDVERBAND FRANKFURT (Hrsg.) (1993): "Umweltschutzbericht Teil V Bodenschutz Band 2: Bodenkataster und Bodenschwermetallkarte des UVF", UVF
- UMLANDVERBAND FRANKFURT (Hrsg.) (1994): "Umweltschutzbericht Teil V Bodenschutz Band 3: Berechnung der Versickerung im Verbandsgebiet", UVF

UMWELTBUNDESAMT (UBA, Hrsg.) (1990): "Beurteilung und Behandlung von Mineralölschadensfällen im Hinblick auf den Grundwasserschutz.", Beirat beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Ausschuß "Wasser/Mineralöl" des Beirates Lagerung und Transport wassergefährdender Stoffe (LTwS), Berlin, 143S

UMWELTBUNDESAMT (UBA, Hrsg.) (1991): "Überlegungen für ein stoffspezifisches Bewertungsschema für das Verhalten von wassergefährdenden Stoffen im Untergrund.", Beirat beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Ausschuß "Verhalten von wassergefährdenden Stoffen" des Beirates Lagerung und Transport wassergefährdender Stoffe (LTwS), LTwS Nr. 25, Berlin, 27 S.

UMWELTBUNDESAMT (UBA, Hrsg.,WA I 5/UBA) (1996): "Beeinflussung der Grundwasserqualität - Deposition organischer Stoffe aus der Atmosphäre -", Umwelt Nr. 11/1996: 388-389

UNGER, H.J.; D. PRINZ (1992): "Verkehrsbedingte Immissionen in Baden-Württemberg - Schwermetalle und organische Fremdstoffe in straßennahen Böden und Aufwuchs", Luft, Boden, Abfall Heft 19, Herg. Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg

WÄBER, MONICA; DAGMAR LASCHKA, LUDWIG PEICHL (1996): "Biomonitoring verkehrsbedingter Platin-Immissionen - Verfahren der standardisierten Graskultur im Untersuchungsgebiet München", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 8 (1): 3 - 7

WAGNER, VOLKER ET AL. (1995): "Freisetzung von Schwermetallen aus dem bodenbildenden Tonmineral Illit durch Aminosäuren", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 7 (2): 63-68

WARD, N.I.; K.E. SAMPSON (1989): "The use of Bryophytes to monitor the rate of metal deposition along the London orbital (M25) motorway", Heavy Metals in the Environment Vol:1 S: 444-447

WIENER, S.; U. SEIFERT, R. ALBERT U.A. (1994): "Schadstoffbelastung entlang von Autobahnen", Schriftenreihe Straßenforschung (Wien) H. 419

ZEREINI, F.; F. ALT, K. RANKENBURG, J.-M. BEYER, S. ARTELT (1996): "Verteilung von Platingruppenelementen (PGE) in den Umweltkompartimenten Boden, Schlamm, Straßenstaub, Straßenkehrgut und Wasser - Emission von PGE aus Kfz-Abgaskatalysatoren", Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 8 (6): 311

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

V 1: **Leitfaden Parkraumkonzepte**
H. P. Appel, R. Baier, A. Wagener
129 Seiten, 1993

V 2: **Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt**
H.-G. Brod
165 Seiten, 1993

V 3: **Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelprühanlagen**
H. Wirtz, K. Moritz
33 Seiten, 1993

V 4: **Sicherheitsbewertung von Querungshilfen für den Fußgängerverkehr**
K. Füsser, A. Jacobs, J. Steinbrecher
238 Seiten, 1993

V 5: **Sicherheitsbewertung von Querschnitten außerörtlicher Straßen**
U. Brannolte, H.-B. Barth, R. Schwarzmann, W. Junkers, Y. Liu, H. Sigthorsson, J. Stein
148 Seiten, 1993

V 6: **Schutzeinrichtungen an Bundesfernstraßen**
R. Schnüll, N. Handke, F. Gause, B. Göcke, P. Patzschke, U. Prenzlau, Th. Schröder, St. Wiesesiek, W. Engel
112 Seiten, 1993

V 7: **Ortsdurchfahrt Much**
A. Moritz, E. Rossbander, W. Brilon, H. Blanke
134 Seiten, 1993

V 8: **Verkehrssicherheit und modernes Verkehrsmanagement**
Symposium der Deutschen Verkehrswacht am 29. Oktober 1992 in Stuttgart
52 Seiten, 1993

V 9: **Verkehrssichere Anlage und Gestaltung von Radwegen**
W. Angenendt, J. Bader, Th. Butz, B. Cieslik, W. Draeger, H. Friese, D. Klöckner, M. Lenssen, M. Wilken
95 Seiten, 1993

V 10: **Linienbusse im Stadtverkehr**
I. Birk, O. Kampschulte, H. Luda, M. Schönemann, A. Straub, B. Wewers, D. Winkler-Hübsch
52 Seiten, 1993

V 11: **Digitale Bildverarbeitung zur Verkehrsanalyse**
H. H. Topp, Th. Horstmann, Chr. Hupfer
35 Seiten, 1993

V 12: **Haltestellenformen an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**
H. H. Topp, M. Haag, Chr. Hupfer, K. Ackermann
144 Seiten, 1993

V 13: **Parkleitsysteme - Wirksamkeitsuntersuchung und Konzeptentwicklung**
H. H. Topp, S. Körntgen, U. Gevatter, A. Theiß, S. Vincenzi
126 Seiten, 1994

V 14: **Straßenbeleuchtung und Verkehrssicherheit**
G. Uschkamp, R. Hecker, H.-U. Thäsler, D. Breuer
194 Seiten, 1994

V 15: **Grundlagen für Beschilderung**
H. Erke, M. Latzel, D. Ellinghaus, K. Seidenstecher
184 Seiten, 1994

V 16: **Abwicklung des Lieferverkehrs an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**
A. Hamed
132 Seiten, 1994

V 17: **Auswirkungen der Umweltgesetzgebung auf den Straßenbetriebsdienst**
B. Gallenkemper, M. Fritsche, G. Walter
88 Seiten, 1995

V 18: **Entwicklung einer Kenngröße der Winterlichkeit zur Bewertung des Tausalzverbrauchs**
J. Breitenstein
30 Seiten, 1995

V 19: **Straßenverkehrszählung 1990**
Ergebnisse für die Bundesfernstraßen
499 Seiten, 1995

V 20: **Verkehrssicherheit an städtischen Knotenpunkten in den neuen Bundesländern**
R. Schnüll, N. Handke, U. Ebcinoglu, M. Adler, F. Engelman, B. Pott, U. Prenzlau, Th. Schröder, H. Münch, A. Dittmar, C. Graf, F. Wich-Heiter, F. Wellendorf, N. Breyer, G. Geisler, P. Patzschke, R. Rudolph, W. Trinius
20 Seiten, 1995

V 21: **Risiko-Abschätzung für den Einsatz von Tausalzen**
H.-G. Brod
62 Seiten, 1995

V 22: **Straßenverkehrszählung 1990**

Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik
Teil 1: Alte Bundesländer
N. Lensing
Teil 2: Neue Bundesländer
Verkehrsanlagen Consult GmbH
102 Seiten, 1995

V 23: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1992 und 1993**
Jahresauswertung der Langzeitzählstellen
G. Ionescu, B. Paatz
311 Seiten, 1995

V 24: **Straßenverkehrszählung 1993**
Ergebnisse für die Bundesfernstraßen
539 Seiten, 1995

V 25: **Straßenverkehrszählung 1990**
Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte
Teil 1: Alte Bundesländer
N. Lensing
Teil 2: Neue Bundesländer
Verkehrsanlagen Consult GmbH
63 Seiten, 1995

V 26: **Straßenverkehrszählung 1993**
Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik
N. Lensing
54 Seiten, 1995

V 27: **Straßenverkehrszählung 1993**
Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte
N. Lensing
55 Seiten, 1995

V 28: **Sicherheitsbezogene Beurteilung von Autobahnbaustellen**
W. Krux, D. Determann
144 Seiten, 1995

V 29: **Untersuchungen zur Schnittgutverwertung**
Teil III: Erhebung und Bewertung der anorganischen Schadstoffbelastung
B. Krieger, J. Breitenstein
125 Seiten, 1996

V 30: **Dokumentation Parken**
Materialsammlung zum „Parken in der Stadt“
R. Huber-Erler, K.-H. Schäfer, A. Wagener, R. Baier, M. Wacker
120 Seiten, 1996

V 31: **German-Japanese Workshop on Intelligent Transport Systems, Highway Traffic Safety and Tunnel Safety**
Reports of the 1994 Workshop December 05-07, 1994 in the Bundesanstalt für Straßenwesen (BASi)
203 Seiten, 1996

V 32: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1994**

Jahresauswertung der Langzeitzählstellen
G. Ionescu
355 Seiten, 1996

V 33: **Entwicklung eines Wirtschaftsverkehrsmodells für Städte**
H. Sonntag, B. Meimbresse, U. Castendiek
95 Seiten, 1996

V 34: **Eignung von Bankettschälgut für Erdbauten**
B. Gallenkemper, M. Fritsche, A. Sowa, G. Walter
66 Seiten, 1996

V 35: **Photovoltaik in der Straßenausstattung**
D. Heuzeroth
68 Seiten, 1996

V 36: **Glättebildung durch Überfrieren**
J.-P. Nicolas
26 Seiten, 1996

V 37: **Sicherheit des Radverkehrs auf Erschließungsstraßen**
D. Alrutz, J. Stellmacher-Hein
158 Seiten, 1997

V 38: **Pflegewirkungen auf Tiere und Pflanzen am Straßenrand**
U. Tegethof
44 Seiten, 1997

V 39: **Auswirkungen des Anwohnerparkens**
R. Baier, W. Braun, Chr. Peter, A. Wagner
104 Seiten, 1997

V 40: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1995**
Jahresauswertung der Langzeitzählstellen
G. Ionescu
379 Seiten, 1997

V 41: **Straßenverkehrszählung 1995**

Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte
N. Lensing
59 Seiten, 1997

V 42: **Kooperationen von Speditionen im Güternahverkehr**
H.-J. Ewers, P. Wittenbrink, C. Lehmann, St. Gerwens
208 Seiten, 1997

V 43: **Notwendiger Autoverkehr**
H. Topp, M. Haag
60 Seiten, 1997

V 44: **Sicherheitsrisiken an Lichtsignalanlagen**
Untersuchung zu Sicherheitsrisiken an LSA durch den Zeit- und/oder verkehrsabhängigen Einsatz von mehr als einem Steuerungsverfahren
M.F. Brenner, H. Ziegler, K. Seeling, D. Kopperschlager
96 Seiten, 1997

- V 45: **Straßenverkehrszählung 1995**
Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik
N. Lensing
56 Seiten, 1997
- V 46: **Ausstattung und Beleuchtung von Straßenräumen**
H. Erke, F. Keunecke
172 Seiten, 1997
- V 47: **Straßenverkehrszählung 1995**
Ergebnisse für die Bundesfernstraßen
540 Seiten, 1997
- V 48: **Verkehrssicherheitsprogramm Brandenburg - Straßenbauliche Maßnahmen**
E. Buss
74 Seiten, 1997
- V 49: **Wirksamkeit vertikaler Leitelemente für Straßenarbeitsstellen**
H.-H. Meseberg
96 Seiten, 1997
- V 50: **Straßenraumgestaltung unter Berücksichtigung historischer Bezüge**
A. Kossak, S. Unger
209 Seiten, 1997
- V 51: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1996**
Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
G. Ionescu, M.A. Kühnen, R. Nitzsche, W. Tautz
147 Seiten, 1997
- V 52: **Innenstadtverkehr und Einzelhandel**
R. Baier, K. H. Schäfer, L. Müller-Hagedorn, M. Schuckel, N. Ziehe
60 Seiten, 1998
- V 53: **Video-Technik im Straßenwesen**
U. Heck, U. Nehren, L. Neumann, B. Schaaf, J. Schönharting, D. Windhorst
96 Seiten, 1998
- V 54: **Wirkungen von Maßnahmen zur Unfallstellenbeseitigung im innerörtlichen Straßennetz**
W. Brilon, R. Weinert
100 Seiten, 1998
- V 55: **Standstreifen und Verkehrssicherheit auf BAB**
D. Heidemann, M. Bäumer, R. Hamacher, H. Hautzinger
48 Seiten, 1998
- V 56: **Bewertung der Attraktivität von Radverkehrsanlagen**
D. Alrutz, W. Bohle, E. Willhaus
104 Seiten, 1998
- V 57: **Auswirkungen von Haltestellen auf Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität innerstädtischer Hauptverkehrsstraßen**
U. Köhler, S. Strauß, S. Wichmann
39 Seiten, 1998
- V 58: **Park + Ride versus flächendeckende ÖPNV-Bedienung**
R. Baier, A. Demny, K. H. Schäfer, H. Dobeschinsky, R. Krause
49 Seiten, 1998
- V 59: **Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik für die Durchführung von Straßenverkehrszählungen (SVZ 2000)**
S. Laffont, G. Regniet, G. Schmidt, B. Thomas
109 Seiten, 1998
- V 60: **Straßenseitige Belastungen des Grundwassers**
U. Tegethof
34 Seiten, 1998

Die Hefte sind kostenpflichtig. Aus postalischen Gründen werden die Preise in dieser Übersicht nicht aufgeführt.

Auskünfte und Bezug durch:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax (04 71) 9 45 44 88